สารานุกรม
พลังงานทดแทน

Alternative Energy Encyclopedia

สารานุกรม
พลังงานทดแทน
Alternative Energy Encyclopedia

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

กองบรรณาธิการ

ผู้จัดทำ
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ที่ปรึกษา
- อำนวย ทองสถิตย์
- ประมวล จันทร์พงษ์
- ธรรมยศ ศรีช่วย
- ดร. ทวารัฐ สูตะบุตร
- ประพนธ์ กิติจันทโรภาส
- ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ
- พัชรีพร หาญสกุล
- กุศล ชีวากร
- ธนัท ศรีวิชัย
- นาวิน นาคนาวา
- นราพันธ์ ยามาลี
- บุษรินทร์ สุวรรณศรี

ที่ปรึกษาพลังงานแสงอาทิตย์
- วิรัช มณีขาว
- หทัยกาญจน์ สุขลาภ

ผู้เขียนพลังงานแสงอาทิตย์
- ดร. ณัฏฐพล ภู่ตระกูลโชติ
- วราพร กิติเกียรติโสภณ

ที่ปรึกษาพลังงานไฮโดรเจน
- พีรายา ศิริพุฒ
- พรพรรณ ชนาภิวัตน์

ผู้เขียนพลังงานไฮโดรเจน
- รศ.ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์
- รศ.ดร. เก็จวลี พฤกษาทร
- รศ.ดร. มะลิ หุ่นสม
- รศ.ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี
- ผศ.ดร. เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ
- ดร. คุณากร ภู่จินดา

ที่ปรึกษาชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
- จินตนา เหล่าฤชุพงศ์
- ธาරทิพย์ เศรษฐชาญวิทย์
- เยาวธีร อัชวังกูล
- พิสิฏฐ สงวนตระการกุล
- จริยา บุตรเนตร

ผู้เขียนชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
- ศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์
- ผศ.ดร. ประพันธ์ คูชลธารา
- ผศ.ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ
- ผศ.ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์
- ผศ.ดร. ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย
- ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

ที่ปรึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพ
- เฉลิมลักษณ์ จิตรรำพึง
- ภาณุภัทร เต็งไตรสรณ์
- สุธารี เกียรติมั่น
- กำธร นวเลิศปัญญา
- สิโรจน์ คูหาวิจิตร
- อากร สร้อยแก้ว

ผู้เขียนเชื้อเพลิงชีวภาพ
- รศ.ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์
- ผศ.ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์
- ผศ.ดร. ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย
- ผศ.ดร. ประพันธ์ คูชลธารา
- ผศ.ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ
- ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

ที่ปรึกษาพลังงานใต้พิภพ
- อดิศักดิ์ ชูสุข
- ณัฏฐพร พรหมกร

ผู้เขียนพลังงานใต้พิภพ
- ดร. ณัฏฐพล ภู่ตระกูลโชติ
- วราพร กิติเกียรติโสภณ

ที่ปรึกษาพลังงานน้ำ
- วุฒิกร กัมพลานุวัตร
- เธียรชัย สิทธินันทน์
- วุฒิพงษ์ อภิชนบุตร

ผู้เขียนพลังงานน้ำ
- ดร. บุญรอด สัจจกุลนุกิจ
- ณัฐกุล สนั่นนาม

ที่ปรึกษาพลังงานมหาสมุทร
- พีรายา ศิริพุฒ
- พรพรรณ ชนาภิวัตน์

ผู้เขียนพลังงานมหาสมุทร
- ดร. มยุรพันธ์ สัจจกุลนุกิจ

ที่ปรึกษาพลังงานลม
- อดิศักดิ์ ชูสุข

ผู้เขียนพลังงานลม
- รศ. ดร. บัลลังก์ เนียมมณี
- ดร. รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ

ประสานงาน
- อารีรัตน์ ดีเรือก
- ชานนท์ กลิ่นมาลัย

ผู้ดำเนินการ
- บริษัท อิมเมจไลน์ จำกัด
- บริษัท มีเดียเอกเพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด

หัวหน้ากองบรรณาธิการและบริหารงานวิชาการ
- รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ

บรรณาธิการอำนวยการ
- ณาจูยา เนตรรัตน์

ผู้ช่วยบรรณาธิการอำนวยการ
- สุชาดา ยะมาลี
- พิรุณพร เลิศผาติวงศ์

บรรณาธิการ
- ปานทรัพย์ ยมนาค

บรรณาธิการศิลปกรรม
- รัตนพงศ์ เบ็ญมาตร์

รูปเล่ม
- อาคิรา คงสอน
- ธาดาพงษ์ เก่งปานสิงห์

วาดภาพประกอบ
- วิโรจน์ นาคะ

ISBN

สารานุกรม
พลังงานทดแทน
Alternative Energy Encyclopedia

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
สารานุกรมพลังงานทดแทน.-- กรุงเทพฯ : กรม, 2557.
352 หน้า.

1. **พลังงานทดแทน.** I. กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **ผู้วาดภาพประกอบ.** II. **ชื่อเรื่อง.**

333.79
ISBN 978-974-9822-83-8

พิมพ์ครั้งที่ 1	พ.ศ. 2557
เจ้าของลิขสิทธิ์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เลขที่ 17 ถนนพระรามที่ 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
จัดพิมพ์	บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด 194 ซอยปรีดีพนมยงค์ 46 ถนนสุขุมวิท 71 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110
แยกสี	บริษัท สุนทรฟิล์ม จำกัด
พิมพ์และเข้าเล่ม	บริษัท โรงพิมพ์ตะวันออก จำกัด (มหาชน) 51/29 หมู่ที่ 3 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อนุญาตให้คณาจารย์และนักวิจัยในสังกัดมาร่วมจัดทำสารานุกรมพลังงานทดแทน ทั้งในด้านการออกแบบโครงสร้างของสารานุกรม การจัดหมวดต่างๆ การกำหนดคำสำคัญ การเขียนรายละเอียดเนื้อหา จัดหารูป ตารางประกอบ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการ และขอขอบคุณ ศูนย์สารสนเทศ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารสนเทศที่รวบรวมไว้อย่างต่อเนื่องและเป็นปัจจุบัน ทุกหน่วยงานล้วนมีส่วนสำคัญในการทำให้สารานุกรมฉบับนี้ครอบคลุมเนื้อหาสาระอย่างสมบูรณ์ ทันสมัย ครบถ้วน เหมาะที่จะใช้เป็นหนังสืออ้างอิงด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญสืบไป

สารจากอธิบดี กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

ปัจจุบัน เมื่อพูดถึงพลังงานแล้ว เรามิได้หมายถึงเพียงน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หรือพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เท่านั้น แต่ยังได้พูดถึงและตั้งความหวังไว้กับพลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆ อีกด้วย ทั้งนี้ด้วยเพราะจากความจำเป็นในการใช้พลังงานของประชากรโลก ที่ยังมีจำนวนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งความต้องการพลังงานในการพัฒนาคุณภาพชีวิต และการพัฒนาอุตสาหกรรมรูปแบบต่างๆ ได้ ทำให้ความต้องการพลังงานฟอสซิล เริ่มมีมากกว่าแหล่งทรัพยากรที่เรามีอยู่ขณะเดียวกัน การใช้พลังงานในปริมาณมหาศาลเช่นที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ยังเป็นส่วนหนึ่งของการส่งผลกระทบต่อบรรยากาศโลก ดังนั้นแนวคิดด้านการอนุรักษ์พลังงานฟอสซิลเพื่อให้เกิดการใช้อย่างคุ้มค่าจึงเกิดขึ้นควบคู่กับการศึกษา วิจัย เพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ที่จะเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาดและยั่งยืน เพื่อลดปัญหาสภาวะแวดล้อม อันจะนำไปสู่ความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของประชาชนโดยทั่วไป แนวคิดอันเป็นสากลนี้ ถือเป็นภารกิจหลักของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้ช่วยให้การศึกษา และการวิจัยความเป็นไปได้ของการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ๆ เกิดผลสำเร็จขึ้นมากมาย พลังงานเหล่านี้ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานลม เป็นต้น ซึ่ง พพ. ก็ได้ดำเนินโครงการพัฒนา ศึกษาเทคโนโลยีด้านพลังงานทางเลือก หลายโครงการโดยร่วมกับสถานบันการศึกษาและองค์การต่างๆ ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ พร้อมทั้งเผยแพร่องค์ความรู้เหล่านี้สู่ชุมชน และผู้ประกอบการ ซึ่งนับว่าได้รับผลสำเร็จอย่างน่ายินดี

สารานุกรมพลังงานทดแทนฉบับนี้ ถือเป็นหนึ่งในความพยายามของ พพ. ในการที่จะให้การศึกษา และเผยแพร่ความรู้ด้านพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือกสู่เยาวชนและบุคคลทั่วไป อันจะนำไปสู่สำนึกของการใช้พลังงานอย่างประหยัด คุ้มค่า รวมถึงความสนใจในการค้นหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ๆ ในหมู่เยาวชนผู้ซึ่งจะเข้ามามีบทบาทในการพัฒนาประเทศในอนาคตต่อไปด้วย

นายประมวล จันทร์พงษ์
อธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน

สารจากรองอธิบดี กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

ดร. ทวารัฐ สูตะบุตร
รองอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีในด้านต่างๆ ได้พัฒนาไปอย่างก้าวหน้า และเป็นส่วนหนึ่งในการใช้ชีวิตประจำวันของคนทั่วโลกนั้น เทคโนโลยีเหล่านี้ล้วนต้องพึ่งพาพลังงานเพื่อให้ปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ พลังงานจึงเปรียบเสมือนลมหายใจของโลก และจากความต้องการพลังงานในปริมาณมากเพื่อที่จะขับเคลื่อนธุรกิจ ส่งเสริมอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และเศรษฐกิจ ฯลฯ ของโลก ทำให้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกเผชิญปัญหาขาดแคลน ในขณะเดียวกัน พลังงานเป็นจำนวนมากที่โลกนำไปใช้สร้างความเจริญทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมนั้น เมื่อผ่านกระบานการผลิตต่างๆ แล้วได้ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันก่อให้เกิดผลกระทบมากมายต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานสะอาดจึงเข้ามามีบทบาทในการช่วยลดปัญหาทั้งด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และอุปทานของแหล่งพลังงานที่นำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีข้อได้เปรียบทั้งด้านผลผลิตทางการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ฯลฯ ที่มีอยู่มากมาย จึงสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทางเลือกได้เป็นอย่างดี ประกอบกับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูง ยิ่งกว่านั้นพื้นที่บางแห่งของประเทศยังมีศักยภาพพลังงานลมดี ปัจจัยทั้งหมดนี้จึงทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับดีมาก และมีโอกาสที่จะส่งเสริมพลังงานทดแทนให้กลายเป็นพลังงานที่มีส่วนสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ในอนาคต

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้เร่งพัฒนา ส่งเสริม สนับสนุนให้มีการผลิตและการใช้พลังงานสะอาดตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ โดยให้เป็นไปอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน รวมถึงพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดเชิงพาณิชย์ทั้งด้านการบริโภคภายในและการส่งออก นอกจากนี้ยังสร้างเครือข่ายความร่วมมือที่จะนำพาประเทศไปสู่สังคมฐานความรู้ด้านพลังงาน เพื่อเศรษฐกิจมั่นคง สังคมเป็นสุขอย่างยั่งยืน

วิธีใช้สารานุกรม

เพื่อให้ผู้ที่ต้องการศึกษาค้นคว้าจากสารานุกรม พลังงานทางเลือกฉบับนี้ได้รับประโยชน์เต็มที่ คณะผู้จัดทำขออธิบายลักษณะหลักของโครงสร้างสารานุกรมฉบับนี้ ดังนี้

การนำเสนอเนื้อหา

สารานุกรม พลังงานทดแทน ประกอบด้วยเนื้อหาซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกชนิดต่างๆ รวม 8 หมวด ดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)
2. ไฮโดรเจน (Hydrogen)
3. ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ (Biomass and Bioenergy)
4. เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels)
5. พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy)
6. ไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Electricity)
7. พลังงานมหาสมุทร (Ocean Energy)
8. พลังงานลม (Wind Energy)

การค้นหาศัพท์

ในแต่ละหมวด คำศัพท์จะเรียงตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษ a, b, c, d .... ไปจนถึงศัพท์คำสุดท้ายในหมวดนั้น ดังนั้นการค้นหาศัพท์จึงสามารถค้นหาตามลำดับอักษรได้โดยตรง

นอกจากนี้ ผู้ศึกษายังสามารถค้นหาศัพท์ได้จากดัชนีภาษาอังกฤษ และดัชนีภาษาไทย ตอนท้ายเล่มซึ่งเรียงตามลำดับอักษรเช่นกัน แต่ไม่แบ่งหมวดตามเนื้อหา ดัชนีจะระบุเลขหน้าที่ศัพท์คำนั้นปรากฏอยู่ ผู้ศึกษาจึงสามารถค้นหาคำศัพท์ได้ตามเลขหน้าที่ระบุในดัชนี

การอ้างอิง

โดยทั่วไป คำ หรือ ข้อความที่ปรากฏอยู่ในคำอธิบายอาจมีคำภาษาอังกฤษกำกับอยู่ในวงเล็บควบคู่ไปด้วย เพื่อให้ผู้ศึกษารู้จักคำภาษาอังกฤษไปพร้อมๆ กัน และสามารถใช้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ ได้ ตัวอย่าง

scrubber เครื่องฟอกแก๊ส

อุปกรณ์ควบคุมปริมาณอนุภาคแขวนลอยในแก๊สเสียหรืออากาศ โดยฉีดพ่นหยดของเหลวจากด้านบน เมื่ออนุภาคแขวนลอยสัมผัสหยดของเหลว และมีน้ำหนักมากขึ้นจะแยกออกจากแก๊สเสียหรืออากาศ มารวมกับของเหลวด้านล่างไปสู่ขั้นตอนการบำบัดน้ำ สมรรถนะของเครื่องฟอกแก๊สขึ้นกับประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาค และค่าความดันสูญเสีย แบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ เครื่องฟอกแก๊สแบบสเปรย์ (spray chamber หรือ spray tower scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบไซโคลน (cyclone spray scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบถาด (impingement plate scrubber หรือ impingement tray tower scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบโอริฟิซ (orifice scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบเวนจูริ (venturi scrubber) เครื่องฟอกแก๊สนี้ใช้ในการดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ในขณะเดียวกัน การวงเล็บคำศัพท์ภาษาอังกฤษนี้ ยังเป็นไปเพื่อใช้ประโยชน์ในการอ้างอิง ดังนี้

เพื่อให้ทราบว่าสามารถค้นคว้าคำอธิบายเพิ่มเติมได้จากศัพท์นั้นๆ ซึ่งอยู่ในหมวดเดียวกัน โดยจะกำกับด้วยข้อความว่า (ดู xxxxx) ตัวอย่าง

<u>methane มีเทน</u>

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล CH_4 เบากว่าอากาศ ไม่มีกลิ่น และไวไฟ สามารถระเบิดได้เมื่อมีประกายไฟในช่วงความเข้มข้นในอากาศร้อยละ 5-14 โดยปริมาตร เป็นองค์ประกอบหลักในแก๊สธรรมชาติ และแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) ของมีเทนบริสุทธิ์เท่ากับ 35.64 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็นแก๊สเรือนกระจก (ดู greenhouse gases (GHG)) ที่สำคัญรองจากคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) แม้ว่ามีเทนสามารถดูดซับ และสะท้อนความร้อนกลับสู่ผิวโลกได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ปัจจุบันความเข้มข้นของมีเทนในบรรยากาศยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่าหนึ่งส่วนในล้านส่วน (ppm) มีเทนในธรรมชาติ เกิดในพื้นที่ชุ่มน้ำในระดับความลึกที่ออกซิเจนในอากาศแพร่ไม่ถึง ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) ของกลุ่มแบคทีเรียเมทาโนเจนิก (methanogenic bacteria) (ดู methane-forming bacteria) และการย่อยเซลลูโลส (ดู cellulose) ในลำไส้ของปลวก กิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศ เช่น การทำนาข้าว การทำฟาร์มปศุสัตว์ การเผาไหม้ของถ่านหิน หรือชีวมวล (ดู biomass) แบบไม่สมบูรณ์ และการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ เป็นต้น เป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียเมทาโนโทรปิก (methanotropic bacteria) ซึ่งสามารถย่อยมีเทนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (ดู water)

สารบัญ

11 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

43 ไฮโดรเจน (Hydrogen)

77 ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ (Biomass and Bioenergy)

183 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels)

221 พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy)

247 ไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Electricity)

267 พลังงานมหาสมุทร (Ocean Energy)

279 พลังงานลม (Wind Energy)

SOLAR ENERGY

พลังงานแสงอาทิตย์

พลังจากสุริยะจักรวาล

ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง สีของแสงทั้งเจ็ดที่เราท่องกันขึ้นใจเป็นเพียงสีของแสงในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ แต่สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์มีทั้งรังสีคลื่นสั้น (รังสีอัลตราไวโอเล็ต) แสงที่มองเห็นได้ และรังสีคลื่นยาว (รังสีอินฟราเรด) ซึ่งนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากวัสดุกึ่งตัวนำหลากหลายรูปแบบ เช่น โลหะเจือหรือพอลิเมอร์ ส่วนความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็สามารถนำมาแลกเปลี่ยนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนหรือเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร หรือเพื่อสร้างความอบอุ่นให้อาคารบ้านเรือนในประเทศที่อากาศหนาวเย็น ถ้าเรากักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้มากพอโดยใช้ระบบท่อระบบรางพาราโบลิก หรือระบบหอคอยรวมแสง ก็สามารถนำความร้อนนี้มาผลิตกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เลยทีเดียว พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และใช้ได้ไม่มีวันหมด ในประเทศไทยมีโครงการจำนวนมากที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ ทั้งในที่ที่อยู่ห่างไกลและในชุมชน

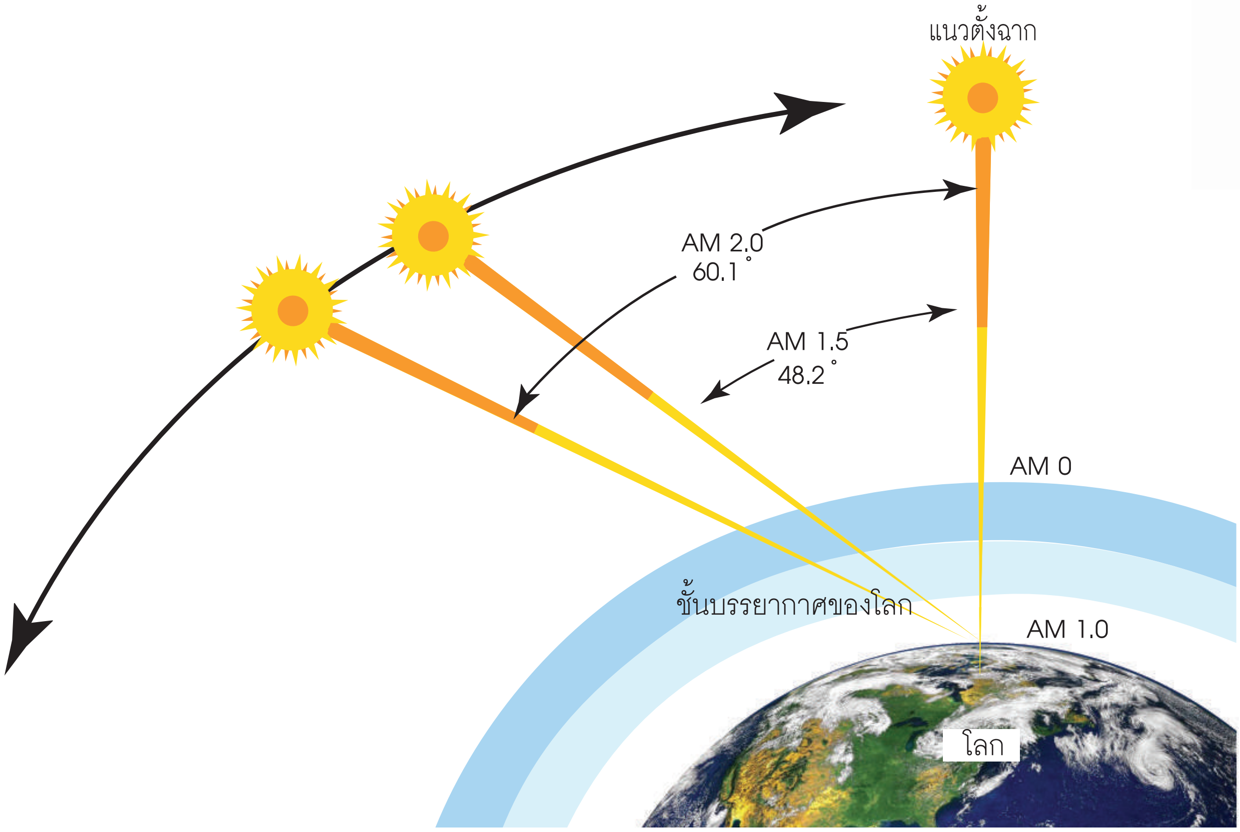
Mind Map

- sun ดวงอาทิตย์
  - photosphere โฟโตสเฟียร์
  - solar system ระบบสุริยะ
- photovoltaics (PV) โฟโตวอลเทอิกส์
  - photovoltaic effect ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก
  - energy band model แบบจำลองแถบพลังงาน
  - semiconductor สารกึ่งตัวนำ
    - intrinsic conductivity สภาพนำภายใน
    - extrinsic conductivity สภาพนำภายนอก
    - Fermi level ระดับเฟอร์มิ
    - P-N junction รอยต่อพี-เอ็น
    - electron-hole pair คู่อิเล็กตรอน-หลุม
  - solar (PV) cell เซลล์แสงอาทิตย์, เซลล์โฟโตวอลเทอิก
    - silicon-based solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอน
    - thin film solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบาง
    - nanocrystalline solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโน
    - photovoltaic characterization การทดสอบลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า
      - steady-state characteristics ลักษณะเฉพาะสถานะคงตัว
      - transient characteristics ลักษณะเฉพาะชั่วครู่
- solar resource map of Thailand แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
- solar electricity in Thailand การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
- solar thermal heat system in Thailand การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

- Solar Energy พลังงานแสงอาทิตย์
  - solar radiation การแผ่รังสีดวงอาทิตย์
    - solar constant ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์
    - short wave radiation รังสีคลื่นสั้น
    - long wave radiation รังสีคลื่นยาว
    - direct radiation การแผ่รังสีตรง
    - diffuse radiation การแผ่รังสีกระจาย
    - optical windows หน้าต่างแสง
    - solar spectrum สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์
    - air mass ratio อัตราส่วนมวลอากาศ
  - solar thermal heat system ระบบทำความร้อนจากแสงอาทิตย์
    - solar collector อุปกรณ์รับแสงอาทิตย์
      - flat plate collector ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ
      - tubular collector ตัวเก็บรังสีแบบท่อ
      - parabolic trough collector ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นรางพาราโบลิก
    - solar thermal power plant โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์
      - parabolic trough system ระบบรางพาราโบลิก
      - central receiver system ระบบหอคอยรวมแสง
      - dish / Stirling engine system ระบบจานรับแสง / เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง
      - solar pond system ระบบบ่อรับแสง
    - solar chimney ปล่องลมแสงอาทิตย์
    - solar drying การอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์
    - passive solar design การออกแบบอาคารพลังแสงอาทิตย์เชิงรับ

air mass ratio (AM) อัตราส่วนมวลอากาศ

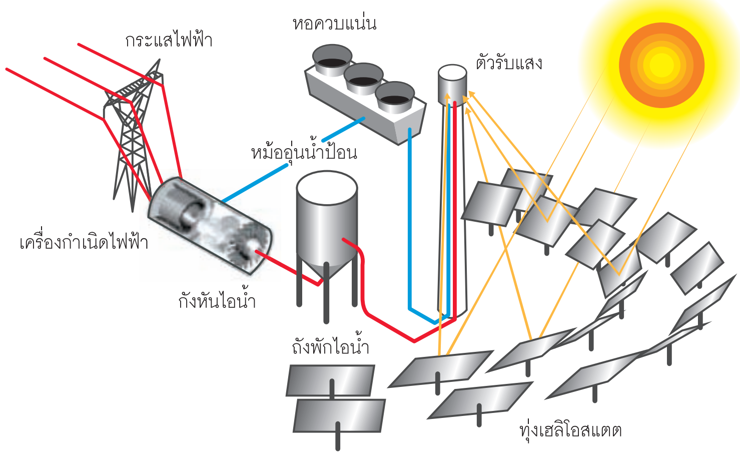
อัตราส่วนระหว่างความหนา (ระยะทาง) ของชั้นบรรยากาศที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านมาสู่พื้นผิวโลก เมื่อดวงอาทิตย์โคจรไปอยู่ที่ตำแหน่งทำมุม z กับแนวตั้งฉาก (zenith) กับความหนา (ระยะทาง) ของชั้นบรรยากาศ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นผิวโลก ความเข้มของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (ดู solar radiation) ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของชั้นบรรยากาศโลก และตำแหน่งดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่สังเกตจากพื้นผิวโลก ความเข้มของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงของวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง ในเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ AM 1.0 (z = 0 องศา) ขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งทำมุม z ใดๆ กับแนวตั้งฉาก จะมีค่าอัตราส่วนมวลอากาศเท่ากับ 1/(cos z) สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ (ดู solar spectrum) ณ ตำแหน่งที่มีค่าอัตราส่วนมวลอากาศเท่ากับ AM 1.5 หรือดวงอาทิตย์โคจรทำมุม 48.2 องศากับแนวตั้งฉาก ถือเป็นค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปีของพื้นผิวโลกในทุกระดับละติจูด (mid-latitudes) และใช้เป็นสเปกตรัมมาตรฐานสำหรับเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม (sun simulator) ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์



ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนมวลอากาศ (air mass ratio, AM) กับมุม z ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นผิวโลก (zenith) ในเวลาที่ดวงอาทิตย์โคจรทำมุม 48.2 และ 60.1 องศากับพื้นผิวโลก อัตราส่วนมวลอากาศจะมีค่า AM 1.5 และ AM 2.0 ตามลำดับ

central receiver system ระบบหอคอยรวมแสง

หน่วยผลิตความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่อาศัยการสะท้อนแสงอาทิตย์ด้วยกระจกเฮลิโอสแตต (heliostat) จำนวนมากไปรวมที่จุดรวมแสงบริเวณตัวรับ (receiver) ที่ติดตั้งบนยอดหอคอย ทำหน้าที่แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนถ่ายเทให้กับตัวกลาง (medium) สามารถนำไปผลิตไอน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป กระจกเฮลิโอสแตตแต่ละแผ่นที่ติดตั้งในทุ่งเฮลิโอสแตต (heliostat field) ได้รับการออกแบบให้ตำแหน่งของการติดตั้งรับกับองศาของมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์และองศาของมุมสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไป เพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์จากแต่ละตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปที่ตัวรับได้ตลอดทั้งวัน ตัวรับบนยอดหอคอยอาจใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger tube receiver) ที่ภายในท่อบรรจุตัวกลางของเหลว เช่น น้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) ตัวรับอัดอากาศระบบปิด (closed air receiver) หรือตัวรับมวลอากาศระบบเปิด (open volumetric air receiver) ซึ่งใช้อากาศเป็นตัวกลาง เพื่อลดการกัดกร่อนและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันสังเคราะห์ที่ไหลเวียนในระบบ ประสิทธิภาพโดยรวมของการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนของเทคโนโลยีหอคอยรวมแสงขึ้นอยู่กับชนิดและการจัดเรียงกระจกในทุ่งเฮลิโอสแตต ความสูงของหอคอย และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของตัวรับแสง โรงไฟฟ้าระบบหอคอยรวมแสงที่ใหญ่ที่สุดในปัจจุบัน คือ โครงการ Planta Solar 10 และ Planta Solar 20 (PS10 และ PS20) ตั้งอยู่ในเมืองซานลูคา ลา มายอ (Sanlúcar la Mayor) ในประเทศสเปน ครอบคลุมพื้นที่ 225,000 ตารางเมตร โครงการ PS10 และ PS20 เป็นโครงการที่ในระยะแรกจะเริ่มผลิตไฟฟ้าที่กำลังการผลิตรวม 31 เมกะวัตต์ (MW) หลังโครงการเสร็จสิ้นทั้งหมดในปี ค.ศ. 2013 จะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดรวม 300 เมกะวัตต์ (MW)



กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบหอคอยรวมแสง

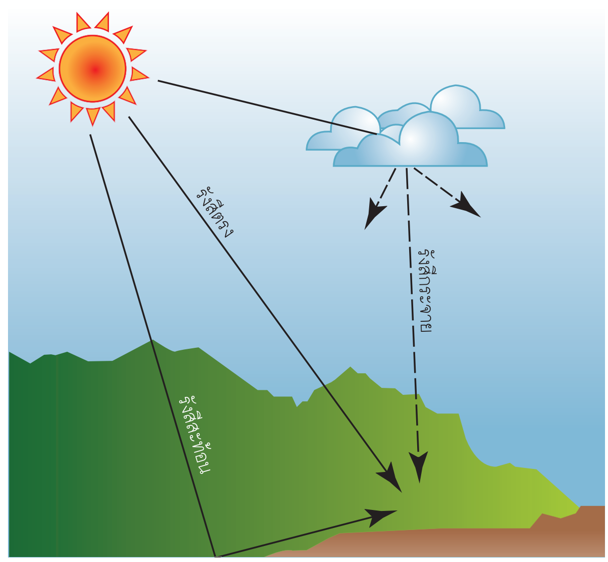
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบหอคอยรวมแสงที่ใหญ่ที่สุดในโลก ปัจจุบันตั้งอยู่ในประเทศสเปน

diffuse radiation รังสีกระจาย

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากดวงอาทิตย์แต่แพร่กระจายในทุกทิศทางเมื่อสัมผัสกับเมฆ แก๊ส ฝุ่นละอองหรืออนุภาคอื่นในชั้นบรรยากาศโลก รวมถึงการสะท้อนแสงของชั้นบรรยากาศก่อนจะถึงพื้นผิวโลก การวัดค่ารังสีกระจายของดวงอาทิตย์ทำได้โดยวัดรังสีรวม (global radiation) หรือผลรวมสเกล่าร์ (scalar sum) ของรังสีตรง (ดู direct radiation) กับรังสีกระจาย โดยใช้เครื่องมือวัดไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) วัดความดันอากาศภายใต้ฝาครอบรูปทรงครึ่งวงกลมที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัดไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) สามารถวัดรังสีรวมได้ครอบคลุมทุกความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำฝาครอบที่ครอบอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนไว้ เช่น ฝาแก้วสำหรับวัดรังสีคลื่นสั้น (ดู short wave radiation) ฝาซิลิคอนสำหรับวัดรังสีคลื่นยาว (ดู long wave radiation) และฝาพอลิเอทิลีนสำหรับวัดรังสีได้ทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว

direct radiation รังสีตรง

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากดวงอาทิตย์มาสู่พื้นผิวโลกด้วยระยะทางที่สั้นที่สุดโดยไม่มีการกระจายในชั้นบรรยากาศและไม่ถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางใด มีทิศทางที่แน่นอนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การวัดรังสีตรงสามารถวัดในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งโดยใช้เครื่องมือวัดรังสีตรงหรือเครื่องมือวัดไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (pyrheliometer) ที่มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า โดยเครื่องจะบันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนจากรังสีตรงเพื่อนำไปคำนวณความเข้มของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์



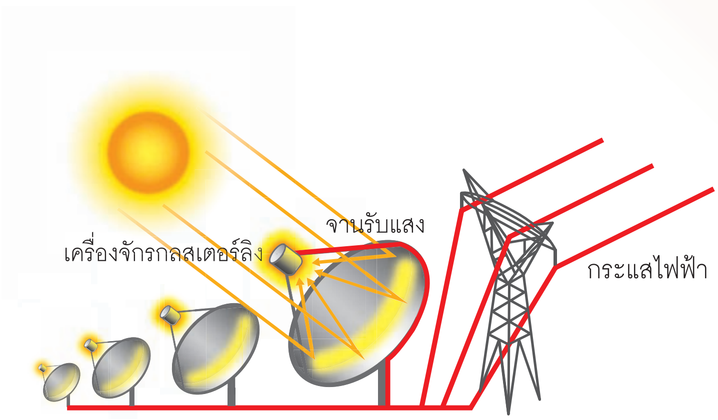
การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มาสู่พื้นผิวโลกในลักษณะรังสีตรง (direct radiation) และรังสีกระจาย (diffuse radiation) เนื่องจากการสะท้อนจากอนุภาคบนท้องฟ้าและจากพื้นผิวโลก

เครื่องมือวัดไพร์เฮลิโอมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากรังสีตรง

เครื่องมือวัดไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดรังสีรวม

dish / Stirling engine system ระบบจานรับแสง / เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง

หน่วยผลิตความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแผ่นกระจกรับแสงรูปจานโค้ง (dish) ทำหน้าที่สะท้อนแสงไปที่ตัวรับแสง (receiver) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่ที่จุดโฟกัสของจานรับแสง ทำหน้าที่แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันที โดยอาศัยหลักการของวัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling cycle) ตัวรับแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีตัวกลาง (medium) คือ แก๊สไฮโดรเจนหรือแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนจากการรวมแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 20 เมกะปาสกาล (MPa) แก๊สที่เย็นตัวลงจะหมุนเวียนกลับไปรับความร้อน ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่เกิดเป็นพลังงานกลเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ฐานของจานโค้งรับแสงถูกออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรง (ดู direct radiation) ความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน จานรับแสงอาจมีลักษณะเป็นจานโค้งผิวเรียบ (continuous plenum) แผงกระจกรวม (attached segments) หรือแผงกระจกแยกส่วน (individual facets) เนื่องจากการออกแบบที่มีความซับซ้อน ทำให้ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิงมีกำลังผลิตไฟฟ้าในระดับไม่เกิน 40 กิโลวัตต์ต่อขนาดจานเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เมตร เหมาะสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบสายส่ง (off-grid system)



กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง

โครงการมารีโคพาโซล่าร์ (Maricopa Solar project) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง ในรัฐอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา

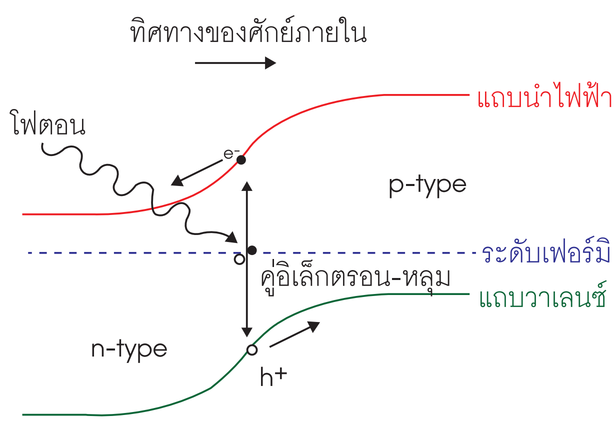
จานรับแสงแบบจานโค้งผิวเรียบ (continuous plenum)

แผงกระจกรวม (attached segments)

แผงกระจกแยกส่วน (individual facets)

electron-hole pair คู่อิเล็กตรอน-หลุม

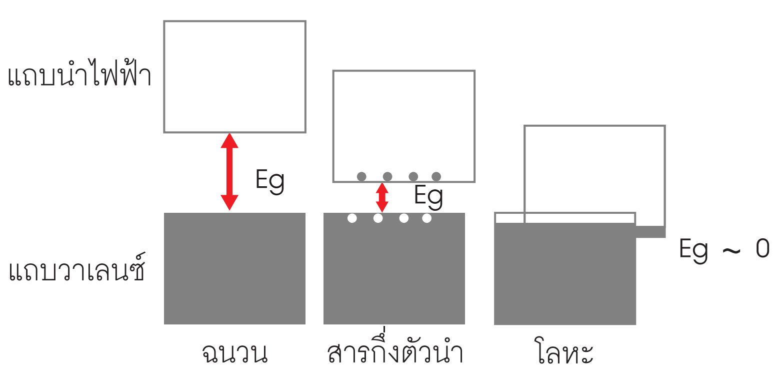
สภาพที่อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (valence band) ของสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor) ได้รับการกระตุ้นจากแสงไฟฟ้าหรือความร้อนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (energy band) จนมีพลังงานสูงพอที่อิเล็กตรอนจะหลุดจากโครงสร้างอะตอมขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ทำให้เกิดหลุม (hole) ในแถบวาเลนซ์ที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปซึ่งจะคงสภาพในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนที่อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานและเกิดการตกกลับ (recombination) ลงมายังแถบวาเลนซ์ตามเดิม คู่อิเล็กตรอน-หลุมที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) ในบริเวณการพร่อง (depletion region) จะถูกเร่งด้วยศักย์ภายใน (built-in potential) ให้แยกคู่กันเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลออกไปสู่วงจรภายนอกได้ จำนวนคู่อิเล็กตรอน-หลุม และช่วงเวลาที่อิเล็กตรอนคงสภาพก่อนการตกกลับ (recombination lifetime) เป็นตัวกำหนดสมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำและลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (ดู solar cell, photovoltaic cell) ที่ประกอบขึ้นจากสารกึ่งตัวนำนั้น



การเกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุม (electron-hole pair)
บริเวณรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction)

energy band model แบบจำลองแถบพลังงาน

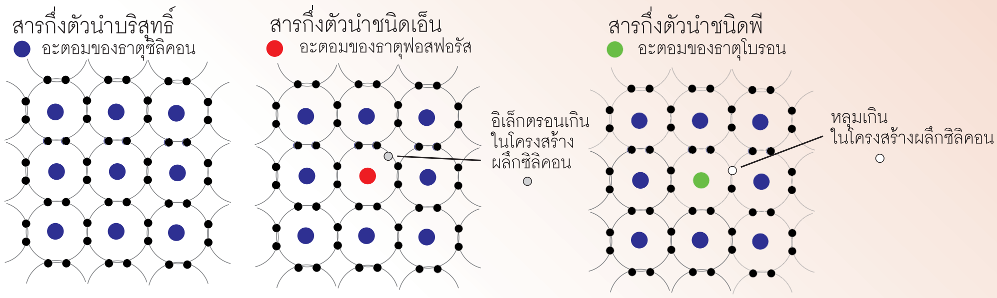
แบบจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่ออะตอมของธาตุรวมตัวกันเป็นโมเลกุลในโครงสร้างของเนื้อวัสดุแข็ง โดยระดับพลังงานย่อยของอิเล็กตรอนในกลุ่มอะตอมจะรวมตัวกันเกิดเป็นแถบพลังงาน (energy band) ที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่และช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (energy gap หรือ band gap; E_g) ที่ไม่มีอิเล็กตรอน แถบพลังงานชั้นในบริเวณที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสของกลุ่มอะตอมจะมีพลังงานต่ำ อะตอมสร้างพันธะระหว่างกันเกิดเป็นโครงสร้างทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (valence band) ส่วนแถบพลังงานชั้นนอกจะมีพลังงานสูงกว่าและอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเรียกว่า แถบนำไฟฟ้า (conduction band) แบบจำลองแถบพลังงานสามารถนำมาใช้อธิบายสมบัติการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันของสารนำไฟฟ้า (conductor) เช่น โลหะ (metal) ฉนวน (insulator) และสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor)



แถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ของโลหะจะอยู่ใกล้กันมีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานแคบหรือซ้อนทับกัน ฉนวนมีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานกว้าง สารกึ่งตัวนำจะมีความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (energy band) อยู่ระหว่างโลหะและฉนวน

extrinsic conductivity สภาพนำภายนอก

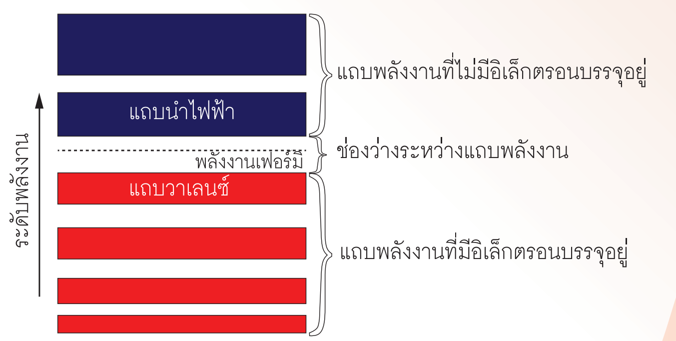
สมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) ที่ปรับปรุงโดยการเจือ (dope) อะตอมของธาตุเจือปนที่มีโครงสร้างอิเล็กตรอนต่างกันลงไปในโครงสร้างผลึกบริสุทธิ์แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ 1. การเจือด้วยอะตอมของธาตุที่มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนของอะตอมโครงสร้างผลึก ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนเกินในโครงสร้างผลึก โดยอิเล็กตรอนที่เกินนี้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) เช่น การเจืออะตอมของธาตุอาร์เซนิก (As) หรือฟอสฟอรัส (P) ลงในโครงสร้างผลึกของซิลิคอน (Si) หรือเจอร์มาเนียม (Ge) 2. การเจือด้วยอะตอมของธาตุที่มีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนอิเล็กตรอนของอะตอมโครงสร้างผลึกทำให้มีจำนวนหลุม (hole) เกินในโครงสร้างผลึกสามารถรับอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงต่อเนื่องกันไปเสมือนว่าหลุมเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) เช่น การเจืออะตอมของธาตุอินเดียม (In) หรือโบรอน (B) ลงในโครงสร้างผลึกของซิลิคอนหรือเจอร์มาเนียม เป็นต้น



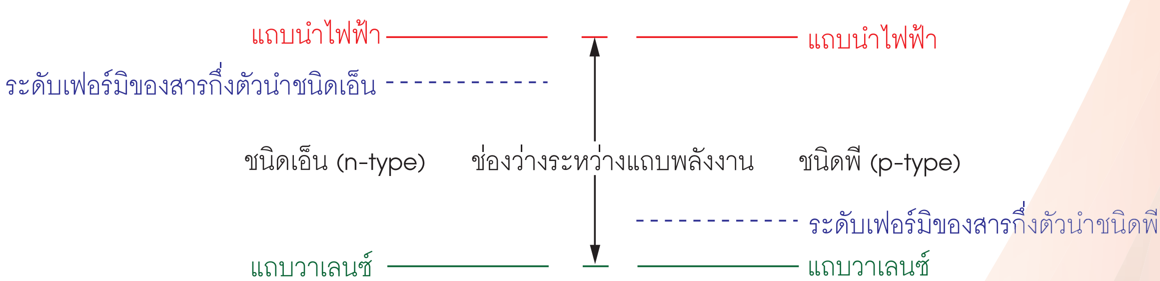
โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (pure silicon) สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type silicon) ซึ่งเกิดจากการเจืออะตอมของธาตุฟอสฟอรัส (P) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type silicon) ซึ่งเกิดจากการเจืออะตอมของธาตุโบรอน (B) ลงในโครงสร้างผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์

Fermi level ระดับเฟอร์มิ

ระดับพลังงานสมมติค่าหนึ่ง ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะมีโอกาสพบอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ร้อยละ 50 ที่สภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic equilibrium) ณ เวลาใดๆ ในแบบจำลองแถบพลังงาน (ดู energy band model) ที่มีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่างๆ เป็นไปตามฟังก์ชันของเฟอร์มิ-ดิแรก (Fermi-Dirac distribution function) สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) จะมีระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่ที่กึ่งกลางของช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (ดู energy band model) ส่วนสารกึ่งตัวนำที่เติมธาตุเจือปนชนิดพี (p-type) จะมีระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่ใกล้แถบวาเลนซ์ (valence band) และชนิดเอ็น (n-type) จะมีระดับพลังงานเฟอร์มิใกล้แถบนำไฟฟ้า (conduction band) ซึ่งสามารถนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ P-N (ดู P-N junction) ได้



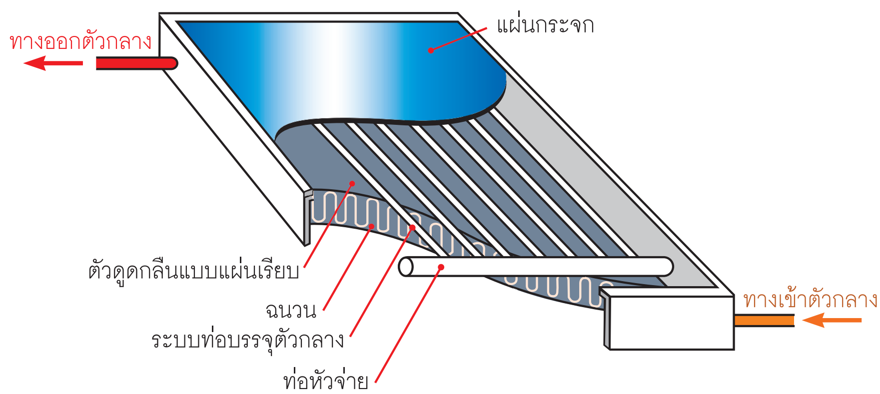
ระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์



ระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี

flat plate collector ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ

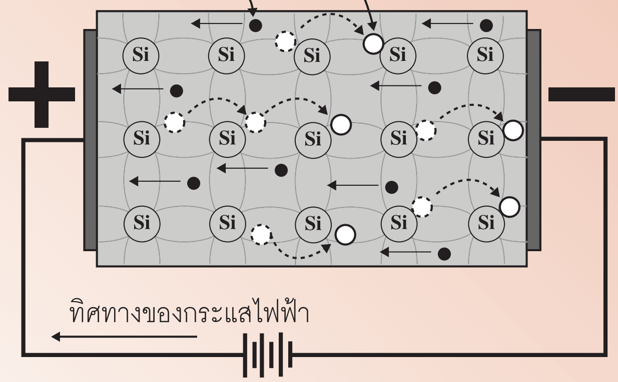
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นแผงโลหะ ประกอบด้วยตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสงทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม และมีระบบท่อ (riser tube) เชื่อมติดอยู่ด้านบนของแผ่นรับแสง ปิดทับด้วยกระจกหรือพลาสติกด้านบน (glazing) แผ่นรับแสงเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี (selective coating) ช่วยเพิ่มการดูดกลืนแสงอาทิตย์ (absorption) ทั้งจากรังสีตรง (direct radiation) และรังสีกระจาย (diffuse radiation) และลดอัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสง (emission) ตัวแผงโลหะและขอบทั้งสี่ด้านหุ้มด้วยฉนวน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน (conductive heat loss) เมื่อแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาในแผงโลหะ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากแผ่นดูดกลืนจะส่งผ่านให้ตัวกลาง (medium) ที่ไหลอยู่ภายในท่อ เช่น น้ำ หรือของเหลวชนิดอื่น โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เช่น การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคารบ้านเรือน หรือผลิตน้ำอุ่นสำหรับสระว่ายน้ำ เป็นต้น



ส่วนประกอบและระบบผลิตน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ

intrinsic conductivitiy สภาพนำภายใน

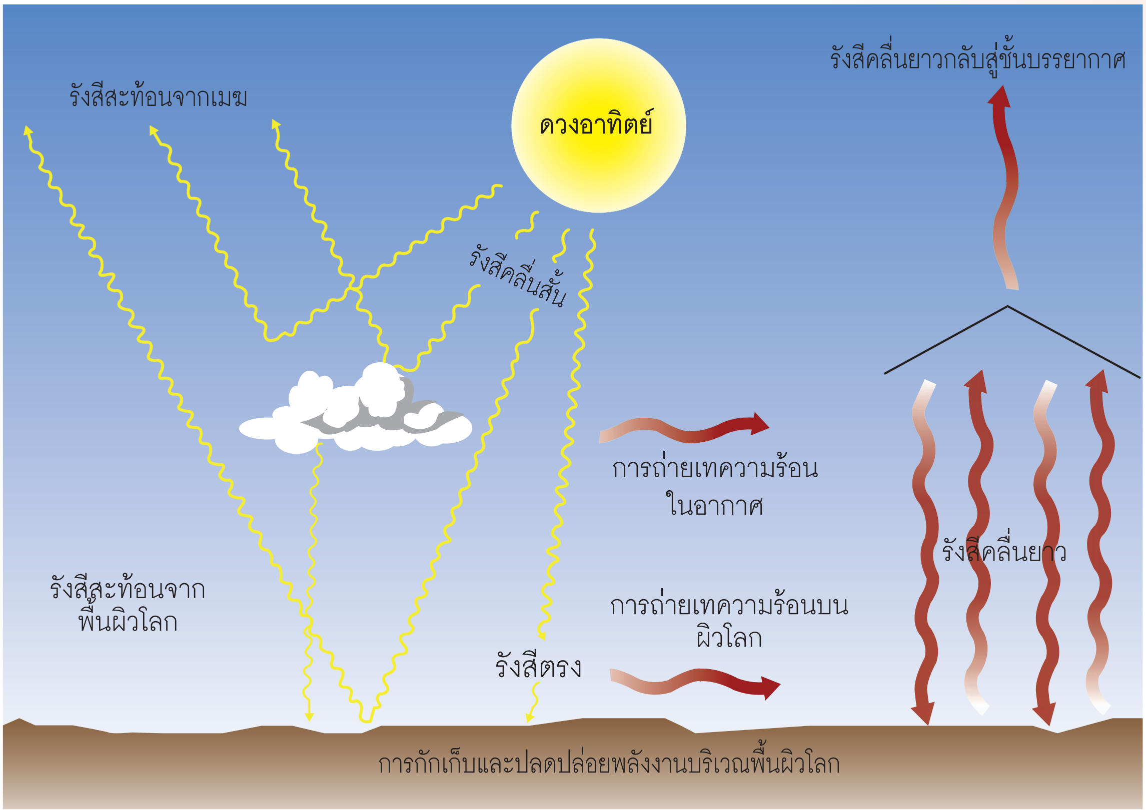
สมบัติของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างอะตอมของธาตุชนิดเดียวที่สามารถนำไฟฟ้าได้ด้วยตัวเอง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานความร้อนหรือกระแสไฟฟ้า โดยอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (valence band) จะหลุดจากโครงสร้างอะตอม ข้ามช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (ดู energy band model) ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (conduction band) และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ในขณะเดียวกันแถบวาเลนซ์ที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะเกิดหลุม (hole) ที่สามารถรับอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงต่อเนื่องกันไปได้อย่างอิสระเสมือนว่าหลุมเคลื่อนที่ได้ในแถบวาเลนซ์ สารกึ่งตัวนำประเภทนี้มีสภาพการนำไฟฟ้าไม่ดีนักแต่จะนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นมากขึ้น



โครงสร้างผลึกซิลิคอนที่มีสภาพนำภายใน เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า จะเกิดการนำไฟฟ้าผ่านตัวนำประจุ 2 ชนิดคืออิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าและหลุมในแถบวาเลนซ์

long wave radiation รังสีคลื่นยาว

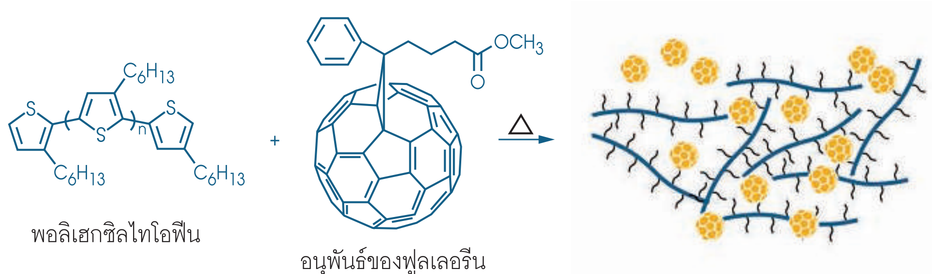
รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านแสงอินฟราเรด (infrared region) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 4 ไมโครเมตรขึ้นไป มีพลังงานต่ำ เกิดจากการที่บรรยากาศของโลก เมฆ และพื้นโลกกักเก็บพลังงานที่ได้รับรังสีคลื่นสั้น (ดู short wave radiation) จากดวงอาทิตย์ไว้บางส่วน และปลดปล่อยพลังงานออกสู่ชั้นบรรยากาศของโลกในรูปรังสีคลื่นยาว เพื่อรักษาสมดุลพลังงานภายในโลก



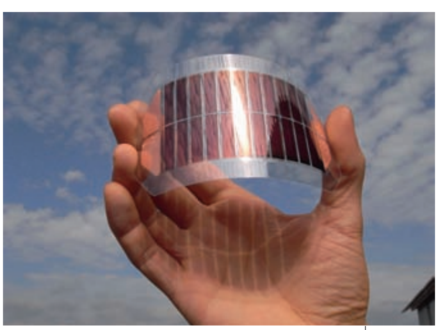
รังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวโลกและรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์

nanocrystalline solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโน

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำนาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) มาประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบ เพื่อผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนการผลิตต่ำลง สามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนได้ ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (organic solar cell) ที่นำวัสดุนาโนพอลิเมอร์สังเคราะห์ 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงและเชิงไฟฟ้าต่างกัน เช่น พอลิเฮกซิลไทโอฟีน (polyhexylthiophene (P3HT)) และสารประกอบเชิงซ้อนของฟูลเลอรีน (fullerene derivative (PCBM)) มาให้ความร้อนจนเกิดการรวมตัวกัน (blend) ในระดับนาโน ทำให้มีคุณสมบัติรับส่งอิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น หรือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (dye-sensitized solar cell) ที่อาศัยหลักการทำงานของคลอโรฟิลในใบไม้สีเขียว โดยใช้สีย้อมธรรมชาติหรือสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้นทำหน้าที่เป็นชั้นดูดกลืนแสง (light-absorbing layer) ถ่ายเทอิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไปสู่ชั้นผลึกนาโน (nanocrystalline layer) ที่มีความพรุนสูง เช่น สารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นวัสดุรองรับเพื่อให้โมเลกุลของสีย้อมยึดเกาะ และมีสารอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) ทำหน้าที่รับส่งอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโนนับเป็นเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นที่สาม (third generation)

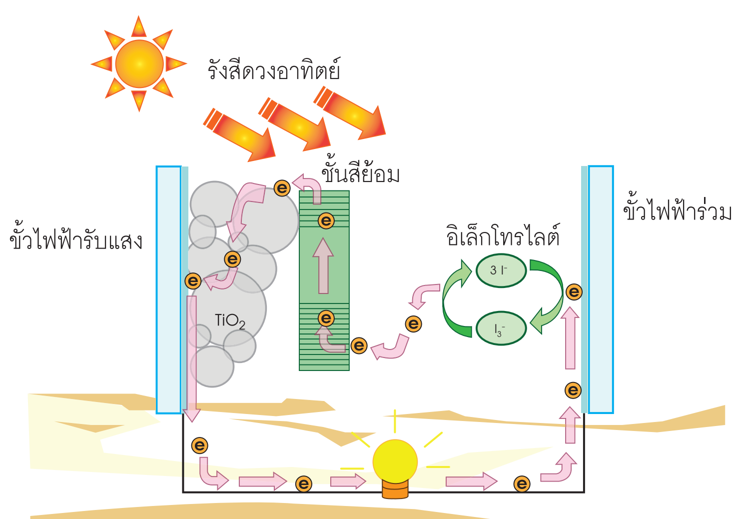


โครงสร้างทางเคมีของพอลิเฮกซิลไทโอฟีน (polyhexylthiophene (P3HT)) และอนุพันธ์ของฟูลเลอรีน (fullerene derivative (PCBM)) เมื่อนำมาผสมกันและให้ความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันในระดับนาโน ทำให้มีคุณสมบัติรับส่งอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้



เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ทำจากวัสดุที่บิดงอได้

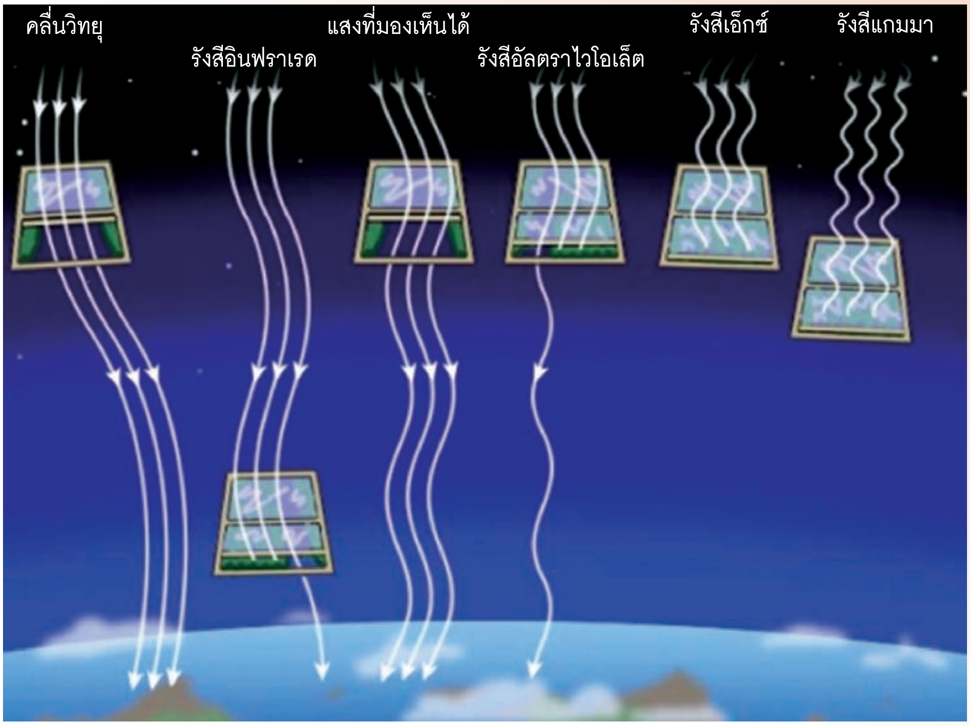
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ตอบสนองการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร



โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

optical windows หน้าต่างแสง

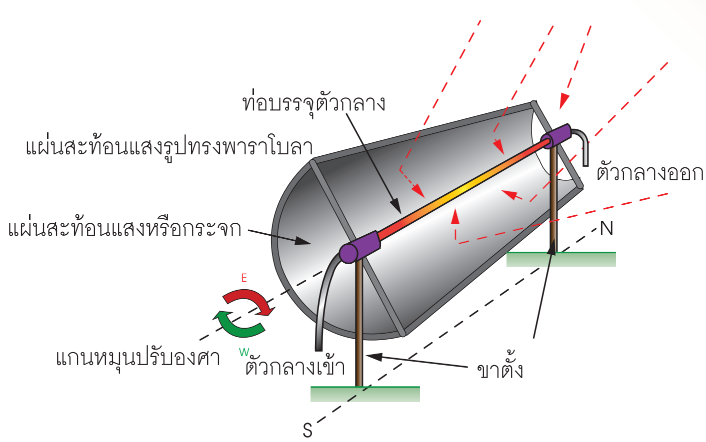
ชั้นบรรยากาศของโลกที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนหน้าต่างกรองรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ที่จะผ่านลงมาสู่พื้นผิวโลก รังสีคลื่นสั้น (ดู short wave radiation) ในสเปกตรัมพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ (ดู solar spectrum) เกือบทั้งหมดจากดวงอาทิตย์จะถูกกรองโดยชั้นบรรยากาศของโลก ยกเว้นแสงที่มองเห็นได้ (visible light) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) บางส่วนที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.38-0.78 ไมโครเมตร หน้าต่างแสงยอมให้รังสีคลื่นยาว (ดู long wave radiation) ในช่วงความยาวคลื่น 0.01-100 เมตร เช่น คลื่นวิทยุ (radio waves) คลื่นไมโครเวฟ (microwave radar) ผ่านลงมาสู่พื้นผิวโลกได้แสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้เท่านั้นที่มีความเข้มและพลังงานเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทดแทน



ชั้นบรรยากาศของโลกที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนหน้าต่างแสง (optical window) ที่กรองรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์และยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านได้บางช่วงความยาวคลื่น

parabolic trough collector ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก

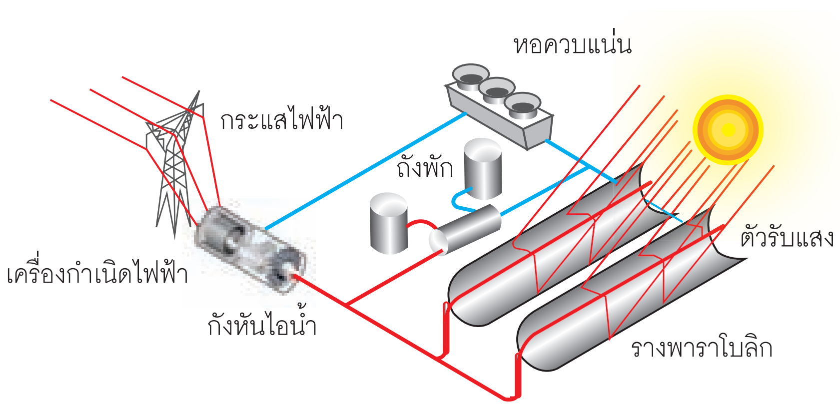
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสง (reflector) รูปทรงพาราโบลาช่วยรวมแสงอาทิตย์ไปยังจุดโฟกัส ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งแนวท่อที่มีตัวกลาง (medium) ไหลผ่านทำให้ดูดกลืนความร้อนได้ในปริมาณสูงมาก โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 290-400 องศาเซลเซียส กรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ถ้าติดตั้งตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิกจำนวนมากพอ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำกลายสภาพเป็นไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ (ดู solar thermal power plant) เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิกยังสามารถออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรง (direct radiation) ความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานให้สูงขึ้นได้อีกด้วย



ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีแบบพาราโบลิก

parabolic trough system ระบบรางพาราโบลิก

หน่วยผลิตความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก (ดู parabolic trough collector) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนถ่ายเทให้กับตัวกลาง (medium) เพื่อนำไปผลิตไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกเริ่มนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าครั้งแรกในปี 1984 ที่โรงไฟฟ้าในโครงการ Solar Energy Generating Systems (SEGS) บริเวณทะเลทรายโมฮาวี (Mojave Desert) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกครอบคลุมพื้นที่ 20.5 ตารางกิโลเมตร มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 364 เมกะวัตต์ (MW) โดยมีโรงไฟฟ้าระบบรางพาราโบลิกจำนวน 9 โรง ทำงานร่วมกับระบบเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (ดู fossil fuel) ในเวลากลางคืนหรือช่วงที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำ

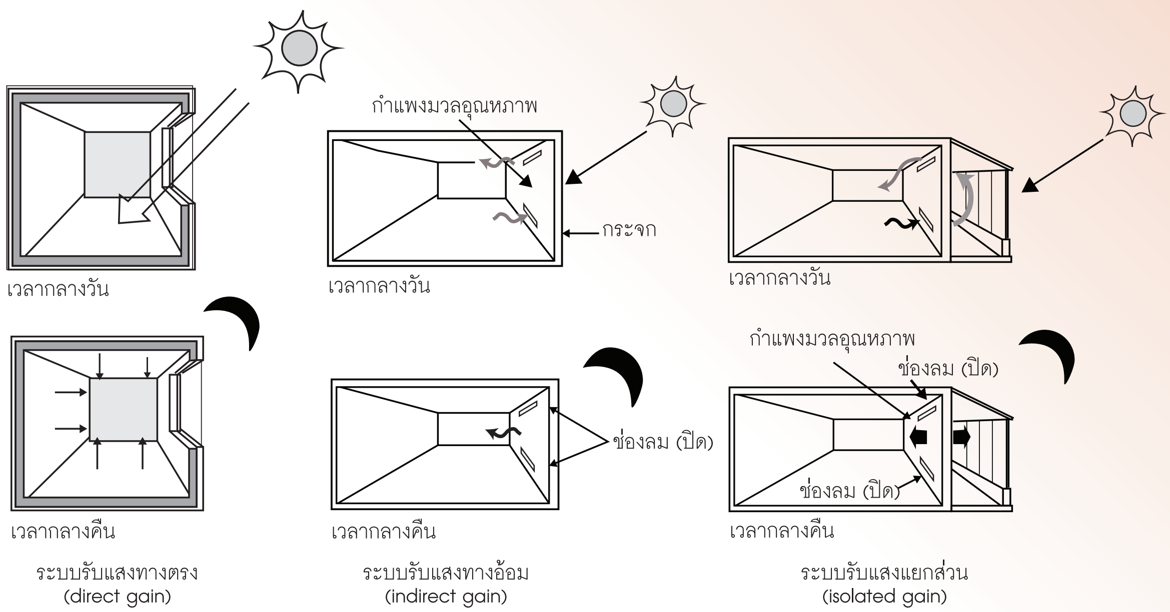


กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลิก

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ระบบรางพาราโบลิกโรงแรกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ อยู่ในจังหวัดสุพรรณบุรี

passive solar design การออกแบบอาคารพลังแสงอาทิตย์เชิงรับ

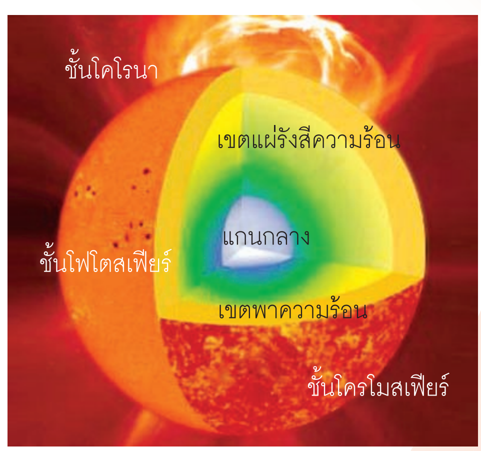
การออกแบบทางสถาปัตยกรรมที่นำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ปรับอากาศในอาคารบ้านเรือน โดยอาศัยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน เพื่อให้ตัวอาคารมีอุณหภูมิพอเหมาะในการทำงานหรืออยู่อาศัยโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ใด ๆ ลดการใช้เครื่องปรับอากาศ และดูแลรักษาง่าย มีองค์ประกอบหลัก คือ ช่องระบายอากาศ (operable window) มวลความร้อน (thermal mass) หรือวัตถุที่เก็บและปลดปล่อยความร้อนอย่างช้า ๆ เช่น กำแพงทรอมบ์ (trombe wall) สระน้ำรับแสงบนหลังคา (roofpond) และปล่องระบายอากาศ (thermal chimney) การปรับแต่งอากาศกระทำได้ใน 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) ระบบรับแสงทางตรง (direct gain) โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์จะถ่ายเทให้มวลอากาศในอาคารโดยตรง รวมถึงผนังอาคารซึ่งจะแผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน (2) ระบบรับแสงทางอ้อม (indirect gain) โดยมวลอุณหภาพซึ่งนำความร้อนอย่างช้า ๆ เมื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันจะแผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน (3) ระบบรับแสงแยกส่วน (isolated gain) จำเป็นต้องมีส่วนต่อเติมจากตัวอาคาร เช่น เรือนกระจก (greenhouse) รับแสงอาทิตย์ ความร้อนจะถ่ายเทจากส่วนต่อเติมของอาคารผ่านมวลอากาศร้อนไหลเวียนเข้ามาในห้องในเวลากลางวัน และการแผ่รังสีจากมวลอุณหภาพในเวลากลางคืน



การออกแบบอาคารพลังแสงอาทิตย์เชิงรับ (passive solar design) ที่ใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ในการปรับอากาศให้เหมาะกับการทำงานหรืออยู่อาศัย

photosphere โฟโตสเฟียร์

ชั้นบนผิวดวงอาทิตย์ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อแบ่งมวลของดวงอาทิตย์ออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) มวลนิ่งทึบแสงซึ่งอยู่ด้านใน ได้แก่ แกนกลางของดวงอาทิตย์ (solar core) ขนาดประมาณ 0.2 เท่าของรัศมีดวงอาทิตย์, เขตแผ่รังสีความร้อน (radiative zone) ที่มีมวลหนาแน่นขนาดตั้งแต่ 0.2-0.7 เท่าของรัศมีดวงอาทิตย์ และเขตพาความร้อน (convective zone) ที่มีมวลเบาบางขนาดตั้งแต่ 0.7-1.0 เท่าของรัศมีดวงอาทิตย์ (2) มวลด้านนอกที่เดือดพลุ่งพล่านมีแสงสว่าง ได้แก่ ชั้นโครโมสเฟียร์ (chromospheres) และชั้นโคโรนา (corona) ชั้นโฟโตสเฟียร์เป็นชั้นที่กำหนดขอบเขตผิวของดวงอาทิตย์ที่ชัดเจนทำให้สามารถวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้ มีอุณหภูมิประมาณ 4,500 ถึง 6,000 เคลวิน (Kelvin) ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสง ซึ่งเทียบได้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) ที่อุณหภูมิประมาณ 5,800 เคลวิน พลังงานที่ปลดปล่อยจากชั้นโฟโตสเฟียร์ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก



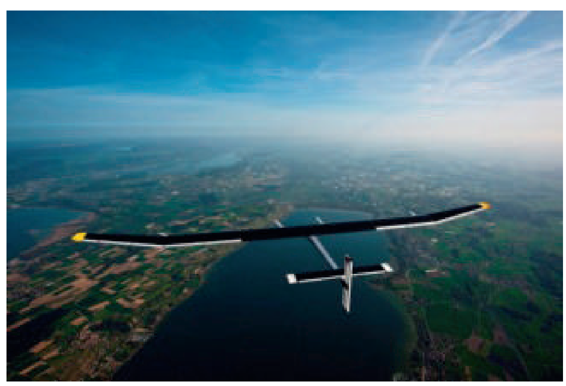
โครงสร้างของดวงอาทิตย์

photovoltaics (PV) โฟโตวอลเทอิกส์

วิธีผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor) ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสง โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (ดู photovoltaic effect) เทคโนโลยีโฟโตวอลเทอิกส์พลังแสงอาทิตย์ (solar photovoltaics) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าซึ่งจะทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหิน ปิโตรเลียมและแก๊สธรรมชาติ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และใช้ได้ไม่มีวันหมด

เซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นส่วนประกอบของอาคาร (Building-integrated photovoltaics; BIPV)

เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน (solar rooftop)



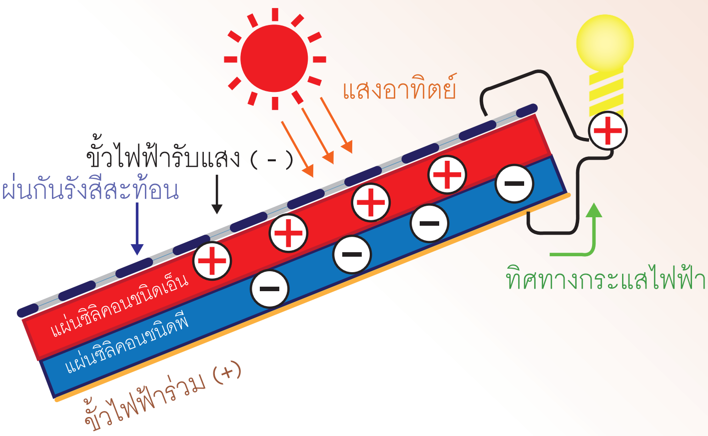
เครื่องร่อนต้นแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar impulse)

photovoltaic characterization การทดสอบลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

การทดสอบลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (ดู solar cell, photovoltaic (PV) cell) สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ (1) การทดสอบลักษณะเฉพาะสถานะคงตัว (ดู steady-state characteristics) หรือลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะสมดุล (equilibrium) ได้แก่ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานโดยรวม (overall conversion efficiency; η) และประสิทธิภาพเชิงควอนตัม (external quantum efficiency) (2) การทดสอบลักษณะเฉพาะชั่วครู่ (ดู transient characteristics) หรือการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อพลังงานกระตุ้นในช่วงเวลาสั้น ได้แก่ ช่วงเวลาที่อิเล็กตรอนคงสภาพก่อนการตกกลับ (recombination life time)

photovoltaic effect ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก

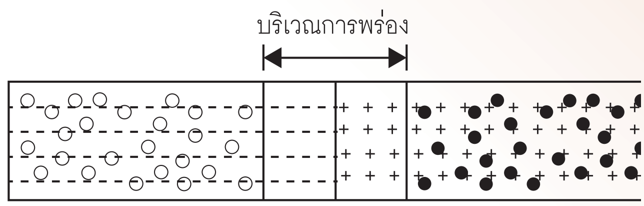
ปรากฏการณ์ที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสง ตกกระทบลงบนสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor) ที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (valence band) มีพลังงานสูงขึ้น และหลุดจากโครงสร้างอะตอมข้ามช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (ดู energy band model) ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (conduction band) อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแถบนำไฟฟ้าทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ ปรากฏการณ์นี้ค้นพบโดยอองตวน เซซาร์เบคเกอเรล (Antoine César Becquerel) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1839 ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 แดริลชาแป็ง (Daryl Chapin) แคลวินฟุลเลอร์ (Calvin Fuller) และเจอร์ราลด์เพียร์สัน (Gerald Pearson) นักวิทยาศาสตร์จากห้องปฏิบัติการเบลล์สหรัฐอเมริกาประสบผลสำเร็จในการนำปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิกมาประยุกต์ใช้ประดิษฐ์เซลล์โฟโตวอลเทอิก (ดู solar cell, photovoltaic (PV) cell) ด้วยสารซิลิคอน (Si) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



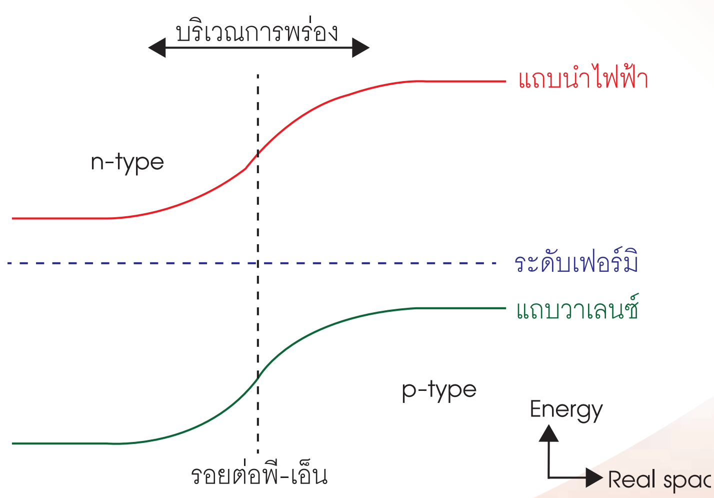
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นจากสารกึ่งตัวนำสองชนิด
(ชนิด P และ ชนิด N) สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก

P-N junction รอยต่อพี-เอ็น

รอยต่อที่เกิดขึ้นเมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) และชนิดเอ็น (n-type) ที่มีระดับพลังงานเฟอร์มิ (ดู Fermi level) ต่างกัน มาเชื่อมต่อกัน อิเล็กตรอนที่มีประจุลบจากฝั่งสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะแพร่เข้าไปในฝั่งสารกึ่งตัวนำชนิดพี ในขณะที่หลุม (hole) ที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่เสมือนว่าแพร่กระจายในทิศทางตรงกันข้าม ในบริเวณแคบ ๆ ใกล้กับรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) นั้น แรงเหนี่ยวนำระหว่างประจุลบและประจุบวกที่สะสมในแต่ละฝั่งทำให้เกิดศักย์ภายใน (built-in potential) ขึ้นต่อต้านการแพร่ของประจุจากทั้งสองฝั่ง การแพร่จะดำเนินไปจนกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิของทั้งสองฝั่งอยู่ระดับเดียวกัน จึงเข้าสู่สมดุลทางไฟฟ้าโดยจะไม่มีการแพร่เกิดขึ้นอีก ที่บริเวณแคบ ๆ ใกล้กับรอยต่อพี-เอ็นที่มีการเคลื่อนที่ของประจุจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลนี้เรียกว่าบริเวณการพร่อง (depletion region) รอยต่อพี-เอ็น เป็นหลักการเบื้องต้นของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์



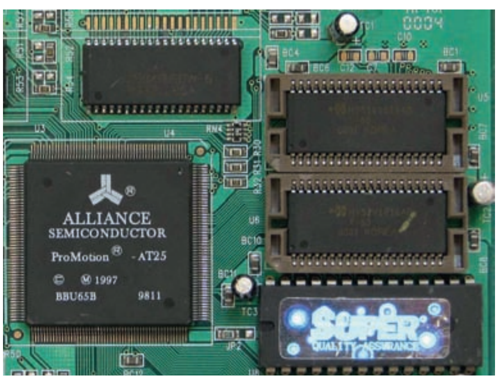
บริเวณการพร่อง (depletion region)



ระดับเฟอร์มิที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction)

semiconductor สารกึ่งตัวนำ

วัสดุที่มีความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (energy gap) อยู่ระหว่างสารนำไฟฟ้า (conductor) กับฉนวน (insulator) สารกึ่งตัวนำจะไม่นำไฟฟ้าในสภาวะปกติ แต่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง ไฟฟ้า หรือความร้อนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (ดู energy band model) อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (ดู valence band) ที่ได้รับพลังงานกระตุ้นจะหลุดจากโครงสร้างอะตอมข้ามช่องว่างระหว่างแถบพลังงานขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทำให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าได้ ธาตุที่มีสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ซิลิคอน (Si) และเจอร์มาเนียม (Ge) ซึ่งใช้เป็นวัสดุหลักในชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



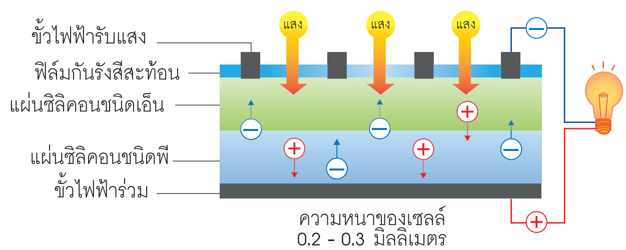
ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

short wave radiation รังสีคลื่นสั้น

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการปลดปล่อยจากชั้นโฟโตสเฟียร์ (ดู photosphere) ของดวงอาทิตย์มายังโลกในรูปของการแผ่รังสีความร้อนซึ่งร้อยละ 97 เป็นรังสีคลื่นสั้นที่มีพลังงานสูงและมีความยาวคลื่นสั้นกว่า 4 ไมโครเมตร อยู่ในย่านแสงอินฟราเรด (infrared) ย่านแสงที่มองเห็นได้ (visible light) และย่านแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)

silicon-based solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ (ดู solar cell, photovoltaic (PV) cell) ที่ผลิตขึ้นโดยการสร้างรอยต่อพีเอ็น (ดู P-N junction) ของแผ่นซิลิคอนบริสุทธิ์ที่เจือ (dope) ด้วยธาตุฟอสฟอรัส (P) และโบรอน (B) เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor) ชนิดเอ็น (n-type) และชนิดพี (p-type) ตามลำดับ แผ่นซิลิคอนความหนาประมาณ 0.2-0.3 มิลลิเมตร สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (ดู photovoltaic effect) ระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตโดยใช้แผ่นซิลิคอนที่ประกอบด้วยผลึกรูปทรงเดียว (monocrystalline) ซึ่งมีต้นทุนการผลิตสูง แต่ประสิทธิภาพต่ำ ต่อมาได้รับการพัฒนามาเป็นผลึกหลายรูปทรง (polycrystalline) ทำให้ต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด และมีการผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์มากที่สุดในบรรดาเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอน จัดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นแรก (first generation)



โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบติดตั้งบนหลังคา (rooftop)

พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (solar farm)

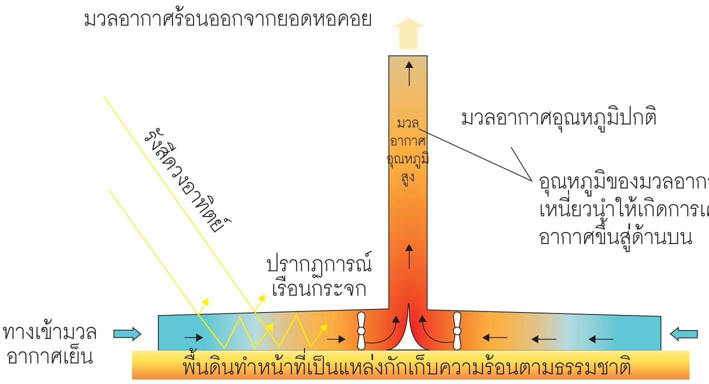
solar cell, photovoltaic (PV) cell เซลล์แสงอาทิตย์, เซลล์โฟโตวอลเทอิก

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (ดู photovoltaic effect) มักเรียกแบบย่อว่า "แผงพี-วีเซลล์" หรือ "solar PV cell" ที่เซลล์แสงอาทิตย์ใช้แสงจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากแสงอาทิตย์ เช่น หลอดไฟหรือแสงเทียมเรียกว่าเซลล์โฟโตวอลเทอิก เซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด ชนิดที่ใช้งานอยู่มากที่สุดในปัจจุบัน คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีซิลิคอน (silicon-based solar cell) นอกจากนั้นยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (thin film solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (organic solar cell) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (dye-sensitized solar cell)

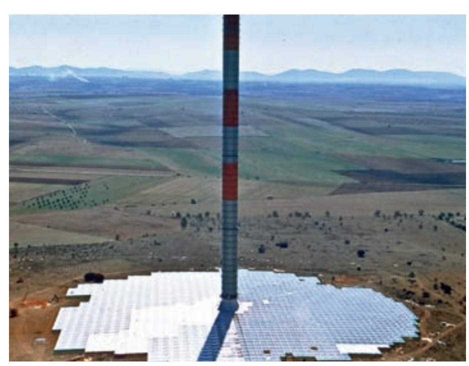
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีซิลิคอน

solar chimney ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์

อุปกรณ์แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลโดยอาศัยอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้น เช่นเดียวกับอากาศใต้หลังคาของอาคารที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศ (ventilator) ที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน จะลอยตัวสูงขึ้นผ่านลูกหมุนระบายอากาศออกไปนอกอาคาร ขณะที่อากาศเย็นจากภายนอกอาคารจะไหลเข้ามาแทนที่ช่วยระบายอากาศภายในอาคารได้ โดยไม่ต้องใช้พัดลมดูดอากาศและช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยสร้างหลังคากระจกคลุมพื้นดินเป็นบริเวณกว้างรอบปล่องลมสูงเพื่อให้เกิดการสะสมความร้อนในอากาศเป็นลักษณะปรากฏการณ์เรือนกระจก (ดู greenhouse effect) เหนือพื้นดินมีระบบท่อที่บรรจุน้ำไว้เต็มทำหน้าที่กักเก็บความร้อน ในช่วงเวลากลางวันมวลอากาศความร้อนสูงใต้หลังคาจะลอยตัวเข้าไปในปล่องลมเพื่อขับกังหัน (turbine) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้บริเวณใต้ปล่องลม นอกจากนั้นมวลอากาศร้อนยังทำให้น้ำในท่อและพื้นดินใต้หลังคากระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจะปลดปล่อยความร้อนออกมาในเวลากลางคืน เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศไปขับกังหัน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง แม้ช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานโดยรวมของเทคโนโลยีปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ต่ำมาก เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ประเภทอื่น



การไหลเวียนของมวลอากาศร้อนและมวลอากาศเย็นในระบบปล่องลมพลังแสงอาทิตย์

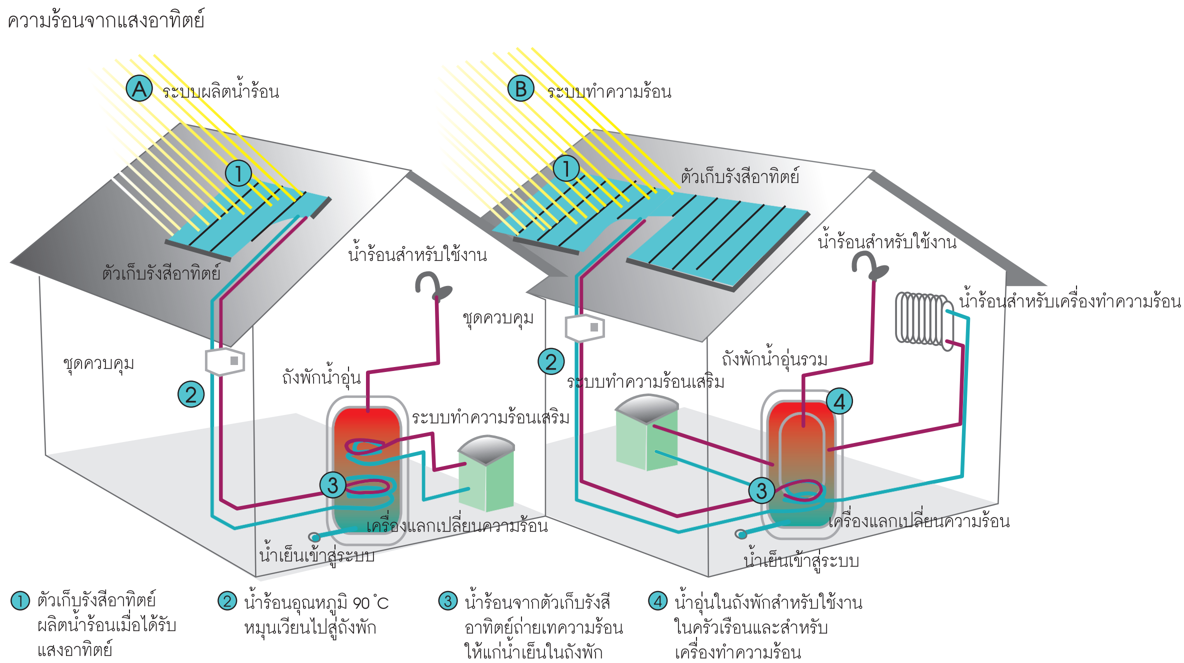


ต้นแบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนระบบปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ในประเทศสเปน ปล่องลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตรความสูง 200 เมตร พื้นที่หลังคากระจก 45,000 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด 50 กิโลวัตต์

S

solar collector ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

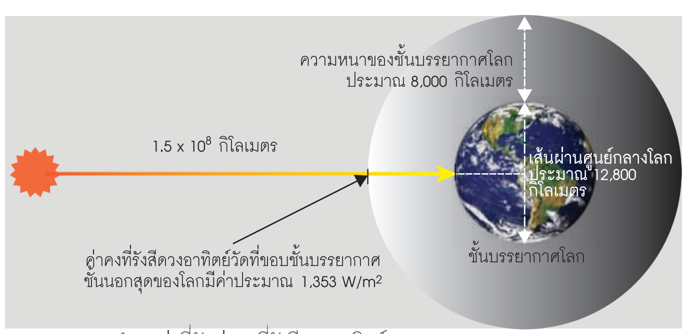
อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับและสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนไปให้ตัวกลาง (medium) ที่ลำเลียงไปตามระบบท่อ ส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้แก่ 1. ตัวดูดกลืน (absorber) ทำหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) ได้ดี สะท้อนแสงน้อย อัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปรังสีคลื่นยาว (long wave radiation) ต่ำและไม่ยอมให้แสงส่องผ่าน ได้แก่ โลหะทองแดง หรืออลูมิเนียม เป็นต้น 2. อุปกรณ์นำความร้อน (heat carrier) ประกอบด้วยตัวกลางและระบบท่อนำความร้อน ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากตัวดูดกลืนไปยังอุปกรณ์ปลายทาง 3. อุปกรณ์เก็บความร้อน (energy storage) ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนก่อนที่จะนำไปใช้งาน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามรูปทรงของตัวเก็บรังสี ได้แก่ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ แบบท่อ และแบบรางพาราโบลิก



เก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ผลิตน้ำอุ่นใช้ในอาคารบ้านเรือนประกอบด้วย (1) ตัวดูดกลืนติดตั้งบนหลังคาเพื่อรับแสงอาทิตย์ (2) อุปกรณ์นำความร้อน ได้แก่ ระบบท่อน้ำร้อน (3) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และ (4) อุปกรณ์เก็บความร้อน ได้แก่ ถังน้ำร้อน รวมถึงระบบทำความร้อนเสริม ในกรณีไม่มีแสงแดดหรือแสงแดดไม่เพียงพอ

solar constant ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์

ค่าความเข้มต่อหน่วยพื้นที่ของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ (ดู solar radiation) ต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ตกกระทบ ณ ขอบของชั้นบรรยากาศชั้นนอกของโลกตำแหน่งที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ซึ่งห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 1.5 x 10^8 กิโลเมตร มีค่าประมาณ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร



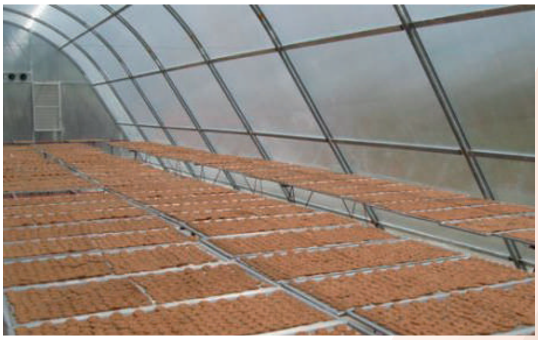
ตำแหน่งที่วัดค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (solar constant)

solar drying การอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์

การอบแห้งในระบบปิดที่มีการระบายอากาศ (enclosed ventilated area) พัฒนาขึ้นมาจากการตากแห้ง (sun drying) ซึ่งเป็นวิธีไล่ความชื้นในผลผลิตทางการเกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บอาหาร ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศภายในอุปกรณ์อบแห้ง และสมบัติทางกายภาพ/เคมีของสิ่งที่ต้องการจะอบ โครงสร้างอุปกรณ์อบแห้ง (solar dryer) มี 3 แบบ ได้แก่ ตู้อบแห้ง (cabinet) กระโจมอบแห้ง (tent) และอุโมงค์อบแห้ง (tunnel) ซึ่งสามารถสร้างเป็นโรงเรือนอบแห้ง (greenhouse) ที่ผสมผสานอุปกรณ์อบแห้งหลายแบบเข้าด้วยกัน ด้านที่รับแสงทำจากวัสดุโปร่งแสง เช่น พอลิเอทีลีนอะครีลิกหรือกระจก ภายในอุปกรณ์อบแห้งได้รับการออกแบบให้มีอากาศร้อนหมุนเวียนอาศัยหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ (passive solar drying) หรือติดตั้งพัดลม เพื่อเหนี่ยวนำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ (active solar drying) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับลมร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการอบแห้งอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ เช่น ช่วงฝนตก หรือเพื่อลดความชื้นในอากาศก่อนป้อนเข้าสู่อุปกรณ์อบแห้ง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง


ตู้อบแห้งพลังแสงอาทิตย์


อุโมงค์อบแห้ง หรือโรงเรือนอบแห้งพลังแสงอาทิตย์ เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก ประเทศ สปป.ลาว ออกแบบโดย รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.ศิลปากร โครงการให้ความช่วยเหลือทางวิชาการดำเนินงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

โรงเรือนอบแห้งพลังแสงอาทิตย์สำหรับอบข้าวแต๋น ของห้างหุ้นส่วนสามัญข้าวแต๋นแม่บัวจันทร์ ที่อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ออกแบบโดย รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.ศิลปากร

S

solar electricity in Thailand การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ รองลงมาเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบสายส่ง (grid-connected application) ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสื่อสารโทรคมนาคม และระบบสูบน้ำ ตามลำดับ ซึ่งหน่วยงานที่นำระบบดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ยังคงเป็นหน่วยงานของรัฐที่จัดหาระบบพลังงานสำหรับสาธารณประโยชน์การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เริ่มต้นทดลองติดตั้งและทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 เป็นการใช้งานในอุปกรณ์ต่างๆ ของหน่วยงานภายใน กฟผ. เช่น ใช้กับวิทยุสื่อสาร สัญญาณไฟกระพริบ เครื่องมือบันทึกข้อมูล เครื่องวัดแผ่นดินไหว ไฟแสงสว่างสำหรับที่พักเจ้าหน้าที่สำรวจ เป็นต้น ต่อมาได้พัฒนาการใช้งานในลักษณะของการสาธิตเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นเชื่อมโยงเข้ากับระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เช่น โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาบ่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน กำลังผลิตติดตั้ง 0.5 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี กำลังผลิตติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ เป็นต้น กฟผ. ยังได้จัดทำโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารและบ้านพักอาศัย เช่น ระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศาลากลางจังหวัด อาคารของรัฐ อาคารศูนย์ศึกษาการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ 7 แห่ง บ้านพักประชาชนที่สมัครเข้าร่วมโครงการจำนวน 60 หลัง กำลังผลิตติดตั้งรวม 159.5 กิโลวัตต์ ต่อมารัฐบาลมีนโยบายให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้มีการแข่งขันด้านการผลิต ในปี พ.ศ. 2537 จึงมีผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (Small Power Producers : SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) เข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มีโครงการสาธิตต่างๆ เพื่อส่งเสริมและประชาสัมพันธ์การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า เช่น โครงการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแสงสว่างในครัวเรือน โครงการระบบผลิตไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้า โครงการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโรงเรียนชนบทที่ไม่มีไฟฟ้า โครงการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับศูนย์การเรียนรู้ชุมชน โครงการระบบผลิตไฟฟ้าแสงสว่างทางสาธารณะด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โครงการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับฐานปฏิบัติการทางทหารและตำรวจตระเวนชายแดน และโครงการระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น


โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาบ่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

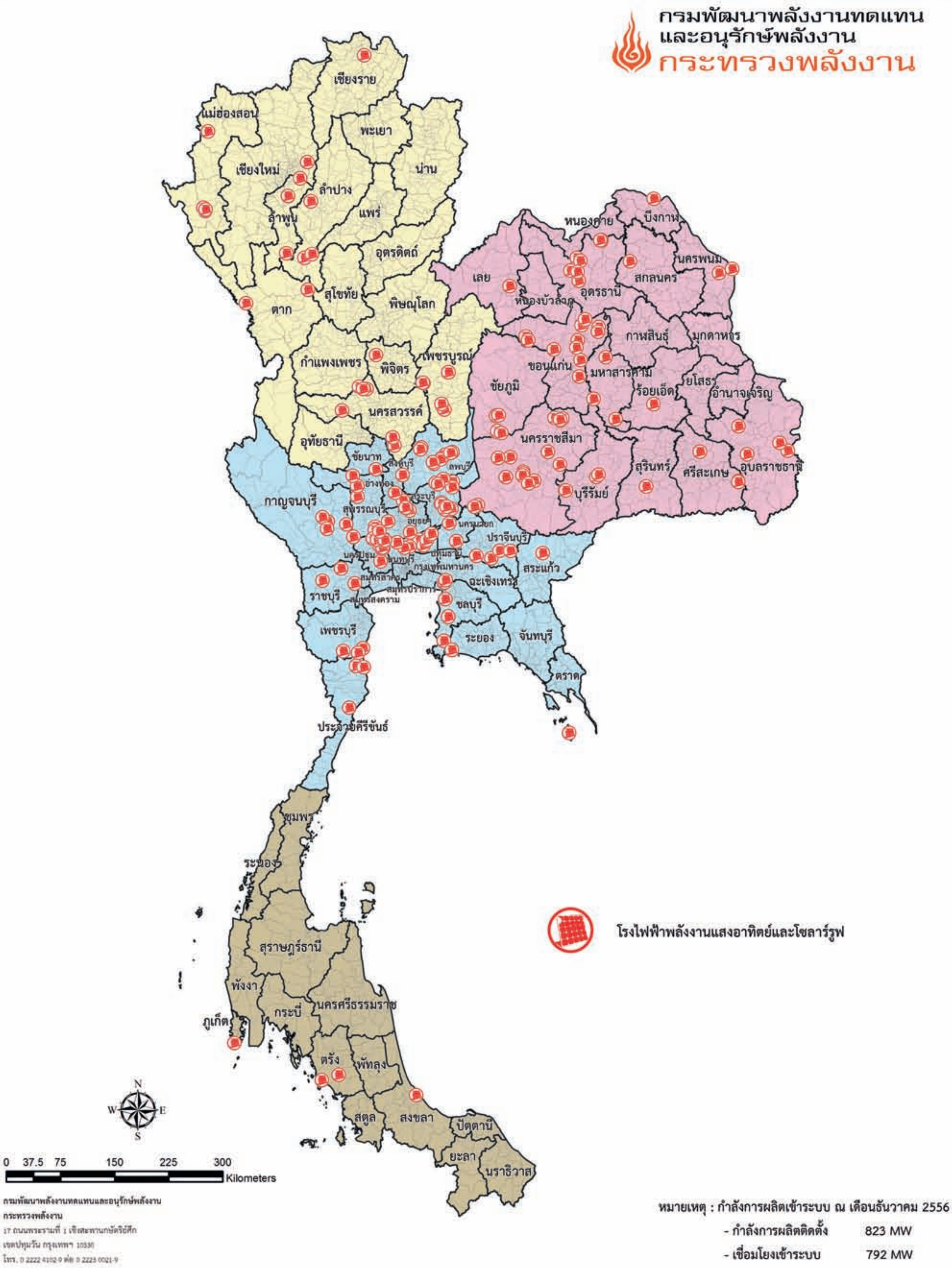

โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี


เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่พักอาศัย


ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับไฟฟ้าส่องสว่างถนนสาธารณะ


ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

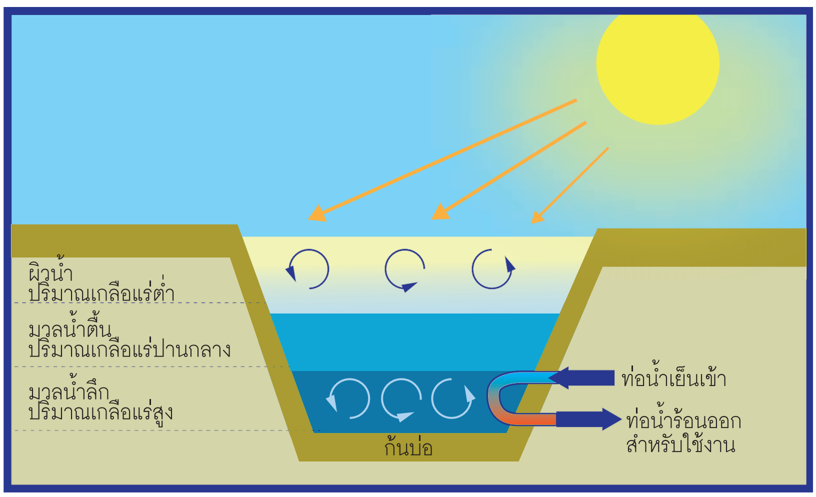
แผนที่แสดงที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และโซลาร์รูฟในประเทศไทย



แผนที่ตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย (ปรับปรุงข้อมูลเมื่อเดือนธันวาคม 2556)
ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

solar pond system ระบบบ่อรับแสง

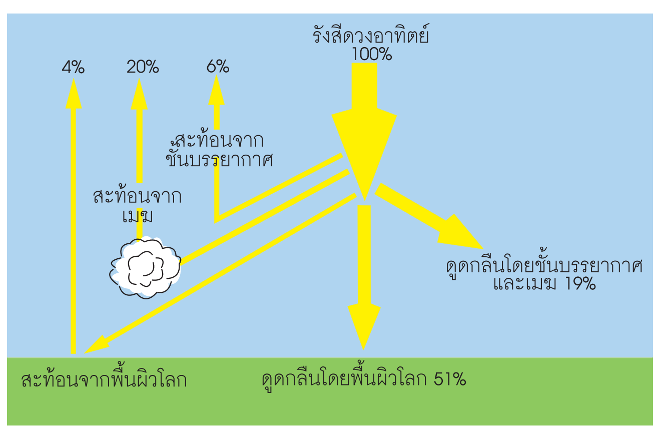
ระบบสะสมพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยอาศัยหลักการจัดช่วงชั้นของเกลือแร่ในน้ำ (water stratification) โดยทั่วไปแหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือแหล่งเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจะมีปริมาณเกลือแร่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกจากผิวน้ำ เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน มวลน้ำลึกที่มีเกลือแร่สูงจะสะสมความร้อน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและเคลื่อนที่ขึ้นมาที่ผิวน้ำ เนื่องจากมวลน้ำอุ่นจะมีความหนาแน่นต่ำกว่ามวลน้ำเย็นที่ความลึกระดับหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณเกลือแร่มากพอ ความหนาแน่นของมวลน้ำสูงมากจนไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ผิวน้ำได้แม้ว่าจะสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์จนอุณหภูมิเกือบถึงจุดเดือดของน้ำก็ตาม (80-90 องศาเซลเซียส) เรียกว่าบริเวณเก็บความร้อน (heat storage zone) ความร้อนที่สะสมอยู่ในมวลน้ำบริเวณนี้สามารถถ่ายเทมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ในกรณีนี้มวลน้ำในระดับที่ตื้นกว่าที่มีปริมาณเกลือแร่ปานกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulation zone) ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการระเหย การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนจากมวลน้ำลึกที่มีความร้อนสูงอีกด้วย



การสะสมความร้อนของระบบบ่อรับแสง

solar radiation รังสีดวงอาทิตย์

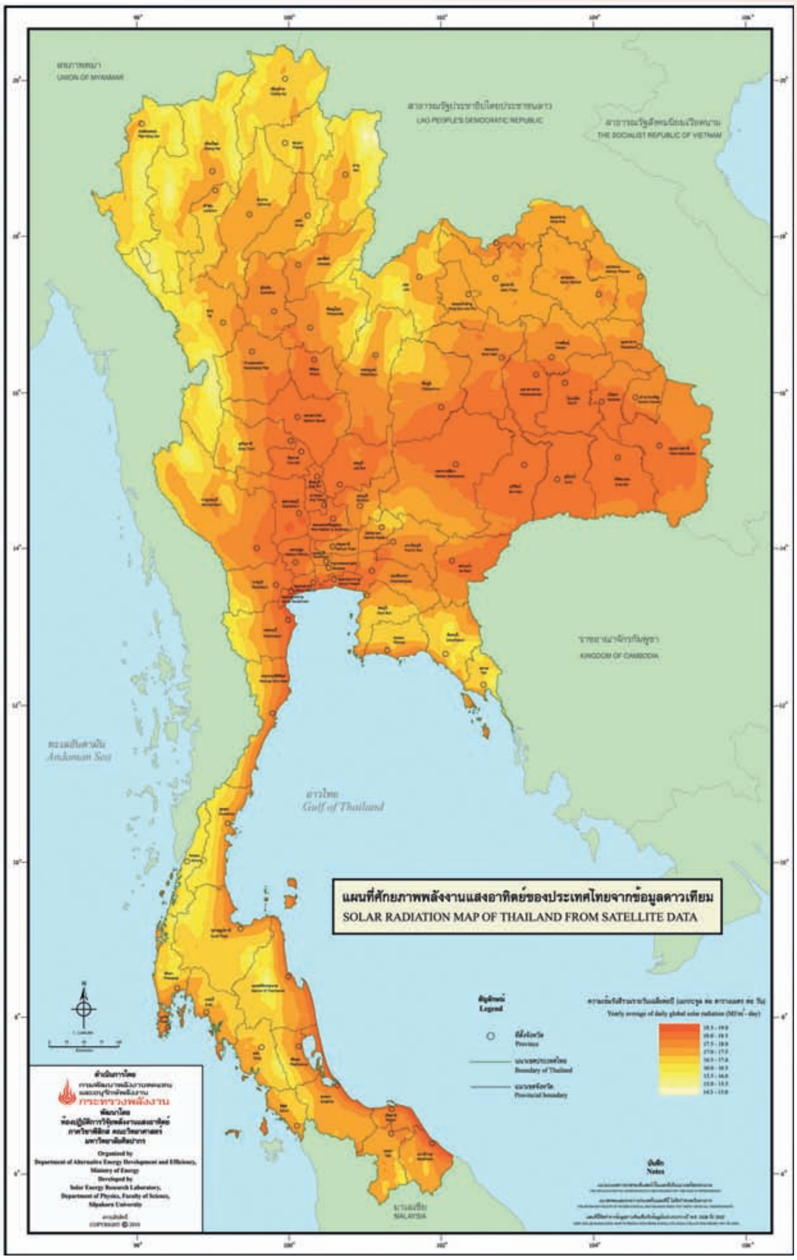
คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกมาจากชั้นโฟโตสเฟียร์ (ดู photosphere) ของดวงอาทิตย์ในรูปการแผ่รังสีความร้อนผ่านสุญญากาศมายังโลกโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง รังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 97 ที่ตกกระทบขอบชั้นบรรยากาศชั้นนอกสุดของโลกเป็นรังสีคลื่นสั้น (ดู short wave radiation) มีพลังงานเท่ากับค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (ดู solar constant) เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกความเข้มของพลังงานจะลดลงกว่าร้อยละ 70 เนื่องจากการสะท้อนแสงของชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและพื้นผิวโลกรวมไปถึงการกระจายแสงและการดูดกลืนพลังงานของอนุภาคและเมฆในชั้นบรรยากาศซึ่งมีปริมาณและสมบัติเชิงแสงแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพอากาศและตำแหน่งละติจูด (latitude) บนโลก



สัดส่วนการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามา
ในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก

solar resource map of Thailand แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

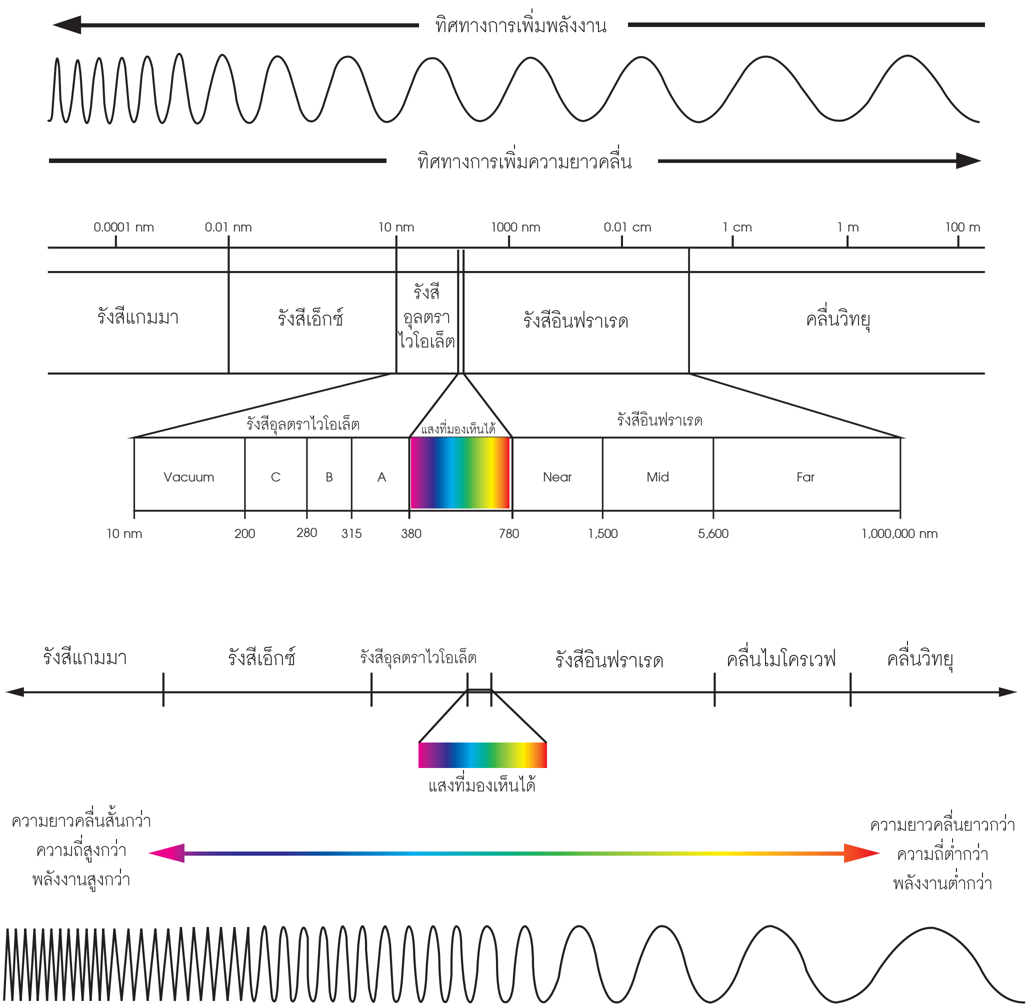
แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย จัดทำขึ้นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ 2542 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี ชัยภูมิ ขอนแก่น และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เกะจูล/ตารางเมตร-วัน คิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 เมกะจูล/ตารางเมตร-วันและมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่า 16 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน เมื่อคำนวณความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง



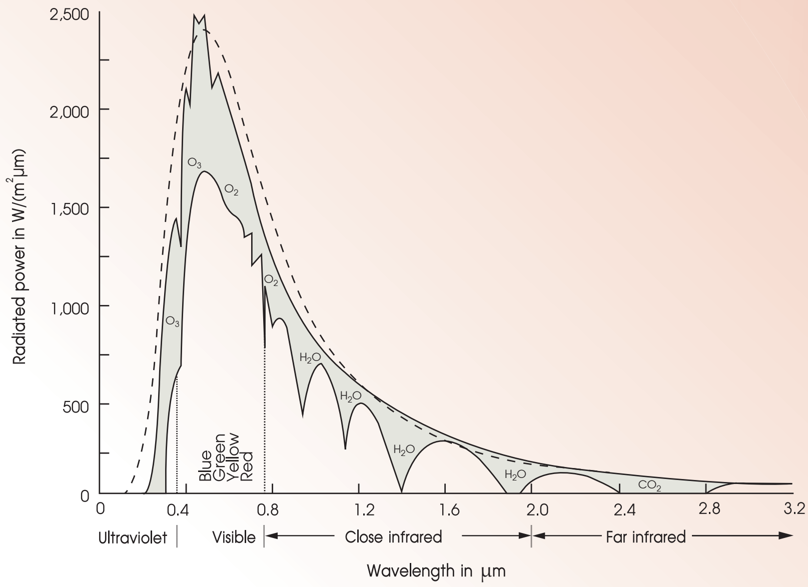
แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (จากข้อมูลดาวเทียม เก็บข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2552) ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

solar spectrum สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์

แถบแสดงรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์มาสู่พื้นผิวโลกจำแนกตามความยาวคลื่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ 1. รังสีคลื่นสั้น (ดู short wave radiation) ส่วนใหญ่เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) มีความยาวคลื่น 0.1- 0.4 ไมโครเมตร โดยมีความเข้มของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 7 ของพลังงานทั้งหมด 2. แสงที่มองเห็นได้ (visible light) เป็นรังสีคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.38-0.78 ไมโครเมตร มีความเข้มของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 43 ของพลังงานทั้งหมด สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเป็นแสงสีขาว ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห (refractive index) แตกต่างกันจะเกิดการหักเหของแสงบริเวณผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสองมองเห็นได้เป็นแถบสี 7 สีตั้งแต่ความยาวคลื่นน้อยไปหามากตามลำดับได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง แสงสีม่วงเป็นแสงสีที่เกิดการหักเหมากที่สุดและแสงสีแดงมีการหักเหน้อยที่สุด 3. รังสีคลื่นยาว (ดู long wave radiation) หรือรังสีอินฟราเรด (infrared) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.7 ไมโครเมตรเป็นต้นไปจนถึงระดับมิลลิเมตร มีความเข้มของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 49 ของพลังงานทั้งหมด



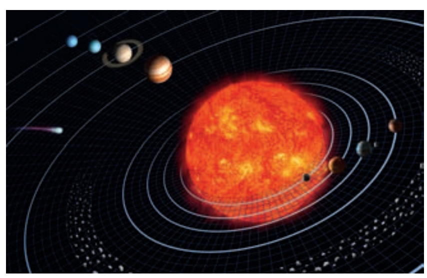
การจำแนกสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ระดับพิโคเมตร (10-12 เมตร) ไปจนถึง 100 เมตร โดยสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตรไปจนถึง 1 มิลลิเมตร แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ รังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) แสงที่มองเห็นได้ (visible light) และรังสีคลื่นยาว (long wave radiation)



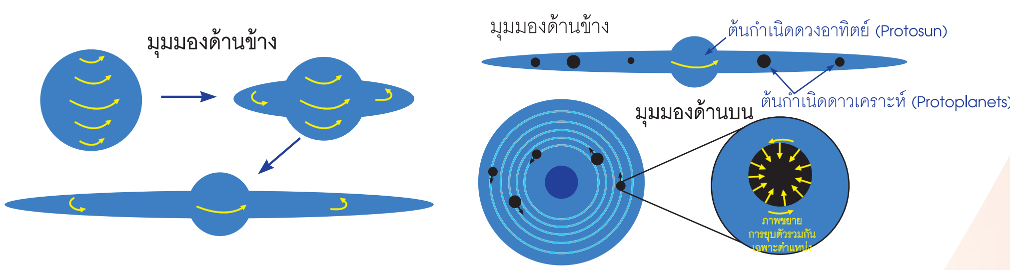
กราฟความเข้มของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ (solar spectrum) จำแนกตามความยาวคลื่น เส้นประ แสดงสเปกตรัมพลังงานจากการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) ที่อุณหภูมิ 5,700 เคลวิน เส้นทึบทั้งสองเส้นแสดงสเปกตรัมพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบของชั้นบรรยากาศชั้นนอกสุดของโลก (เส้นบน) และที่พื้นผิวโลก (เส้นล่าง) ตามลำดับ พื้นที่สีเทาแสดงพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยอนุภาคในชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่นต่างๆ พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีความเข้มมากที่สุดในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.5- 0.6 ไมโครเมตรซึ่งอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (visible light)

solar system ระบบสุริยะ

ระบบในอวกาศที่ประกอบไปด้วยดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางและเทหวัตถุต่างๆ ที่เคลื่อนที่อยู่รอบดวงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็นดาวเคราะห์ (planets) ทั้ง 8 ดวงและดวงจันทร์บริวาร รวมไปถึงดาวหาง (comets) ดาวเคราะห์แคระ (dwarf planets) กลุ่มดาวเคราะห์น้อย (asteroids) และสะเก็ดดาว (meteoroids) ระบบสุริยะมีอายุประมาณห้าพันล้านปี เกิดขึ้นจากกลุ่มโมเลกุลของแก๊สขนาดเล็กจำนวนมหาศาล (nebula) ยุบตัวรวมกันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและหมุนรอบตัวเองตามกฎอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (angular momentum conservation) ผลการหักล้างกันระหว่างแรง 3 ชนิด ได้แก่ แรงโน้มถ่วงที่ทำให้แก๊สรวมตัวกัน แรงดันภายในกลุ่มแก๊สที่ทำให้แก๊สแยกตัวจากกัน และแรงเหวี่ยงจากการหมุนทำให้กลุ่มแก๊สมีรูปทรงแบนราบและแผ่ขยายวงกว้างออกไปในแนวรัศมีของการหมุนแต่ศูนย์กลางยังคงมีลักษณะทรงกลม ซึ่งต่อมาพัฒนาขึ้นเป็นดวงอาทิตย์ การยุบตัวรวมกันที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นเหตุให้ระนาบการหมุนเสียสมดุลเกิดการยุบตัวรวมกันเฉพาะตำแหน่ง (local contraction) กลายเป็นมวลแก๊สทรงกลมย่อยๆ ซึ่งพัฒนาขึ้นเป็นดาวเคราะห์และดาวบริวาร



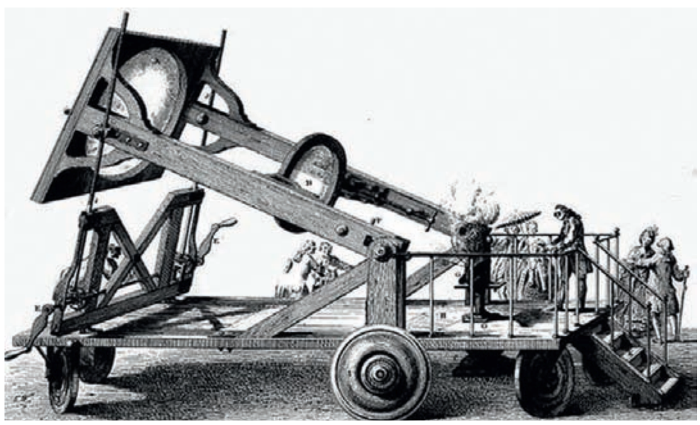
ระบบสุริยะประกอบด้วยดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง ดาวเคราะห์ทั้ง 8 ดวง ได้แก่ ดาวพุธ (Mercury) ดาวศุกร์ (Venus) โลก (Earth) ดาวอังคาร (Mars) ดาวพฤหัสบดี (Jupiter) ดาวเสาร์ (Saturn) ดาวมฤตยู (Uranus) และดาวเกตุ (Neptune) รวมไปถึงดาวหาง (comets) ดาวเคราะห์แคระ (dwarf planets) กลุ่มดาวเคราะห์น้อย (asteroids) และสะเก็ดดาว (meteoroids)



ภาพจำลองแสดงการเกิดของระบบสุริยะ

solar thermal heat system ระบบทำความร้อนจากแสงอาทิตย์

ระบบเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงรังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) ให้เป็นพลังงานความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector) โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นของแสง ซึ่งเมื่อตกกระทบวัตถุใด ๆ จะเกิดปรากฏการณ์เชิงแสง 4 รูปแบบ ได้แก่ การดูดกลืนแสง (absorption) การเปล่งแสง (emission) การสะท้อนแสง (reflection) และการส่องผ่าน (transmission) โดยวัสดุต่างชนิดกันจะมีสมบัติเชิงแสงต่างกัน การเลือกวัสดุที่มีสมบัติเชิงแสงที่เหมาะสมมาสร้างเป็นระบบทำความร้อน ทำให้ใช้ประโยชน์ได้ในหลากหลายลักษณะ เช่น การผลิตน้ำร้อน การสร้างความอบอุ่นในอาคารบ้านเรือนในเขตหนาว กระบวนการอบแห้ง หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำความร้อนเริ่มมีบันทึกเป็นหลักฐานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1774 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ อังตวน ลาวัวซิเย (Antoine Lavoisier) ผู้ประดิษฐ์เครื่องจักรที่ใช้รวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนในการทดลองทางเคมี



เตาแสงอาทิตย์ (solar furnace) ประดิษฐ์ขึ้นโดย อังตวน ลาวัวซิเย (Antoine Lavoisier) ชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1774

solar thermal heat system in Thailand การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ทำการวิจัยพัฒนาและทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องสกัดสารกำจัดศัตรูพืชพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเผยแพร่แก่ประชาชนและหน่วยงานต่าง ๆ ให้เกิดการใช้อย่างแพร่หลาย กฟผ. และ พพ. ได้จัดโครงการสาธิตรวมทั้งสนับสนุนเงินลงทุนบางส่วนแก่ประชาชน ชุมชนและผู้ประกอบการที่สนใจเข้าร่วมโครงการ ทำให้มีการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วในบางแห่งของโรงงาน โรงพยาบาล สถานศึกษา ฟาร์มปศุสัตว์ อาคารธุรกิจ อาคารพักอาศัย โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมักนำไปใช้ในการผลิตอาหารแห้ง เช่น กล้วยอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ไม่มีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลง ฝุ่นละออง และการเปียกฝน เครื่องสกัดสารกำจัดศัตรูพืชมีการนำไปให้เกษตรกรได้ทดลองใช้ เพื่อสกัดสารชีวภาพที่มีอยู่ในพืชสมุนไพร เช่น ตะไคร้หอม สะเดา นำไปฉีดพ่นพืชผัก ผลไม้ ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยไม่ต้องใช้สารเคมีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

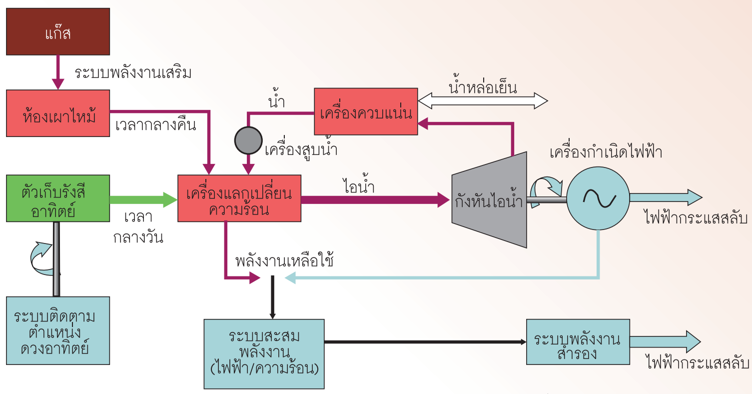
เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา

โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องสกัดสารกำจัดศัตรูพืชพลังงานแสงอาทิตย์

solar thermal power plant โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์

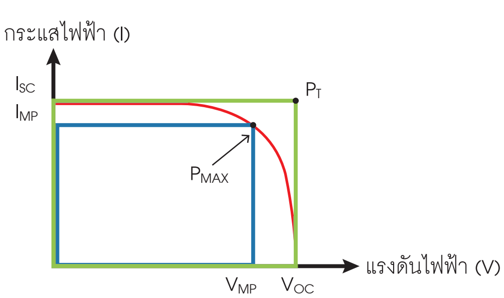
โรงไฟฟ้าที่นำพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานกลใช้ขับกังหัน (ดู turbine) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ดู generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้ถ่านหิน ปิโตรเลียมหรือแก๊สธรรมชาติ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่ดูดกลืนและรวมแสงอาทิตย์ (concentrating solar power (CSP)) ไปที่จุดรวมแสงเพื่อถ่ายเทความร้อนให้ตัวกลาง (medium) จนมีอุณหภูมิสูงมาก โดยตัวกลางจะหมุนเวียนผ่านระบบนำความร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนสูงนั้นไปยังตัวกลางอื่น เช่น ไอน้ำหรือแก๊ส เพื่อขับกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป มีกำลังการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ (kW) สำหรับใช้ในชุมชนขนาดเล็กจนถึง 100 เมกะวัตต์ (MW) เพื่อเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่ง (grid-connected application) แนวคิดสำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ในปัจจุบันประกอบด้วยระบบรางพาราโบลิก (ดู parabolic trough system) ระบบหอคอยรวมแสง (ดู central receiver system) ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง (ดู dish/Stirling engine system) ระบบบ่อรับแสง (ดู solar pond system) และปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ (ดู solar chimney)



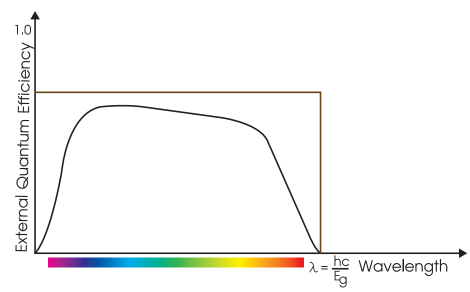
กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งพลังงานเสริม

steady-state characteristics ลักษณะเฉพาะสถานะคงตัว

ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ (ดู solar cell, photovoltaic (PV) cell) ที่สภาวะสมดุลไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้แก่ (1) ลักษณะเฉพาะกระแส-แรงดัน (I-V characteristics) วัดโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (voltage; V) ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้แสงมาตรฐานที่ระดับความเข้มต่างกันและวัดค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่รับแสง (current density; I) ที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (ดู photovoltaic effect) เมื่อนำค่าแรงดันและกระแสมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์กระแส-แรงดัน (I-V curve) จะสามารถคำนวณประสิทธิภาพการแปรรูปโดยรวม (overall conversion efficiency; η) ได้จากพลังงานจากแสงที่จ่ายให้กับเซลล์เปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะวงจรเปิด (open-circuit voltage; V_{OC}), ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่รับแสงที่สภาวะลัดวงจร (short-circuit current density; I_{SC}) และ ค่า fill factor (FF; อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power; P_{MAX}) กับกำลังไฟฟ้าทางทฤษฎี (theoretical power; PT)) (2) ประสิทธิภาพเชิงควอนตัม (external quantum efficiency) วัดโดยการฉายแสงความเข้มต่ำที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.4 -0.9 ไมโครเมตรลงบนเซลล์แสงอาทิตย์และวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



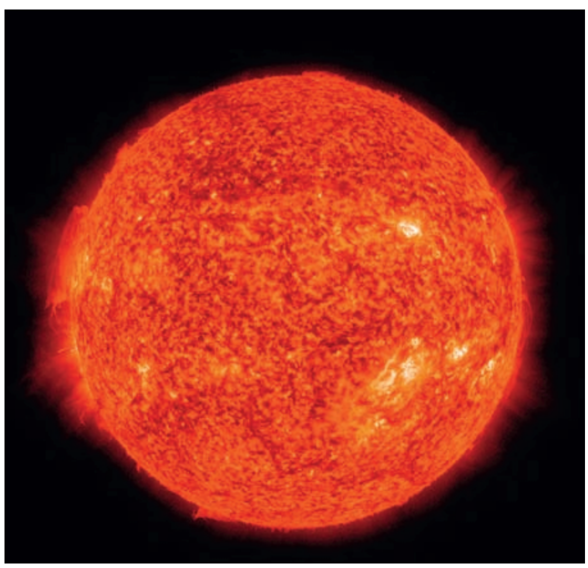
กราฟความสัมพันธ์กระแส-แรงดัน (I-V curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ (เส้นสีแดง) เส้นสีเขียวแสดงค่ากำลังไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_T) คำนวณจากผลคูณของกระแสที่สภาวะลัดวงจร (I_{SC}) กับแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะวงจรเปิด (V_{OC}) เส้นสีฟ้าแสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{MAX}) ที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จริง โดยอัตราส่วนของ P_{MAX} ต่อพลังงานจากแสงที่ฉายลงบนเซลล์ทดสอบ คือ ค่าประสิทธิภาพการแปรรูปโดยรวม (overall conversion efficiency; η)



กราฟแสดงประสิทธิภาพเชิงควอนตัม (external quantum efficiency) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ (กราฟสี่เหลี่ยมเส้นสีน้ำตาล) และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานจริง (เส้นสีดำ) ซึ่งจะมีประสิทธิเชิงควอนตัมเป็นศูนย์ ในช่วงรังสีอัลตร้าไวโอเล็ต (ultraviolet) เนื่องจากการตกกลับบริเวณหน้าสัมผัส (front surface recombination) กับช่วงรังสีอินฟราเรด (infrared) เนื่องจากแสงมีพลังงานไม่มากพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดจากโครงสร้างผลึกได้

sun ดวงอาทิตย์

ดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุดประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร และเป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ (ดู solar system) ที่มีโลกอยู่ด้วย เกิดจากกลุ่มโมเลกุลของแก๊สขนาดเล็กจำนวนมหาศาลที่ยุบรวมตัวกัน เนื่องจากแรงโน้มถ่วงเมื่อประมาณห้าพันล้านปีก่อน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39 x 10^9 เมตร หรือ 109 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโลกและมีมวลประมาณ 2 x 10^{30} กิโลกรัม หรือ 330,000 เท่าของมวลของโลก มวลของดวงอาทิตย์ประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนมากถึง 3 ใน 4 รองลงมา คือ แก๊สฮีเลียมและธาตุอื่นๆ จำนวนเล็กน้อยพลังงานของดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบอ่อน (nuclear fusion) ซึ่งเกิดขึ้นภายในแกนกลางของดวงอาทิตย์ (solar core) โดยแก๊สไฮโดรเจนได้รับความร้อนสูงจนเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นแก๊สฮีเลียม และปลดปล่อยพลังงานเทียบเท่ามวลประมาณ 4 x 10^{16} กิโลกรัม พลังงานนี้ถ่ายเทออกมาที่ผิวนอกของดวงอาทิตย์ ชั้นโฟโตสเฟียร์ (ดู photosphere) ในรูปการแผ่รังสีความร้อน (radiative zone) และการพาความร้อน (convective zone) จากนั้นจึงถ่ายเทสู่อวกาศมาถึงโลกของเราในรูปการแผ่รังสีความร้อนด้วยความเข้มประมาณ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร วัดที่บรรยากาศชั้นนอกสุดของโลก (ดู solar constant)

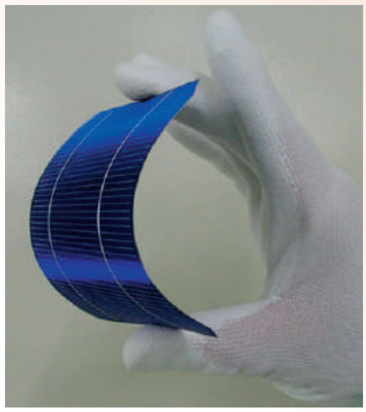


ดวงอาทิตย์ ดาวฤกษ์ที่เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก

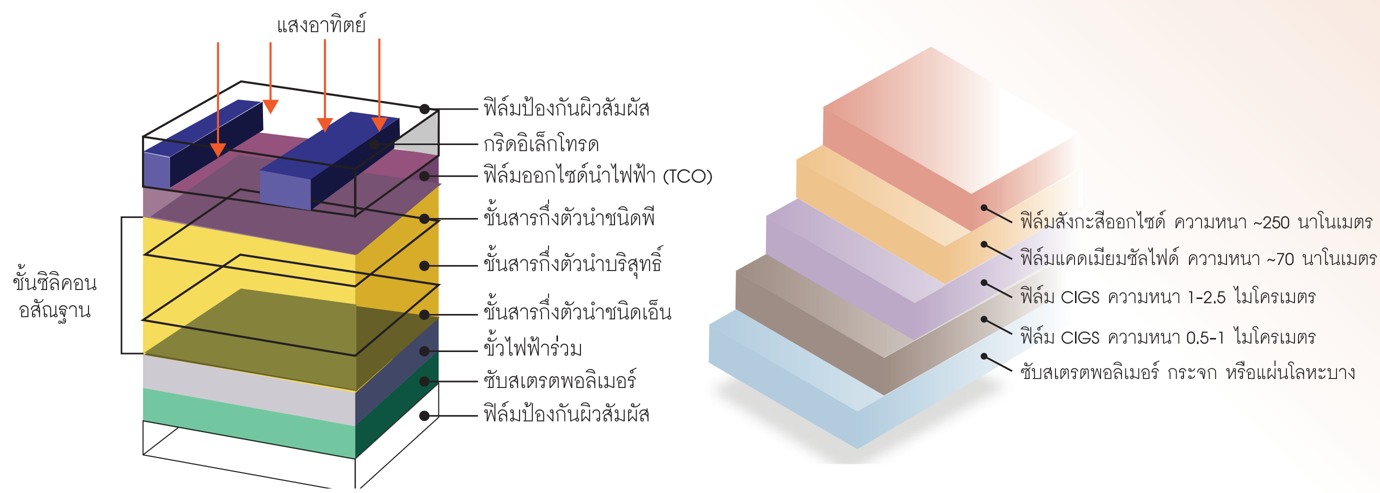
thin-film solar cell เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบาง

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นโดยการปลูกฟิล์มบางของซิลิคอนอสัณฐาน (amorphous silicon) ความหนาระดับไมโครเมตร ที่เจือ (dope) ด้วยธาตุฟอสฟอรัส (P) และโบรอน (B) เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductor) ชนิดเอ็น (n-type semiconductor) และชนิดพี (p-type semiconductor) ตามลำดับ ลงบนแผ่นรองรับทำจากโลหะ กระจก หรือพอลิเมอร์น้ำหนักเบา และบิดงอได้ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง และใช้งานได้หลากหลายกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอน เช่น ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์บนแผ่นโค้งงอหรือประกอบเข้ากับโครงสร้างของอาคารบ้านเรือน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารกึ่งตัวนำ

ชนิดเอ็น (n-type semiconductor) เช่น สังกะสีออกไซด์ (ZnO) มาปลูกซ้อนทับลงไปบนชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) เช่น โลหะผสมของแคดเมียมเทเลอไรด์ (CdTe) หรือทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-เซเลไนด์ (CIGS) เป็นต้น โดยมีชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) คั่นอยู่ระหว่างกลางชั้นของโลหะผสมทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ (absorber) และเหนี่ยวนำให้เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอน เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางนับเป็นเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นที่สอง (second generation)



เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง



โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของธาตุซิลิคอนอสัณฐานและโลหะผสม CIGS

transient characteristics ลักษณะเฉพาะชั่วครู่

ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ (ดู solar cell, photovoltaic cell) ที่วัดภายในเวลาสั้นระดับนาโนวินาที (nanosecond) หลังจากเริ่มฉายแสงลงบนเซลล์ทดสอบ เป็นลักษณะเฉพาะที่แสดงพฤติกรรมของอิเล็กตรอนก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล เช่น เวลาที่อิเล็กตรอนคงสภาพอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ก่อนการตกกลับ (recombination life time) วัดได้โดยกระตุ้นเซลล์ทดสอบด้วยแสงในลักษณะพัลส์ (pulse) ที่ความเข้มต่างๆ กัน และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะวงจรเปิด (open-circuit voltage; V_{oc}) เมื่อลดความเข้มของแสงลงค่าแรงดัน V_{oc} ที่วัดได้จะลดลงแบบลอการิทึม (logarithmic decay) สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่อิเล็กตรอนคงสภาพอยู่ในแถบนำไฟฟ้าก่อนการตกกลับและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะเปิดวงจร เพื่อแสดงลักษณะเฉพาะชั่วครู่ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

tubular collector ตัวเก็บรังสีแบบท่อ

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นท่อสุญญากาศประกอบด้วย หลอดแก้วชั้นนอก ชนิดโดร์เนีย (Dornier type หรือ heat pipe evacuated tube) และท่อชั้นในทำจากโลหะทองแดงหรืออลูมิเนียม ติดอยู่กับครีบ (fin) ซึ่งเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี (selective coating) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืน (absorber) โดยมีตัวกลาง (medium) เป็นของเหลว เช่น น้ำ ไหลเวียนอยู่ภายในท่อชั้นใน ช่องว่างระหว่างหลอดแก้วชั้นนอกกับท่อโลหะชั้นในเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการนำและการพาความร้อน (conductive และ convective heat losses) ทำให้ประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ ตัวเก็บรังสีแบบท่ออีกรูปแบบหนึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วสองชั้น ชนิดเดวาร์ (Dewar type หรือ all glass evacuated tube) ชั้นนอกเป็นหลอดแก้วใส ผิวหลอดแก้วชั้นในเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืน ช่องว่างระหว่างหลอดแก้วทั้งสองชั้นเป็นสุญญากาศเช่นเดียวกับชนิดโดร์เนีย ตัวเก็บรังสีแบบท่อสามารถผลิตความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิ 90-200 องศาเซลเซียส

ตัวเก็บรังสีแบบท่อในระบบทำความร้อนจากพลังแสงอาทิตย์

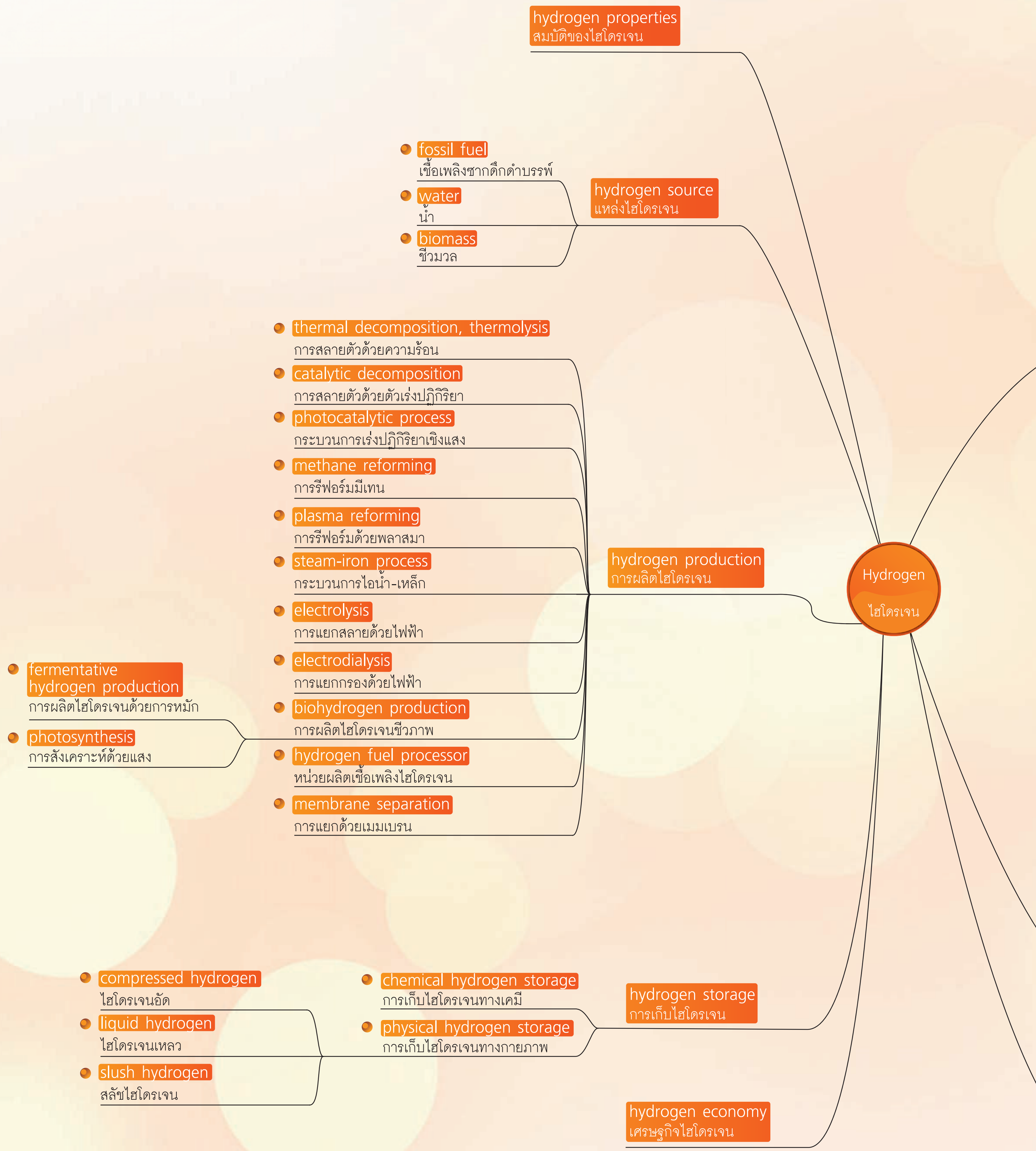
ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีแบบท่อชนิดโดร์เนีย (Dornier type) และชนิดเดวาร์ (Dewar type)

โมเลกุลเล็ก แต่บทบาทไม่เล็กตาม

การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ได้น้ำ แต่ไม่ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงลดรอยเท้าคาร์บอน และยังผลิตจากน้ำได้อีก จึงเป็นพลังงานหมุนเวียนเต็มร้อย ผลิตจากวัตถุตั้งต้นอื่นๆ ได้ด้วย ใช้ปฏิกิริยาและเครื่องปฏิกรณ์หลายชนิด หลายขนาด อาจผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพผ่านการสังเคราะห์แสง การหมัก วิธีทางความร้อนทางเคมีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา จากการผลิตมาถึงการเก็บไฮโดรเจนที่มีงานวิจัยและพัฒนามาก เลือกใช้วิธีทางเคมีหรืออัดเพิ่มความดัน หรือทำให้เป็นของเหลวหรือเป็นเกล็ดน้ำแข็งคล้ายเครื่องดื่มปั่นแบบสมูธที่ส์ อุปกรณ์สำคัญที่เปลี่ยนพลังงานเคมีของไฮโดรเจนเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า มีตั้งแต่ขนาดเล็กเท่าโทรศัพท์มือถือ ไปจนถึงขนาดใหญ่ตั้งอยู่กับที่ มีศักยภาพสูงมากในการทดแทนน้ำมันและแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ โอกาสที่ใช้รถยนต์พลังไฮโดรเจนอยู่ไม่ไกลแล้ว

ไฮโดรเจน

Mind Map



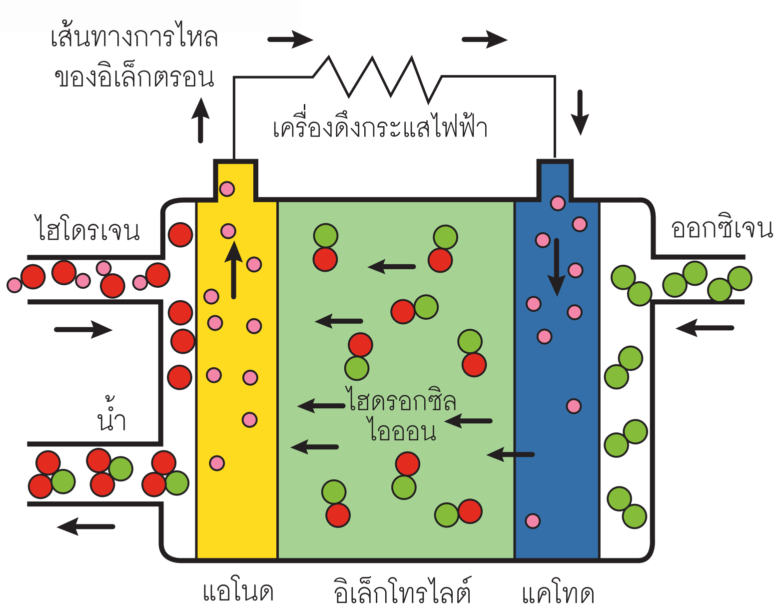
- hydrogen applications การประยุกต์ไฮโดรเจน
  - direct combustion การเผาไหม้โดยตรง
  - fuel cell เซลล์เชื้อเพลิง
    - types ชนิด
      - alkaline fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์
      - biological fuel cell, microbial fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ, เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ
      - molten carbonate fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม
      - phosphoric acid fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก
      - proton exchange membrane fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน, เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม
      - regenerative fuel cell, reversible fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟ, เซลล์เชื้อเพลิงแบบผันกลับ
      - solid oxide fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง
    - components ส่วนประกอบ
      - electrocatalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า
      - electrode ขั้วไฟฟ้า, อิเล็กโทรด
      - electrolyte อิเล็กโทรไลต์
      - flow field plate แผ่นช่องทางการไหล
      - gas diffusion layer ชั้นแพร่แก๊ส
      - membrane electrode assembly หน่วยเมมเบรนประกอบขั้วไฟฟ้า
    - concept แนวคิด
      - Butler-Volmer equation สมการบัทเลอร์-โวลเมอร์
      - Faraday's law of electrolysis กฎของฟาราเดย์ของการแยกสลายด้วยไฟฟ้า
      - durability of fuel cell ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิง
      - fuel cell efficiency ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง
      - Nernst equation สมการของเนิร์นสต์
      - overpotential ศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน
      - power density ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า
      - polarization โพลาไรเซชัน
      - Tafel equation สมการทาเฟล
    - fuel cell application การประยุกต์เซลล์เชื้อเพลิง
  - hydrogen refueling station สถานีเติมแก๊สไฮโดรเจน
- hydrogen safety ความปลอดภัยของไฮโดรเจน
- life cycle assessment การประเมินตลอดวงจรชีวิต

alkaline fuel cell (AFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์

เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ชนิดแรก โดยมีการสาธิตการใช้งานครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1902 มีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และแก๊สออกซิเจนหรืออากาศเป็นตัวออกซิไดส์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ได้แก่ แพลทินัมหรือนิกเกิล ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด ได้แก่ คาร์บอน อุณหภูมิการทำงาน 50-250 องศาเซลเซียส และความดัน 1-3 บรรยากาศ ได้น้ำ (ดู water) และความร้อนเป็นผลผลิตพลอยได้ ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าดังนี้

ขั้วแคโทด	$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$
ขั้วแอโนด	$H_2(g) + 4OH^-(aq) \longrightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$
ปฏิกิริยารวม	$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$

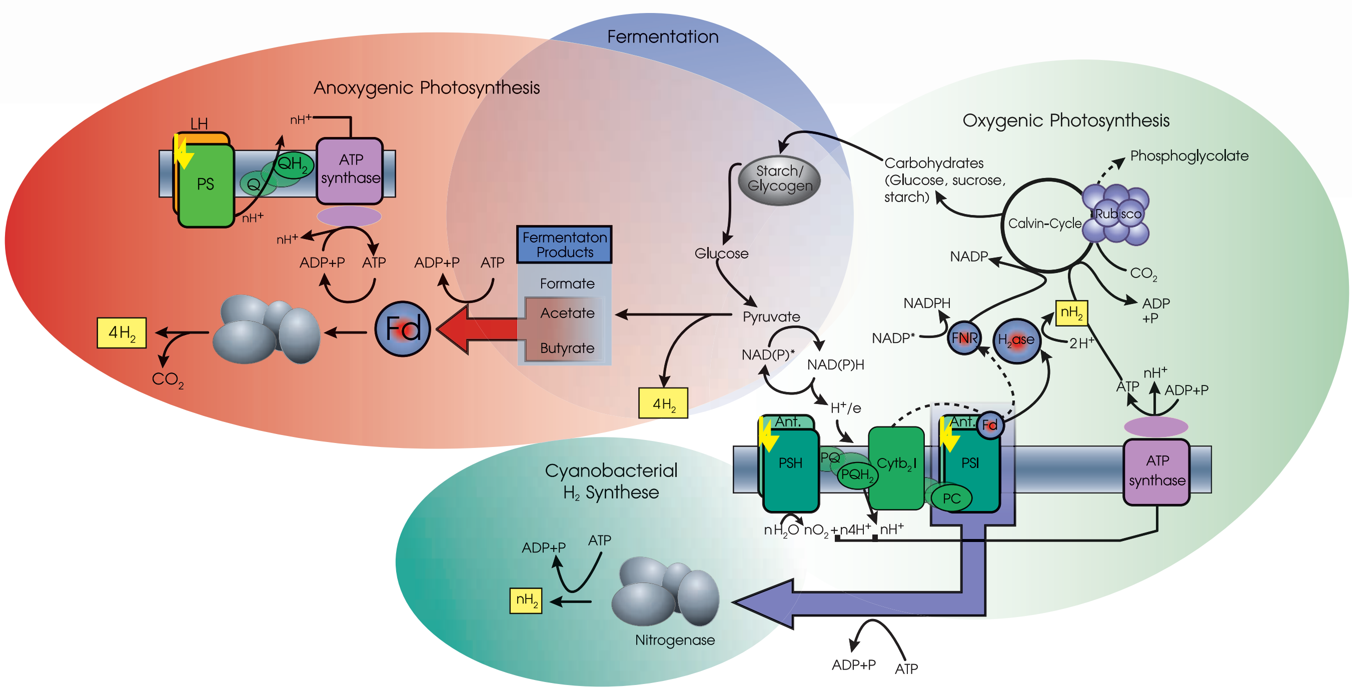
กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่าง 10-100 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้าร้อยละ 60 ข้อดี ได้แก่ ช่วงเวลาอุ่นเครื่อง (start-up time) สั้น ประสิทธิภาพสูงและราคาถูก ข้อเสีย คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเมื่อแก๊สเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดส์ปนเปื้อนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) เหมาะสำหรับการประยุกต์ทางทหารและทางอวกาศ มีการผลิตเชิงพาณิชย์และการศึกษาวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์



เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์

biohydrogen production การผลิตไฮโดรเจนชีวภาพ

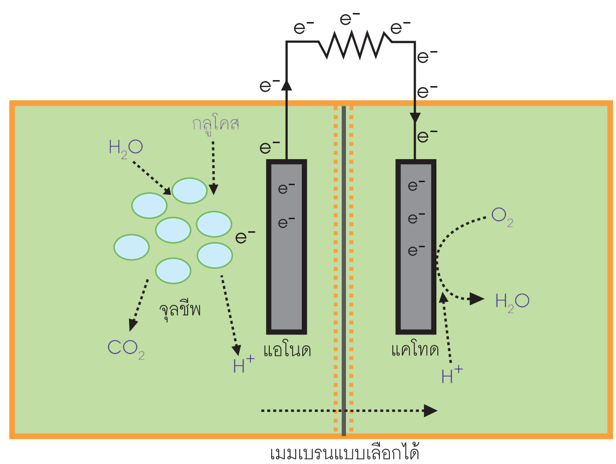
การผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยกระบวนการทางชีวภาพผ่านสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ (microorganism) สารตั้งต้นหลักของกระบวนการ ได้แก่ น้ำ (ดู water) ของเสียอินทรีย์ (organic waste) หรือชีวมวล (ดู biomass) จุลินทรีย์ที่มีการใช้งานในกระบวนการ ได้แก่ สาหร่าย (algae) แบคทีเรีย (bacteria) หรืออาร์เคีย (archaea) โดยอาจต้องใช้เอนไซม์ (enzyme) หรือสารประกอบจำพวกโปรตีนช่วยเร่งปฏิกิริยา จำแนกการผลิตไฮโดรเจนชีวภาพได้ 2 แบบ ได้แก่ การจำแนกตามการใช้แสงภายในกระบวนการ คือ กลุ่มที่ใช้และไม่ใช้แสงภายในกระบวนการ และการจำแนกตามลักษณะของกระบวนการ การผลิตไฮโดรเจนทางตรงและทางอ้อม ปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีหลักที่ใช้ผลิตไฮโดรเจนชีวภาพเชิงพาณิชย์ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความรู้ความเข้าใจ และประสิทธิภาพของกระบวนการต่ำ



การผลิตไฮโดรเจนชีวภาพ

biological fuel cell, microbial fuel cell
เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ, เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

อุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าตามวิถีชีวเคมี (biochemical pathway) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (biocatalyst) แทนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ มีเมมเบรนที่ยอมให้ประจุบวกผ่าน (cationic membrane) กั้นระหว่างแอโนดและแคโทด หลักการทำงาน คือ ที่ขั้วแอโนดตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพจะย่อยสลายเชื้อเพลิงหรือซับสเตรตอินทรีย์ (organic substrate) เป็นไฮโดรเจนไอออนและอิเล็กตรอนซึ่งจะถ่ายโอนไปยังขั้วแคโทดผ่านวงจรกระแสไฟฟ้าภายนอก (external electrical circuit) ส่วนไฮโดรเจนไอออนจะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน และทำปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) กับแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแคโทดได้ผลผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าและน้ำ (ดู water) ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เอนไซม์ (enzyme) และเซลล์จุลินทรีย์ (microbial cell) จำแนกเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีตัวกลาง (mediator biological fuel cells) และเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่มีตัวกลาง (mediator-less biological fuel cells) การถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากจุลชีพไปที่ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่กำหนดประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell efficiency) ชีวภาพ การใช้ตัวกลางทำให้การถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากจุลชีพไปที่ขั้วไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ดี ตัวกลางที่ใช้ เช่น ไทโอนีนแอซีเทต (thionine acetate) เมทิลไวโอโลเจน (methyl viologen) เมทิลบลู (methyl blue) กรดฮิวมิก (humic acid) หรือนิวทรอลเรด (neutral red) ชนิดที่มีตัวกลางมีข้อเสีย คือ ราคาแพงและมีความเป็นพิษ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่มีตัวกลางใช้แบคทีเรียที่สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้และมีเอนไซม์ที่สามารถออกซิไดส์ซับสเตรตอินทรีย์ได้ แบคทีเรียที่ได้รับความสนใจและศึกษาวิจัยอยู่ เช่น *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas hydrophila* เป็นต้น



เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ

Butler-Volmer equation สมการบัทเลอร์-โวลเมอร์

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (j) และศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน (η) (ดู overpotential) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reaction) บนขั้วไฟฟ้าเดียวกันสำหรับปฏิกิริยา $Ox + ne^- \longrightarrow Rd$ เมื่อ Ox และ Rd คือ สารตั้งต้นที่ถูกออกซิไดส์และถูกรีดิวซ์ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$j = j_0\left(\exp\left[-\frac{\alpha nF\eta}{RT}\right] - \exp\left[\frac{(1-\alpha)\, nF\eta}{RT}\right]\right)$$

เมื่อ j_0 คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยน
n คือ จำนวนอิเล็กตรอนถ่ายโอนในระบบ
α คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนประจุสำหรับปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction)
F คือ ค่าคงตัวฟาราเดย์ (96,485 คูลอมบ์ต่อกรัมสมมูล)
R คือค่าคงที่ของแก๊ส และ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

catalytic decomposition การสลายตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

การสลายตัวของสารตั้งต้นที่ให้ผลผลิตอย่างน้อย 2 ชนิดผ่านปฏิกิริยาเคมีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้อุณหภูมิการแตกตัว (dissociation temperature) ต่ำลง สำหรับการสลายตัวของน้ำ (ดู water) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้โมเลกุลของสารหลายชนิดผ่านปฏิกิริยาเคมีทางอ้อม (indirect chemical reaction) เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 เคลวิน จึงเป็นการลดข้อจำกัดของกระบวนการการสลายตัวด้วยความร้อน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการใช้งานกันมาก คือ สารประกอบของธาตุหมู่แฮโลเจน (halogen) เช่น เฟอร์รัสคลอไรด์ (ferrous chloride, $FeCl_2$) แคลเซียมโบรไมด์ (calcium bromide, $CaBr_2$) และแมกนีเซียมไอโอไดด์ (magnesium iodide, MgI_2) ข้อจำกัดหลักของปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในการประยุกต์ใช้เชิงอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์ คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงและประสิทธิภาพของกระบวนการต่ำ

$$2FeCl_2(s,l) + 4H_2O(g) \longrightarrow Fe_3O_4(s) + 6HCl(g) + H_2(g)$$
$$Fe_3O_4(s) + 8HCl(g) \longrightarrow FeCl_2(s,l) + 2FeCl_3(g) + 4H_2O(g)$$
$$2FeCl_3(g) \longrightarrow FeCl_2(s,l) + Cl_2(g)$$
$$Cl_2(g) + H_2O(g) \longrightarrow 2HCl(g) + 1/2O_2(g)$$
$$2HCl(g) \longrightarrow H_2(g) + Cl_2(g)$$

กระบวนการแตกตัวของน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์รัสคลอไรด์

$$CaBr_2(s) + H_2O(g) \longrightarrow CaO(s) + 2HBr(g)$$
$$3FeBr_2(s) + 4H_2O(g) \longrightarrow Fe_3O_4(s) + 6HBr(g) + H_2(g)$$
$$CaO(s) + Br_2(g) \longrightarrow CaBr_2(s) + 1/2O_2(g)$$
$$Fe_3O_4(s) + 8HBr(g) \longrightarrow 3FeBr_2(s) + 4H_2O(g) + Br_2(g)$$

กระบวนการแตกตัวของน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมโบรไมด์

$$2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$$
$$3Mg(OH)_2 \cdot MgI_2(s) \longrightarrow 4MgO(s) + 2HI(g) + 2H_2O(g)$$
$$MgO(s) + I_2(s) + (MgI_2 - I_2(a))(aq) \longrightarrow (MgI_2 - I_2(b))(aq) + (\text{side product})(s)$$
$$(MgI_2 - I_2(b))(aq) + MgO(s) \longrightarrow 3Mg(OH)_2 \cdot MgI_2(s) + I_2(g) + H_2O(g)$$
$$(\text{side product})(s) + (MgI_2 - I_2(c))(aq) \longrightarrow Mg(IO_3)_2(s) + (MgI_2(s) - I_2(a))(aq)$$
$$Mg(IO_3)_2(s) \longrightarrow MgO(s) + I_2(g) + 5/2O_2(g)$$

$(MgI_2 - I_2(a))(aq)$: diluted against H_2O, smaller excess I_2

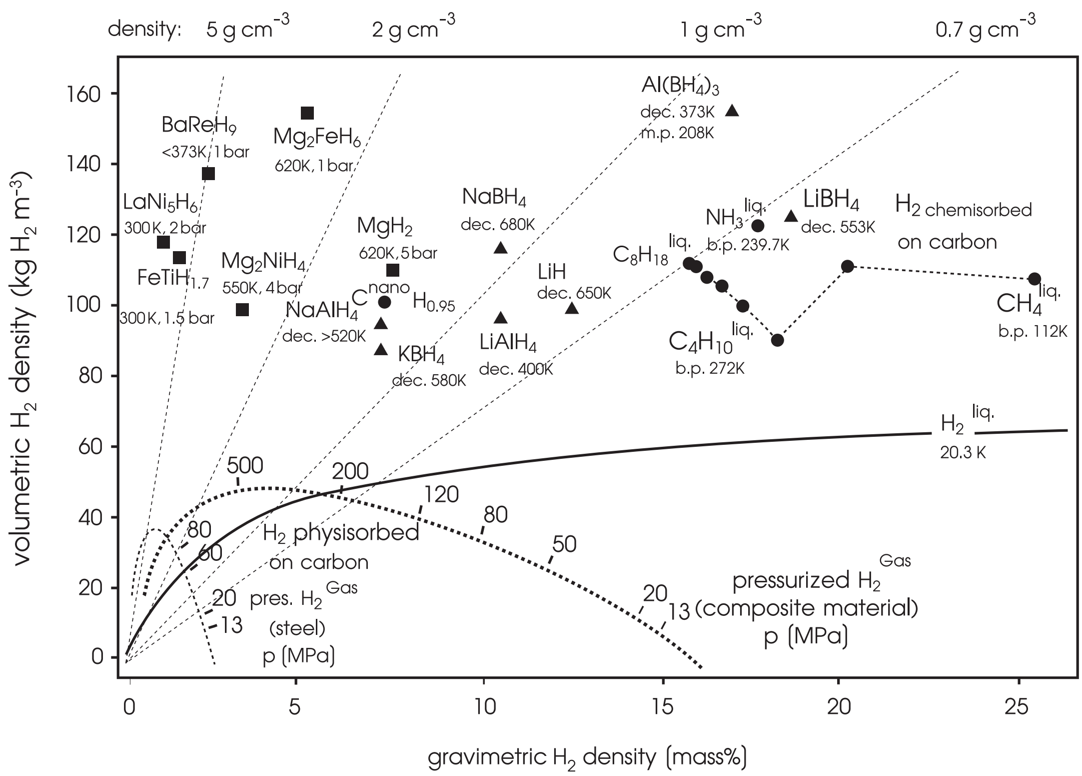
$(MgI_2 - I_2(b))(aq)$: concentrated against H_2O

$(MgI_2 - I_2(c))(aq)$: diluted against H_2O, larger excess I_2

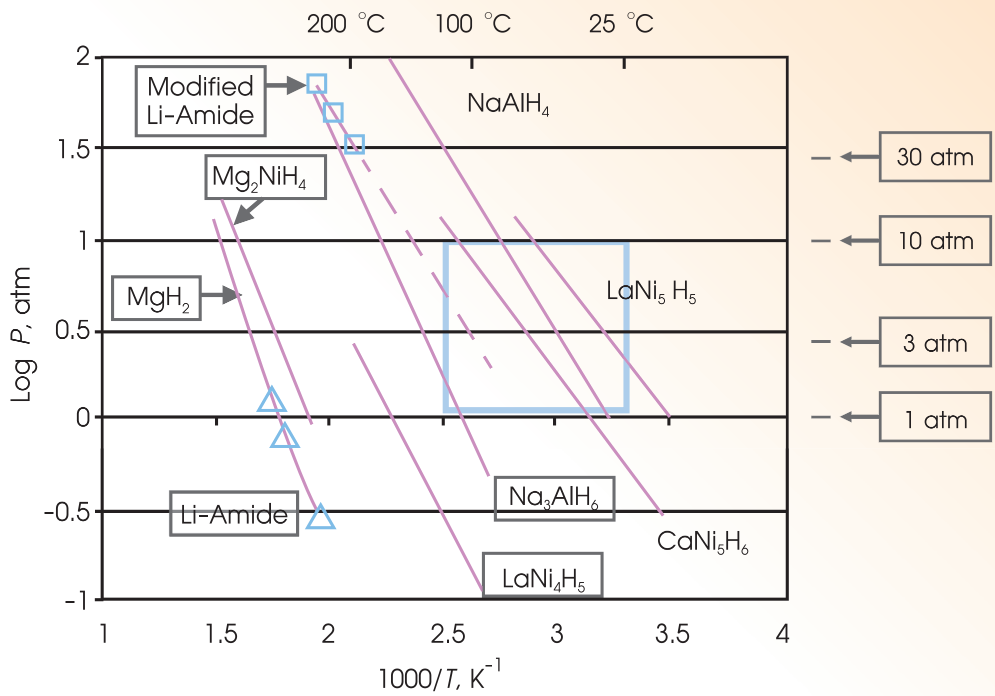
กระบวนการแตกตัวของน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมไอโอไดด์

chemical hydrogen storage การเก็บไฮโดรเจนทางเคมี

เทคโนโลยีสำหรับเก็บไฮโดรเจนในรูปสารเคมีเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีให้ไฮโดรเจนออกมาเป็นผลผลิต ได้แก่ การเก็บในรูปโลหะไฮไดรด์ (metal hydrides) และสารประกอบอื่น เช่น เดคะลิน โดยปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน ($C_{10}H_{18} = C_{10}H_8 + 5H_2$) แอมโมเนียโบเรนโดยปฏิกิริยาสลายด้วยความร้อน ($NH_3BH_3 = NH_2BH_2 + H_2 = NHBH + 2H_2 = BN + 3H_2$) เป็นต้น โลหะไฮไดรด์มักมีองค์ประกอบเป็นโลหะผสมเพื่อช่วยลดพลังงานพันธะและปลดปล่อยไฮโดรเจนได้ง่ายขึ้น ตามทฤษฎีโลหะผสมฐานลิเทียม โบรอน และอะลูมิเนียมเก็บไฮโดรเจนได้สูงกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนด้วยปฏิกิริยาสลายด้วยความร้อนที่ผันกลับได้ และบางชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยาสลายตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่ำ เช่น โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4 + 2H_2O = NaBO_2 + 4H_2$) และแมกนีเซียมไฮไดรด์ ($MgH_2 + 2H_2O = Mg(OH)_2 + 2H_2$) เป็นต้น



ภาพรวมของสมบัติการเก็บไฮโดรเจน



สมบัติของการปล่อยไฮโดรเจนของวัสดุที่ใช้เก็บไฮโดรเจนทางเคมี

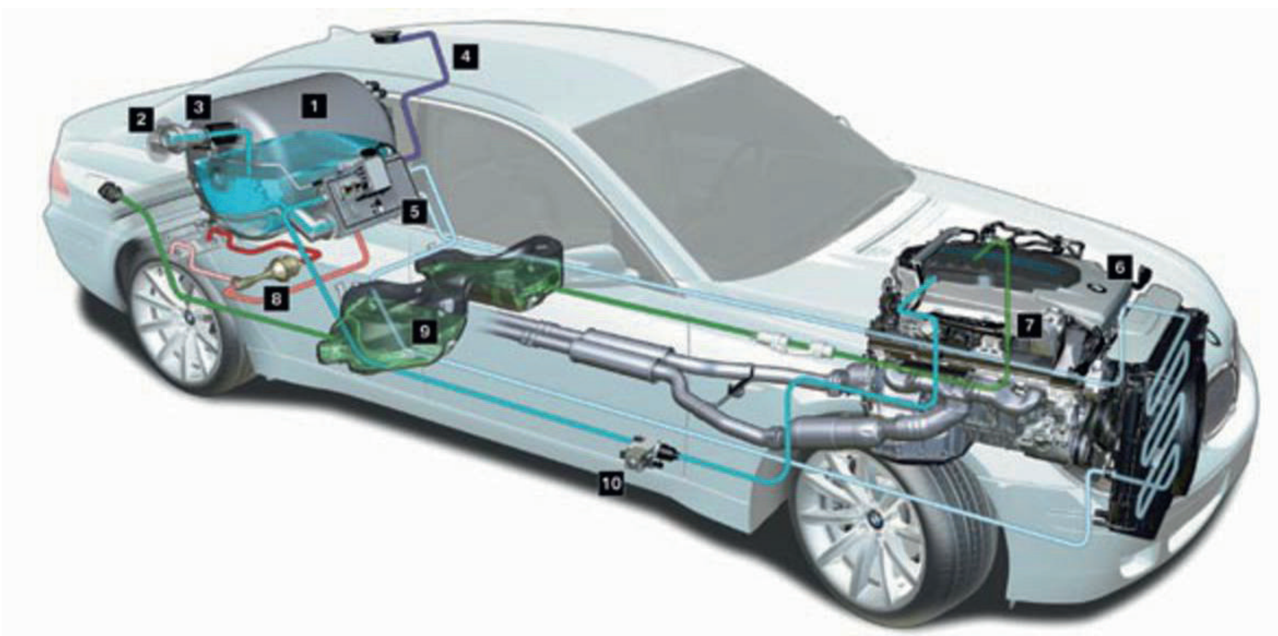
compressed hydrogen ไฮโดรเจนอัด

ไฮโดรเจนผ่านการอัดความดันสูง 350-700 บาร์ มักบรรจุในท่อหรือถังเพื่อสะดวกต่อการเก็บ การขนส่งด้วยรถพ่วงขนท่อไฮโดรเจนอัด (compressed hydrogen tube trailer) หรือการใช้งานเป็นแก๊สเชื้อเพลิงในพาหนะ ถังบรรจุไฮโดรเจนประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น ชั้นนอกเป็นวัสดุเชิงประกอบฐานคาร์บอน หรือโลหะสำหรับทนแรงกระแทก ชั้นกลางเป็นวัสดุเชิงประกอบฐานคาร์บอนสำหรับโครงสร้างที่แข็งแรงแต่น้ำหนักเบา ชั้นในเป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงสำหรับกันการซึมผ่านของไฮโดรเจน มีอุปกรณ์รับรู้ (sensor) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในถังระหว่างการเติม การอัดไฮโดรเจนใช้พลังงานร้อยละ 5-10 ของพลังงานไฮโดรเจนที่เก็บได้

รถพ่วงขนท่อไฮโดรเจนอัด

direct combustion การเผาไหม้โดยตรง

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับตัวออกซิไดส์ให้พลังงานความร้อน และผลผลิตที่เป็นออกไซด์ของคาร์บอน และน้ำ (ดู water) เชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหิน และชีวมวล (ดู biomass) เป็นกลุ่มเชื้อเพลิงที่ใช้กันเป็นหลัก ส่วนแก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ได้รับความสนใจ โดยใช้กระบวนการเผาไหม้โดยตรง หรือเผาไหม้ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, ICE) ที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน คือ เครื่องยนต์ที่ใช้วัฏจักรออตโต หรือวัฏจักรดีเซลในการผลิตกำลังงาน เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์และรถบรรทุก การวิจัยและพัฒนาพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนให้กำลังงานสูงกว่าเครื่องยนต์แกโซลีน หรือดีเซล นอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนยังไม่ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ออกสู่บรรยากาศด้วย



1. ถังไฮโดรเจนเหลว
2. ฝาปิดถังไฮโดรเจนเหลว
3. หัวเชื่อมสำหรับเติมไฮโดรเจนเหลว
4. ท่อแก๊สไปวาล์วนิรภัย
5. หน่วยเสริมที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับไฮโดรเจนและระบบควบคุมถัง
6. เครื่องยนต์สำหรับการเผาไหม้ (ไฮโดรเจน/แกโซลีน)
7. ท่อร่วมไอดีไฮโดรเจน
8. ระบบจัดการการเดือดของไฮโดรเจน
9. ถังแกโซลีน
10. วาล์วควบคุมความดัน

- ท่อป้อนแก๊สไฮโดรเจน
- ท่อไอไฮโดรเจน
- ท่อเชื่อมวาล์วนิรภัย
- ท่อปล่อยไอไฮโดรเจน
- ท่อขาเข้าอากาศ
- วงจรหล่อเย็นด้วยน้ำ
- ท่อแกโซลีน

BMW Hydrogen 7 ซึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ผลิตโดยบริษัท BMW ประเทศเยอรมันนี

durability of fuel cell ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิง

อายุใช้งาน (lifetime) สูงสุดของระบบเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ที่มีการสูญเสียประสิทธิภาพน้อยกว่าร้อยละ 10 อุตสาหกรรมเซลล์เชื้อเพลิงกำหนดมาตรฐานความทนทานอายุใช้งาน (lifetime durability) ในรูปของชั่วโมงดำเนินการ (operational hours) หรือชั่วโมงสำรอง (stand-by hours) ตามการประยุกต์เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell application) ซึ่งต้องมีอัตราการเสื่อม (degradation rate) ไม่เกิน 2-10 ไมโครโวลต์ต่อชั่วโมง อายุใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ประมาณ 3,000-5,000 ชั่วโมง รถโดยสารประจำทางประมาณ 20,000 ชั่วโมง และชนิดติดตั้งอยู่กับที่ประมาณ 40,000 ชั่วโมง ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับความทนทานของส่วนประกอบ (component) ของเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) ตัวเร่งปฏิกิริยา/ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา ชั้นแพร่แก๊ส แผ่นช่องทางการไหล และแหวนกันรั่ว

ชนิดการวิเคราะห์	เทคนิค
ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิง	
การทำงานเป็นรอบแบบศักย์ไฟฟ้า/กระแสไฟฟ้า/กำลังไฟฟ้าคงตัว	Voltage-current measurements, cell impedance
การทดสอบที่สถานะคงตัว (steady state) และภาวะชั่วครู่ (transient)	Polarization curve, cell impedance
ลักษณะเฉพาะของเมมเบรน ตัวเร่งปฏิกิริยา ชั้นแพร่แก๊ส	
การวิเคราะห์โครงสร้าง	XRD
การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา	SEM
การวิเคราะห์ธาตุ	XRF, ICP-MS
การกระจายตัวของขนาดอนุภาค	TEM
พื้นที่ผิวเชิงเคมีไฟฟ้า	BET, cyclic voltammetry, impedance
อันตรกิริยาของพันธะคาร์บอนและการเสื่อมของพอลิเมอร์	Neutron scattering

เทคนิคการวิเคราะห์เซลล์เชื้อเพลิง

electrocatalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า

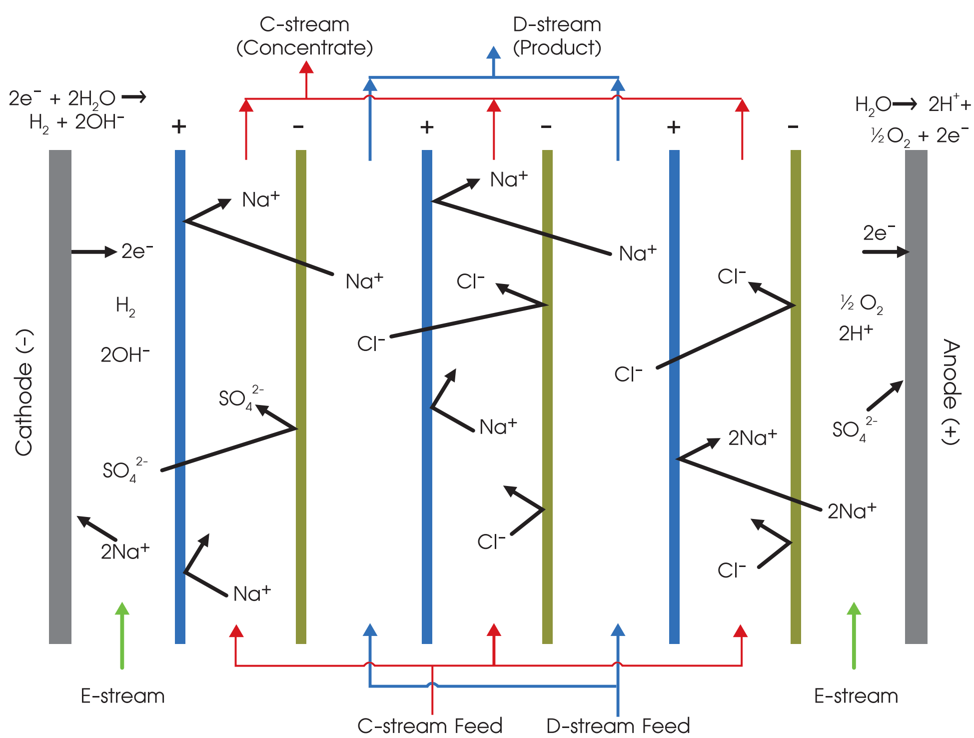
โลหะที่สามารถลดค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) หรือออกซิเดชัน (oxidation reaction) ในกระบวนการเคมีไฟฟ้าโดยไม่เข้าร่วมเกิดปฏิกิริยา อยู่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า อาจเป็นผงโลหะเคลือบบนขั้วไฟฟ้าหรือใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าแต่ละชนิดเหมาะสำหรับปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าแตกต่างกัน เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (ดู proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)) ใช้แพลทินัมหรือโลหะผสมแพลทินัมบนผงคาร์บอนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเตรียมทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้เอิบชุ่ม (impregnation) การรีดิวซ์ด้วยสารเคมี และการรีดิวซ์ด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

electrode ขั้วไฟฟ้า, อิเล็กโทรด

วัสดุที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดี ในเซลล์เคมีไฟฟ้ามีขั้วแคโทดและขั้วแอโนดสัมผัสหรือจุ่มในอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) ที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) ที่ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ขั้วแอโนดควรเป็นขั้วที่มีความเสถียรสูงเนื่องจากสามารถเกิดการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่วนใหญ่จึงใช้วัสดุที่ทนการกัดกร่อน เช่น แพลทินัม แกรไฟต์ เป็นต้น

electrodialysis การแยกกรองด้วยไฟฟ้า

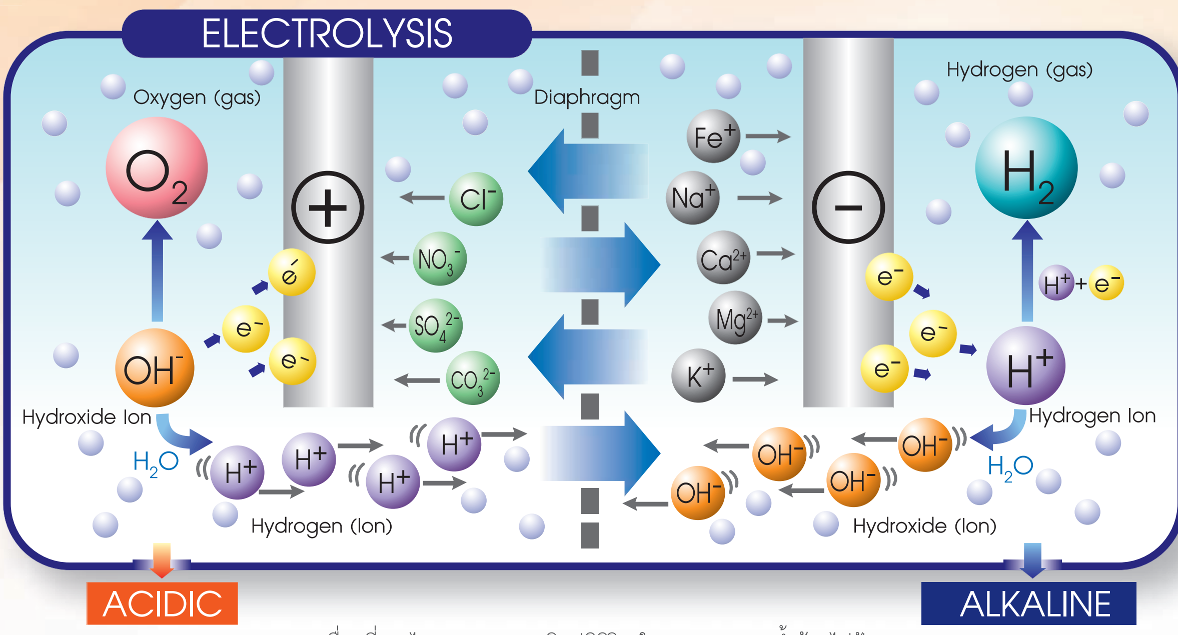
การแยกไอออนโดยเฉพาะไอออนของสารละลายเกลือผ่านเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนได้ความเข้มข้นของไอออนบวกและลบที่สูงขึ้นในแต่ละช่องเซลล์เคมีไฟฟ้าโดยอาศัยความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าที่ให้กับระบบ สารละลายความเข้มข้นต่ำจะเข้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนลบและบวกคั่นอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า ไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดผ่านเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนลบ จากนั้นจะถูกกั้นด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนบวก ส่วนไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดผ่านเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนบวกและถูกกั้นด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนลบ ทำให้เกิดการกรองแยกเป็นส่วนที่มีความเข้มข้นสูงของไอออนลบและบวกคนละช่องของเซลล์ที่กั้นด้วยเมมเบรน การกรองแยกนี้นิยมใช้กันในรูปของเซลล์ที่ต่อเป็นแบบอนุกรมหลายเซลล์โดยคั่นด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนลบและบวกสลับกันไป ผลพลอยได้ของกระบวนการนี้ คือ เกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด และแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดโดยมีกลไกเดียวกับการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า



การเคลื่อนที่ของไอออนและเซลล์เคมีไฟฟ้าในกระบวนการแยกกรองด้วยไฟฟ้า

electrolysis การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

การให้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้าเพื่อให้ไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เคลื่อนที่ไปเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) หรือ รีดักชัน (reduction reaction) ในทิศทางที่ไม่สามารถเกิดเองได้ถ้าไม่ให้กระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ให้จะต้องให้มากกว่าค่าโวลต์มาตรฐานที่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น เช่น การแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้าจะต้องใช้ค่าโวลต์ที่สูงกว่า 1.229 โวลต์ ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้าที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) ของโปรตอน (ไฮโดรเจนไอออน) ในภาวะกรด ($2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$) ส่วนในภาวะเบสจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ($2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$) ที่ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แก๊สออกซิเจน ($H_2O \longrightarrow 1/2O_2 + 2H^+ + 2e^-$) ข้อดีของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูง ข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าสูง



การเคลื่อนที่ของไอออน และการเกิดปฏิกิริยาในการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า

electrolyte อิเล็กโทรไลต์

สารที่อยู่ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดในเซลล์เคมีไฟฟ้า มีสมบัติยอมให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่าน มีค่าการนำไอออนสูงแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน มีทั้งลักษณะที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ทำหน้าที่เป็นตัวนำไอออนที่มีอยู่ในอิเล็กโทรไลต์หรือที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่งของเซลล์เพื่อทำปฏิกิริยา สมบัติการนำไอออนของอิเล็กโทรไลต์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของเหลวมีทั้งในภาวะที่เป็นกรดและเบส ข้อเสียของอิเล็กโทรไลต์เหลว คือ รั่วซึมได้ง่าย เซลล์บางชนิดใช้อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็ง เช่น แบบเจล แบบพอลิเมอร์ และแบบเซรามิก เป็นต้น ข้อดี คือ ไม่รั่วซึม มีสมบัติเลือกนำไอออนที่ต้องการได้ดีและมีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม

Faraday's law of electrolysis กฎของฟาราเดย์ของการแยกสลายด้วยไฟฟ้า

กฎที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านระบบกับปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงบนขั้วไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า กฎของฟาราเดย์มี 2 ข้อ คือ

กฎข้อที่ 1 การเปลี่ยนแปลงมวลของสารบนขั้วไฟฟ้า (electrode) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณประจุของกระแสไฟฟ้า (Q) ที่ผ่านระบบ

กฎข้อที่ 2 สำหรับระบบที่มีไฟฟ้ากระแสตรงในปริมาณเท่ากัน มวลของสารที่เปลี่ยนแปลงบนขั้วไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของสารเหล่านั้น แสดงดังสมการ

$$m = \frac{sM_w it}{nF}$$

เมื่อ m คือ มวลของสารบนขั้วไฟฟ้า s คือ สัมประสิทธิ์มวลสารสัมพันธ์ของชนิดสารเคมี M_w คือ น้ำหนักอะตอมหรือน้ำหนักโมเลกุล i คือ กระแสไฟฟ้า t คือ เวลาที่ใช้ n คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนในระบบและ F คือ ค่าคงตัวฟาราเดย์ (96,485 คูลอมบ์ต่อกรัมสมมูล)

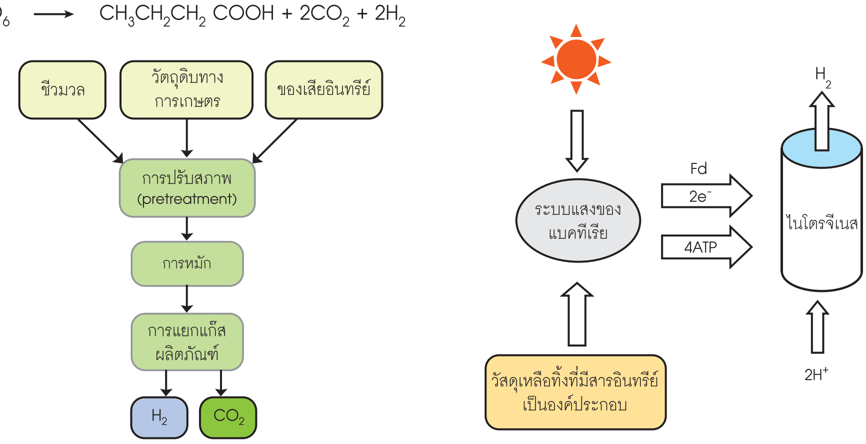
fermentation hydrogen production การผลิตไฮโดรเจนด้วยการหมัก

กระบวนการทางชีวเคมีที่สารอินทรีย์ย่อยสลายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์เพื่อผลิตไฮโดรเจน จำแนกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การหมักแบบไม่ใช้แสงและการหมักแบบใช้แสง การหมักแบบไม่ใช้แสงพบในแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศร่วมกับเอนไซม์ไฮโดรจีเนส (hydrogenase) ที่เปลี่ยนสารตั้งต้นจำพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น ของเสียอินทรีย์ (organic waste) หรือ ชีวมวล (ดู biomass) ให้เป็นแก๊สไฮโดรเจน และผลผลิตสารอินทรีย์ข้างเคียงอื่น เช่น กรดแอซีติก (acetic acid, $C_2H_4O_2$) กรดบิวทีริก (butyric acid, $C_4H_8O_2$) และคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide, CO_2) ส่วนการหมักแบบใช้แสงพบในแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศแต่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ผ่านเอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase) จากสารประกอบอินทรีย์จำพวกชีวมวล (ดู biomass) ได้แก๊สไฮโดรเจนและพลังงาน ข้อจำกัดหลักของการผลิตไฮโดรเจนโดยการหมักในการใช้งานเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ การขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการ

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$$

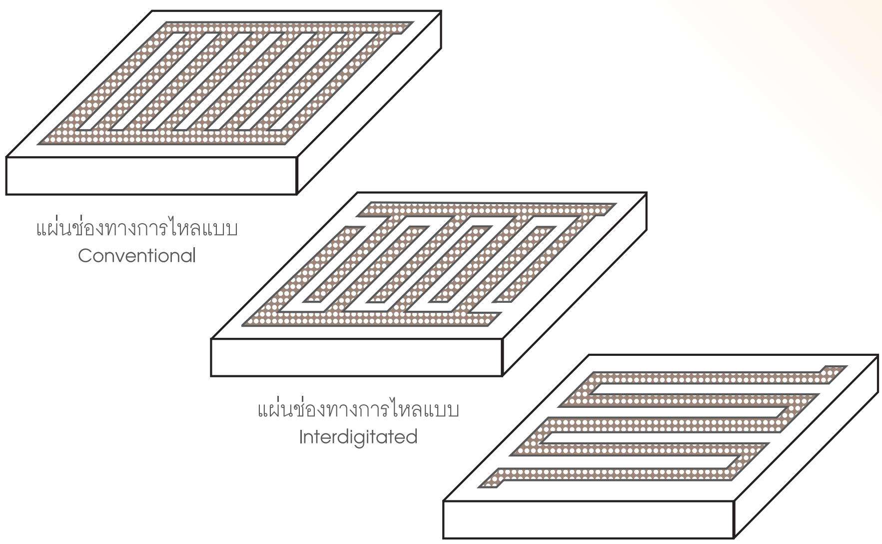
$$C_{3x}H_6O_3 + 3H_2O \xrightarrow{\text{พลังงานแสง}} 3CO_2 + 6H_2$$



กระบวนการหมัก

flow field plate แผ่นช่องทางการไหล

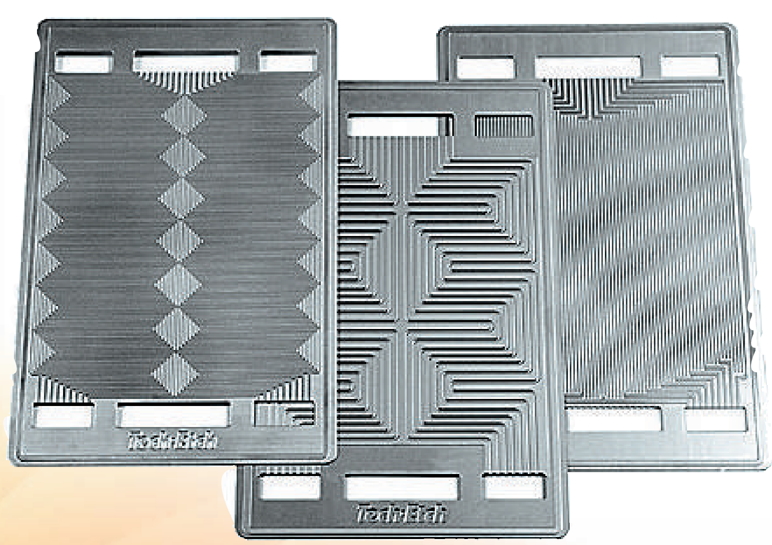
แผ่นนำไฟฟ้ามีสภาพไม่ชอบน้ำ (ดู water) พื้นผิวเซาะร่องรูปแบบต่างๆ อยู่ติดกับผ้าคาร์บอน หรือกระดาษคาร์บอนที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นช่องทางการไหลเข้าออกของแก๊สที่เข้าทำปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าหรือระบายผลผลิตและความร้อนออกจากเซลล์ ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ทนต่อสภาพ และภาวะการใช้งาน รูปแบบของช่องทางการไหลเป็นตัวแปรสำคัญต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากส่งผลต่อการถ่ายโอนมวลสารผ่านเข้าสู่ชั้นแพร่แก๊ส ผลิตจากวัสดุนำไฟฟ้า และความร้อนที่ขึ้นรูปได้ง่าย และราคาไม่แพง เช่น โลหะ แกรไฟต์ คาร์บอนคอมพอสิต หรือวัสดุอื่นที่มีเสถียรภาพ (stability) สูง เตรียมโดยนำวัสดุมาขึ้นรูปหรือเซาะร่องแผ่นช่องทางการไหลทั้งสองด้านสำหรับประกอบเป็นชั้น (stack) แผ่นเซาะร่องที่ตั้งฉากกัน เพื่อคงความแข็งแรงของแผ่น ข้อดีของแผ่นช่องทางการไหลที่ทำจากโลหะ คือ ขึ้นรูปง่าย เตรียมได้บางกว่าแผ่นแกรไฟต์ทำให้ได้เซลล์ขนาดเล็ก แต่เกิดการกัดกร่อนง่าย ข้อดีของแกรไฟต์ได้แก่ ทนต่อภาวะกรด ความหนาแน่นต่ำ แข็งแต่เปราะ ขึ้นรูปยาก ราคาแพง คาร์บอนคอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลดีกว่าแกรไฟต์ แต่นำไฟฟ้าไม่ดีเท่าแกรไฟต์ และโลหะ



แผ่นช่องทางการไหลแบบ
Conventional

แผ่นช่องทางการไหลแบบ
Interdigitated

แผ่นช่องทางการไหลแบบ
Serpentine



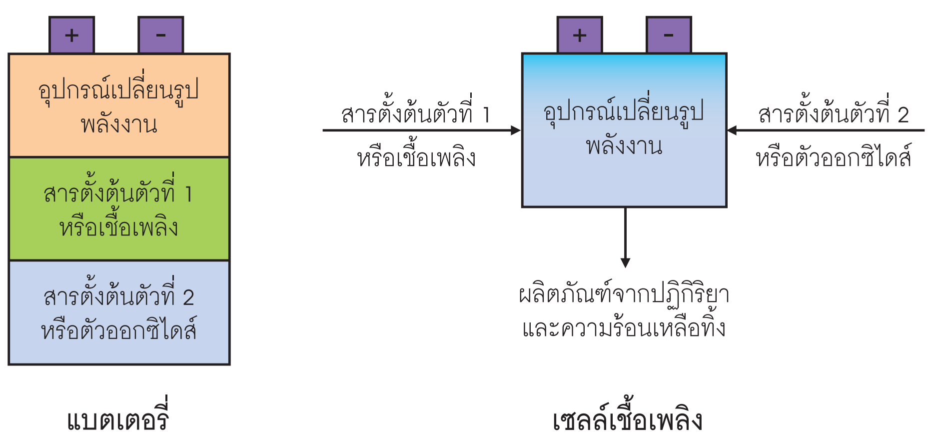
แผ่นช่องทางการไหลผลิตจากโลหะ

fossil fuel เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์, เชื้อเพลิงฟอสซิล

เชื้อเพลิงหลายชนิดหลายสถานะที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนสามารถใช้ผลิตไฮโดรเจนด้วยการรีฟอร์มด้วยไอน้ำ (ดู steam reforming) เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์พบได้ที่ชั้นบนสุดของเปลือกโลกเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์และสะสมกันอยู่ชายฝั่งทะเล บริเวณน้ำกร่อย น้ำจืดหรือแผ่นดินที่ชื้นแฉะในระยะต้นเกิดการเน่าเปื่อยโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ในระยะถัดมามีดินเหนียว ทราย และหินตะกอนทับถมเป็นชั้นๆ ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิสูงเป็นเวลาหลายร้อยล้านปีทำให้เกิดการแปรสภาพเป็นถ่านหิน (coalification) ที่บริเวณเดิม หรือเกิดการเคลื่อนตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไปสะสมในชั้นหินที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมกลายเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมัน แก๊สธรรมชาติรวมถึงถ่านหิน หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน และแก๊สธรรมชาติจากหินดินดาน (shale gas) ด้วย

fuel cell เซลล์เชื้อเพลิง

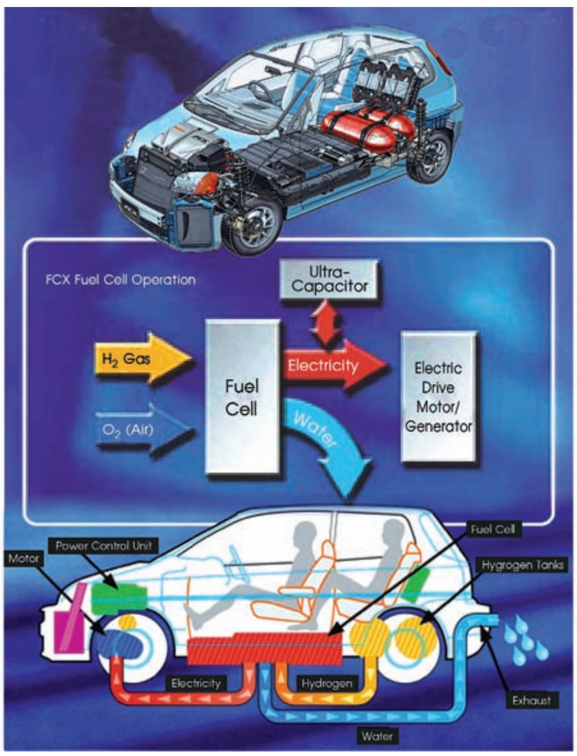
อุปกรณ์เคมีไฟฟ้า (electrochemical device) ที่เปลี่ยนรูปพลังงานเคมี (chemical energy) ของสารตั้งต้นหรือเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า (electrical energy) โดยตรง โดยไม่ผ่านปฏิกิริยาการเผาไหม้ การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงคล้ายแบตเตอรี่โดยผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดส์ด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า และมีองค์ประกอบหลักที่เหมือนกันได้แก่ ขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) ข้อแตกต่างระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ คือ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงาน (energy storage) ปริมาณพลังงานสูงสุดและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับปริมาณสารตั้งต้นที่บรรจุในแบตเตอรี่ ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ค่อนข้างช้า และอาจเกิดการผุกร่อนขององค์ประกอบภายในส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของสารตั้งต้นและตัวออกซิไดส์ ขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่จะถูกใช้ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้น ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำหน้าที่เป็นเพียงอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงาน ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีการป้อนสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบ ไม่มีการรั่วซึมของสารตั้งต้นจากเซลล์เชื้อเพลิงยกเว้นในกรณีที่ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชำรุด เสียหาย ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงไม่ถูกใช้ในปฏิกิริยาขณะทำงานส่งผลให้อายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าสูง อายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงยาวนานกว่า



เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิด แต่ชนิดที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (ดู proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)) เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (ดู alkaline fuel cell (AFC)) ที่ใช้พอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (ดู phosphoric acid fuel cell (PAFC)) เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (ดู alkaline fuel cell (AFC)) เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (ดู solid oxide fuel cell (SOFC)) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (ดู molten carbonate fuel cell (MCFC))

fuel cell application การประยุกต์เซลล์เชื้อเพลิง

นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง เป้าหมายหลักใช้เป็นแหล่งพลังงาน อาจใช้เป็นหน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า หรือเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนที่ระบบสายส่งไฟฟ้าไปไม่ถึง หรือเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มอเตอร์ในยานยนต์ เช่น รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell vehicle (FCV)) รถโดยสาร เรือเดินสมุทร เรือดำน้ำ รวมถึงเป็นแหล่งจ่ายพลังงานในยานอวกาศ ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงได้รับการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าพกพาต่างๆ อาทิ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์พกพา



รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพกพาที่มีรูปทรงแบบกล่องบรรจุโทรศัพท์มือถือและกล่องนามบัตร

fuel cell efficiency ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

ความสามารถของเซลล์เชื้อเพลิงในการแปรรูปพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าประสิทธิภาพรวมของเซลล์เชื้อเพลิง ($\eta_{overall}$) คือ ผลคูณระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดตามอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) (η_{max}) ประสิทธิภาพเชิงศักย์ไฟฟ้า (voltage efficiency, η_E) และประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้า (current efficiency, η_i)

$$\eta_{overall} = \eta_{max}\,\eta_E\,\eta_i$$

ประสิทธิภาพสูงสุดตามอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานเสรีกิบบส์ (Gibbs free energy (ΔG)) และเอนทัลปี (enthalpy (ΔH)) ของปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง

$$\eta_{max} = \frac{-\Delta G}{-\Delta H}$$

ประสิทธิภาพเชิงศักย์ไฟฟ้า คำนวณจากอัตราส่วนของศักย์ไฟฟ้าจริง (actual potential, E_{cell}) ต่อศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎีของปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดส์ (E_r)

$$\eta_r = \frac{E_{cell}}{E_r}$$

ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้า คำนวณจากอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า (i) ต่อกระแสไฟฟ้าที่คำนวณจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิง (dN_F/dt)

$$\eta_i = \frac{i}{nF\left(\frac{dN_F}{dt}\right)}$$

เมื่อ n คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อโมเลกุลของเชื้อเพลิงและ F คือ ค่าคงตัวของฟาราเดย์ (96,485 คูลอมบ์ต่อกรัมสมมูล)

สำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบเซลล์แถวและระบบช่วย (auxiliary system) ซึ่งมีประสิทธิภาพเฉพาะตัวเท่ากับ η_{aux} ประสิทธิภาพรวมของระบบเซลล์เชื้อเพลิง (η_{system}) จะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างประสิทธิภาพระบบช่วยและประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง ดังสมการ

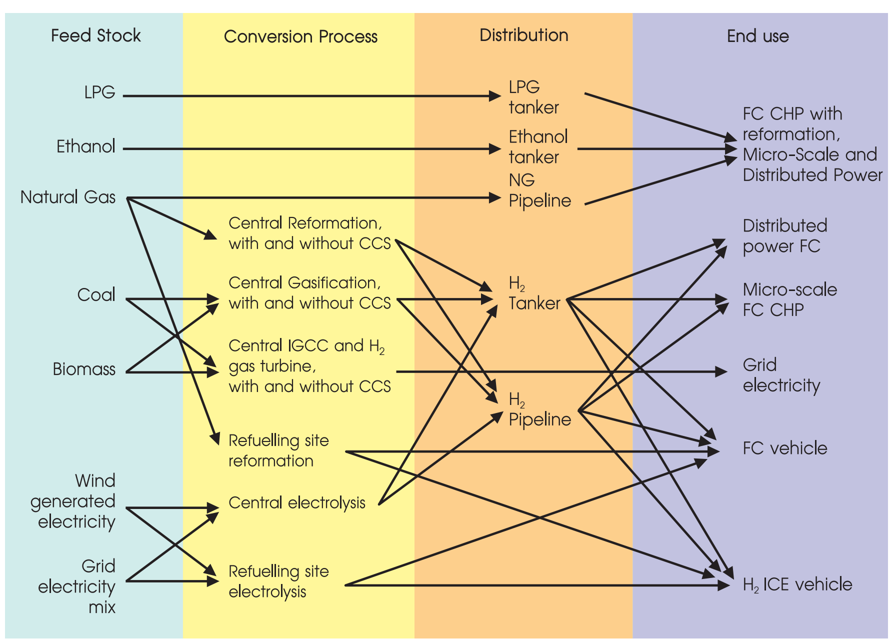
$$\eta_{system} = \eta_{aux}\,\eta_{overall}$$

gas diffusion layer ชั้นแพร่แก๊ส

วัสดุพรุนที่ทำหน้าที่กระจายแก๊สให้เข้าถึงชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ และทำหน้าที่ส่งผ่านอิเล็กตรอนเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าขึ้นที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (ดู proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)) ชั้นแพร่แก๊สเป็นชั้นผงคาร์บอนที่ถูกเคลือบบนผ้า หรือกระดาษคาร์บอน ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สมบัติของชั้นแพร่แก๊สที่สำคัญ คือ มีความต้านทานต่ำ ความพรุนสูง สามารถควบคุมการเข้าออกของน้ำ (ดู water) ได้อย่างเหมาะสม

hydrogen economy เศรษฐกิจไฮโดรเจน

ระบบพลังงานในอนาคตที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวพาพลังงาน (energy carrier) เป็นเชื้อเพลิงหลักแทนปิโตรเลียม ศัพท์ใหม่ที่จอห์น บอคคริส (John Bockris) จากบริษัท General Motors เป็นผู้เสนอในปี ค.ศ. 1970 ไฮโดรเจนได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นตัวพาพลังงานโดยเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, IC engine) ของยานยนต์ประเภทต่าง ๆ เช่น รถยนต์ เรือยนต์ เนื่องจากสามารถผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรหลากหลาย เช่น ผลิตไฮโดรเจนโดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (electrolysis of water) ซึ่งผลิตจากแสงอาทิตย์ หรือลม ผลิตไฮโดรเจนโดยการแปรรูปปิโตรเลียมรูปแบบเดิม (ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ) หรือปิโตรเลียมทดแทน (หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน) หรือผลิตจากชีวมวล (ดู biomass) รวมไปถึงการผลิตผ่านกระบวนการทางชีวภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จากการเผาไหม้ไฮโดรเจนคือ ความร้อน และน้ำ (ดู water) ไม่เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) แก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ หรือภาวะโลกร้อน และไม่เกิดอนุภาคขนาดเล็กจากการเผาไหม้ที่เป็นสาเหตุของปัญหาระบบทางเดินหายใจ ยิ่งไปกว่านั้น ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, IC engine) ให้ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 38 สูงกว่าของน้ำมันเบนซินซึ่งอยู่ที่เพียงร้อยละ 30



NG	Natural Gas	CHP	Combine Heat and Power
ICE	Internal Combustion Engine	LPG	Liquid Petroleum Gas
FC	Fuel Cell	CCS	Carbon Capture and Storage
IGCC	Integrated Gasification Combine Cycle		

ห่วงโซ่พลังงานไฮโดรเจน

hydrogen fuel processor หน่วยผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

หน่วยปฏิบัติการที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากถ่านหินหรือปิโตรเลียม เช่น แก๊สธรรมชาติ ประกอบด้วยปฏิกิริยาการรีฟอร์มด้วยไอน้ำ (ดู steam reforming) ได้แก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (ดู water-gas shift reaction) ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไอน้ำได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเกิดของคาร์บอนมอนอกไซด์ (preferential oxidation of CO) ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide)

การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ: $C_nH_m + nH_2O \longleftrightarrow (n + m/2)\ H_2 + nCO$

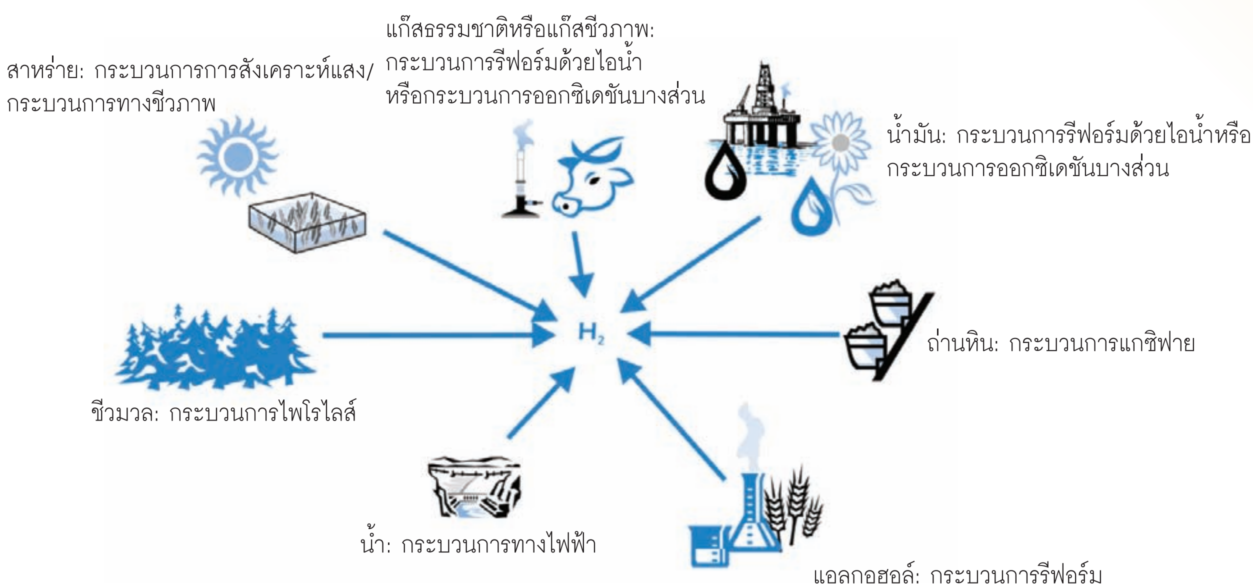
วอเตอร์แก๊สชิฟต์: $CO + H_2O \longleftrightarrow H_2 + CO_2$

ออกซิเดชันแบบเลือกเกิดของคาร์บอนมอนอกไซด์: $CO + 1/2O_2 \longleftrightarrow CO_2$

ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ได้ เช่น เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (ดู proton exchange membrane fuel cell (PEMFC))

hydrogen production การผลิตไฮโดรเจน

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงจากสารตั้งต้นด้วยปฏิกิริยาการแยกหรือแตกโมเลกุล กระบวนการผลิตขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้น ผ่านเทคโนโลยีหลัก ได้แก่ กระบวนการทางความร้อน (thermal process) เช่น การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) การแกซิฟาย (ดู gasification) กระบวนการทางเคมี (chemical process) เช่น การรีฟอร์ม (reforming) กระบวนการการสังเคราะห์แสง (ดู photosynthesis) กระบวนการทางไฟฟ้า (electrolytic process) และกระบวนการทางชีวภาพ (biological process) อาจติดตั้งกระบวนการแยกหรือกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เทคโนโลยีแรกที่ใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ คือ การแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า (electrolysis of water) ปัจจุบันเทคโนโลยีหลักที่ใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ คือ การรีฟอร์มเชื้อเพลิงด้วยไอน้ำ (ดู steam reforming) ข้อจำกัดสำคัญของการผลิตไฮโดรเจน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิต ความคงทนของอุปกรณ์ หรือวัสดุในกระบวนการและประสิทธิภาพของกระบวนการ



การผลิตไฮโดรเจนจากสารตั้งต้นชนิดต่าง ๆ

hydrogen properties สมบัติของไฮโดรเจน

แก๊สไม่มีสีไม่มีกลิ่นพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ในบรรยากาศมีแก๊สไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) พลังงานพันธะสูงเท่ากับ 436 กิโลจูลต่อโมล ต้องใช้พลังงานสลายพันธะระหว่างอะตอมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เช่น เพิ่มอุณหภูมิหรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มี 3 ไอโซโทปขึ้นกับจำนวนโปรตอนและนิวตรอน คือ โปรเตียม (protium) มี 1 โปรตอนน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 1.0078 ดิวเทอเรียม (deuterium) มี 1 โปรตอน และ 1 นิวตรอนน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 2.0141 และ ตริเทียม (tritium) มี 1 โปรตอนและ 2 นิวตรอนน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 3.0161 อาจมีสถานะเป็นของแข็ง หรือของเหลว มีสมบัติทางกายภาพและการเผาไหม้โดดเด่นและแตกต่างจากเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์หลายประการ

สมบัติทั่วไปของแก๊สไฮโดรเจน	
เลขอะตอม	1
พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอน (ionisation) ในสถานะพื้น	1312 kJ mol^{-1}
มวลโมเลกุล	2.016×10^{-3} kg mol^{-1}
ระยะทางเฉลี่ยระหว่างนิวเคลียส	0.074 nm
พลังงานการสลายพันธะ	436 kJ mol^{-1}
ความนำไอออนของไฮโดรเจนไอออนเจือจางในน้ำที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน	0.035 $m^2 mol^{-1}\ \Omega^{-1}$
ความหนาแน่นที่ 101.33 กิโลปาสกาลและอุณหภูมิ 298 เคลวิน	0.084 kg m^{-3}
จุดหลอมเหลวที่ 101.33 กิโลปาสกาล	13.8 K
จุดเดือดที่ 101.33 กิโลปาสกาล	20.3 K
ความจุความร้อนที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ 298 เคลวิน	14.3 kJ K^{-1} kg^{-1}
การละลายในน้ำที่ 101.33 กิโลปาสกาลและอุณหภูมิ 298 เคลวิน	0.019 $m^3 m^{-3}$

ตาราง เปรียบเทียบไฮโดรเจนกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

	ไฮโดรเจน	เมทานอล	เอทานอล	โพรพานอล
อัตราส่วนของไฮโดรเจนโดยน้ำหนักในเชื้อเพลิง	1	0.12	0.13	0.18
น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	2.016	32.04	46.0634	44.10
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ที่ 20 องศาเซลเซียส และ 1 บรรยากาศ	0.08375	791	789	1.865
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	-252.8	64.5	78.5	-42.1
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	< -253	11	13	-104
ขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟ (ร้อยละโดยปริมาตร)	4.0-75.0	6.7-36.0	3.3-19	2.1-10.1
การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพลังงาน	0	1.50		
อุณหภูมิการจุดระเบิดเองในอากาศ (องศาเซลเซียส)	585	385	423	490
ค่าความร้อนสูง (เมกะจูล/กิโลกรัม)	142.0	22.9	29.8	50.2
ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูล/กิโลกรัม)	120.0	20.1	27.0	46.3
ความหนาแน่นพลังงานโดยปริมาตร (วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร)	405	4,600	6,100	6,600
ความหนาแน่นพลังงานโดยน้ำหนัก (วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)	39,000	6,400	7,850	13,900

hydrogen refueling station สถานีเติมแก๊สไฮโดรเจน

สถานีเติมแก๊สไฮโดรเจนในยานยนต์ เทคโนโลยีและอุปกรณ์แตกต่างจากที่ใช้ในสถานีบริการน้ำมันหรือแก๊สแอลพีจี เพราะต้องปฏิบัติการกับแก๊สไฮโดรเจนที่ความดันสูง (700 บาร์) และแก๊สไฮโดรเจนมีค่าพลังงานต่อปริมาตรต่ำ (5.6 เมกะจูลต่อลิตร) ต้องทำหน้าที่บรรจุแก๊สได้ตามปริมาณที่ต้องการในระยะเวลาที่เหมาะสมอย่างปลอดภัย

โครงการสาธิตสถานีเติมแก๊สไฮโดรเจน

hydrogen safety ความปลอดภัยของไฮโดรเจน

สภาพที่ไม่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจากแก๊สไฮโดรเจน มีความสำคัญมากเนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่เบาที่สุด รั่วไหลได้ง่าย และมีช่วงกว้างของส่วนผสมที่เกิดเปลวไฟ และการระเบิดกว้างกว่าของไอน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติ ต้องการพลังงานในการจุดระเบิดต่ำกว่า จึงมีโอกาสเกิดไฟไหม้และระเบิดสูงกว่า

ตารางเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิง

สมบัติ	ไฮโดรเจน	ไอระเหยเบนซิน	แก๊สธรรมชาติ
ขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟ (ร้อยละในอากาศ)	4-75	1.4-7.6	5.3-15
ขีดจำกัดการระเบิด (ร้อยละในอากาศ)	18.3-59.0	1.1-3.3	5.7-14
พลังงานในการจุดระเบิด (มิลลิจูล)	0.02	0.20	0.29
อุณหภูมิเปลวไฟในอากาศ (องศาเซลเซียส)	2045	2197	1875

hydrogen source แหล่งไฮโดรเจน

ธาตุไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำ (ดู water) แหล่งไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ได้แก่ เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (ดู fossil fuel) และปิโตรเลียม และสารอินทรีย์ในชีวมวล (ดู biomass)

hydrogen storage การเก็บไฮโดรเจน

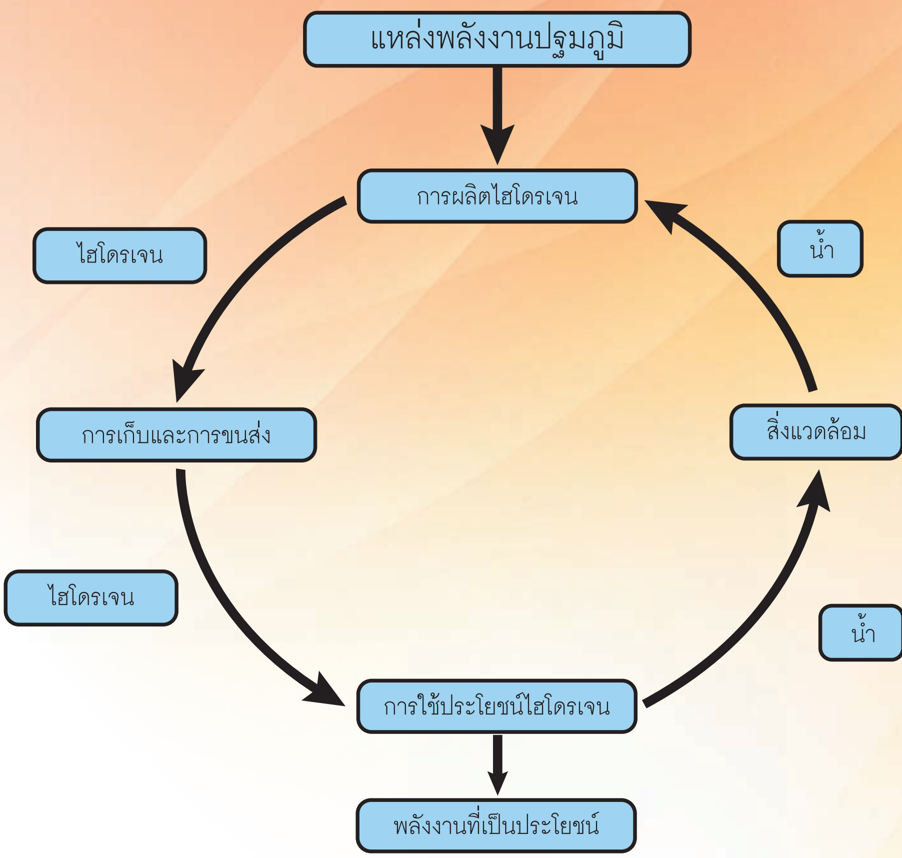
เทคโนโลยีการเก็บไฮโดรเจนเพื่อใช้เป็นตัวพาพลังงาน (energy carrier) หรือเชื้อเพลิง แบ่งเป็นการเก็บทางกายภาพ เช่น การอัดและการทำให้เป็นของเหลว เป็นต้น และการเก็บโดยเกิดพันธะทางเคมี เช่น โลหะไฮไดรด์ เป็นต้น ไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่มีน้ำหนักเบาจึงมีความหนาแน่นพลังงานต่ำ มีขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟ (flammability limit) ในช่วงกว้างระหว่างร้อยละ 4 ถึง 75 โดยปริมาตรในอากาศ วิธีการเก็บไฮโดรเจนปริมาณมากที่ปลอดภัยและเหมาะกับลักษณะการใช้งานจึงมีความสำคัญ เช่น รถยนต์ต้องใช้หน่วยเก็บไฮโดรเจนที่มีน้ำหนักเบา ทนแรงกระแทกและเพียงพอสำหรับการขับเคลื่อนได้ในระยะทางไกล ส่วนโรงไฟฟ้าไม่มีปัญหาดังกล่าว แต่คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียในขั้นตอนการเก็บไฮโดรเจนเป็นหลัก

ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการเก็บไฮโดรเจน

	ไฮโดรเจนอัด ความดัน 350 บาร์	ไฮโดรเจนอัด ความดัน 700 บาร์	ไฮโดรเจนเหลว	โลหะไฮไดรด์
ความหนาแน่นการเก็บเชิงปริมาตร (กรัมไฮโดรเจนต่อลิตร)	~12.5	~24.2	~37.0	>67.0
ความหนาแน่นการเก็บเชิงน้ำหนัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	~2.7	~3.3	~5.0	>1.0
ความจุพลังงานโดยปริมาตร (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร)	0.6-0.9	1.0-1.3	1.2-1.6	0-1.8
ความจุพลังงานโดยน้ำหนัก (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)	2.0-2.5	1.5-2.0	2.0-4.5	0.1-0.5
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25	25	-253	25
ความดัน (บาร์)	350	700	4	50

life cycle assessment (LCA) การประเมินตลอดวงจรชีวิต

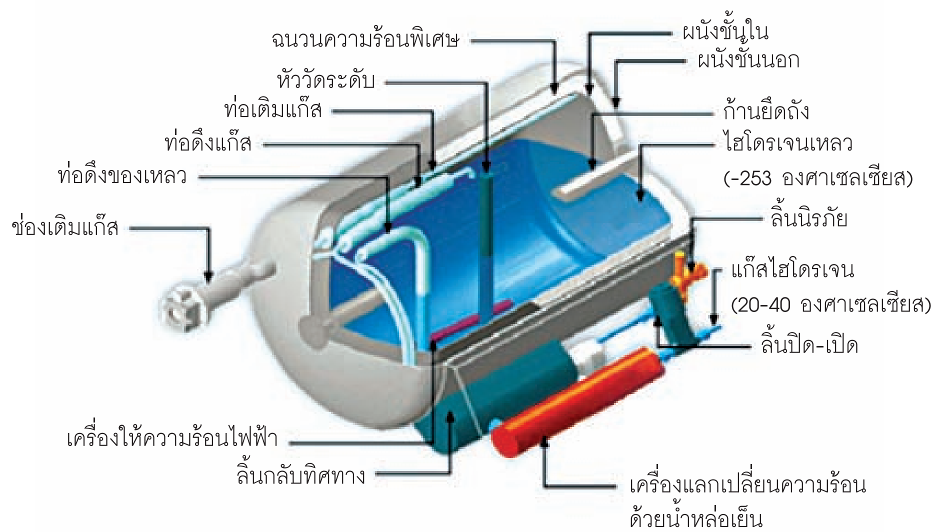
เครื่องมือในระบบคุณภาพด้านการบริหารสิ่งแวดล้อม หรือ ISO-14040 เพื่อบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยพิจารณาตั้งแต่การสกัดทรัพยากรจากธรรมชาติ การแปรรูปทรัพยากร การนำทรัพยากรที่แปรรูปแล้วมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์หรือบริการ การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์หรือบริการและการกำจัดของเสียจากบริการ หรือการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมเหล่านี้ในหลายมิติ อาทิ ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การเกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซน การเกิดฝนกรด เป็นต้น ผลจากการประเมินช่วยชี้ให้เห็นว่า กิจกรรมใดในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือบริการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในมิติใด มากน้อยเพียงใด



วงจรชีวิตของไฮโดรเจน

liquid hydrogen ไฮโดรเจนเหลว

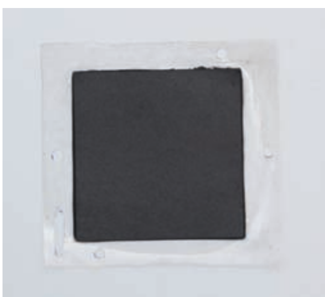
ไฮโดรเจนในสถานะของเหลวโดยใช้ระบบภาวะเย็นยิ่งยวด (cryogenic system) ที่อุณหภูมิ -253 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ ได้ความหนาแน่น 70.99 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าแก๊สไฮโดรเจนอัด แต่ใช้พลังงานสูงถึงร้อยละ 30-40 ของพลังงานไฮโดรเจนที่เก็บได้ ถังบรรจุมีหลายชั้น ชั้นในทำด้วยแก้วหรือคอมพอสิตฐานคาร์บอน หุ้มด้วยฉนวนความร้อน ชั้นนอกทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม หรือโลหะผสมฐานอะลูมิเนียม ไฮโดรเจนเหลวในถังมีอัตราการกลายเป็นไอร้อยละ 1-3 ต่อวัน ซึ่งต้องปล่อยทิ้ง ใช้ในงานด้านอวกาศ เป็นเชื้อเพลิงจรวด



ถังบรรจุไฮโดรเจนเหลว

membrane electrode assembly หน่วยเมมเบรนประกอบขั้วไฟฟ้า

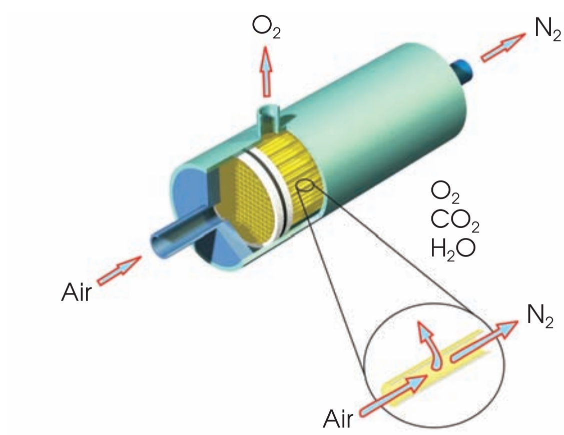
ชั้นของเมมเบรนที่ประกบด้วยชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา และแผ่นขั้วไฟฟ้าที่เป็นกระดาษ หรือผ้าคาร์บอนที่มีรูพรุนทั้งสองด้าน เป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานในเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ทำหน้าที่เป็นทั้งขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์นำอิเล็กตรอนเข้าและออกจากขั้วไฟฟ้า ให้ไฮโดรเจนไอออนแพร่ผ่านเมมเบรนเพื่อเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรด สมบัติของหน่วยเมมเบรนประกอบขั้วอิเล็กโทรดที่สำคัญ คือ ความต้านทานต่ำและควบคุมการเข้าออกของน้ำ (ดู water) ได้อย่างเหมาะสม



หน่วยเมมเบรนประกอบขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

membrane separation การแยกด้วยเมมเบรน

กระบวนการแยกแก๊สผสมด้วยเมมเบรนสังเคราะห์ เช่น การแยกแก๊สไนโตรเจนหรือแก๊สออกซิเจนออกจากอากาศ การแยกแก๊สไฮโดรเจนออกจากแก๊สผสมที่มีแก๊สไนโตรเจนและแก๊สมีเทน (ดู methane) การนำกลับ (recovery) แก๊สไฮโดรเจนจากผลิตภัณฑ์แก๊สผสมของโรงงานผลิตแอมโมเนีย การนำกลับแก๊สไฮโดรเจนจากกระบวนการกลั่นน้ำมัน (oil refinery processes) การแยกแก๊สมีเทนออกจากแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ปกติการแยกแก๊สด้วยเมมเบรนนิยมใช้เมมเบรนพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูพรุน (nonporous polymer membrane) โดยอาศัยหลักการสภาพละลายได้ (solubility) และสภาพแพร่ (diffusivity) ที่ต่างกันของแก๊สแต่ละชนิด ส่วนเมมเบรนที่มีรูพรุน (porous polymer membrane) สามารถแยกแก๊สโดยอาศัยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (pore diameter) ที่เล็กกว่าวิถีเสรีเฉลี่ย (mean free path) ของโมเลกุลแก๊สภายใต้ภาวะความดัน 100 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิ 300 เคลวิน เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ที่ประมาณ 50 นาโนเมตร ในบางกรณีสามารถใช้วัสดุอื่นที่ไม่ใช่พอลิเมอร์ เช่น เมมเบรนแพลเลเดียม (palladium, Pd) ที่เลือกผ่านเฉพาะแก๊สไฮโดรเจน



การแยกไนโตรเจนและออกซิเจนจากอากาศด้วยเมมเบรน

methane reforming การรีฟอร์มมีเทน

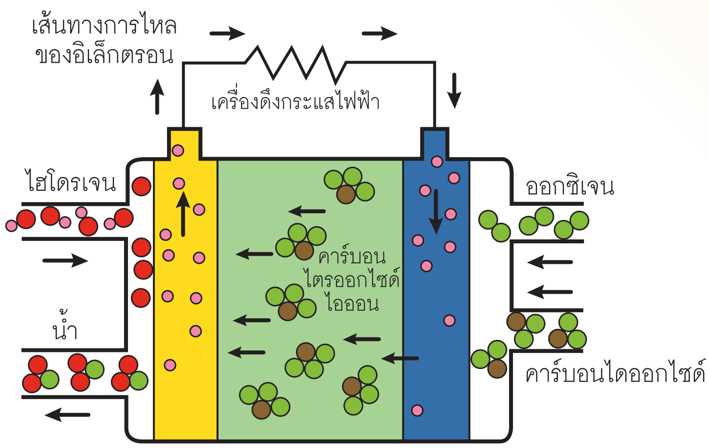
การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากแก๊สธรรมชาติด้วยวิธีอุณหเคมี (thermochemistry) การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ (ดู steam reforming) หรือการรีฟอร์มแบบออโตเทอร์มัล (autothermal reforming) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ นิกเกิล (Nickel, Ni) อุณหภูมิที่ใช้ดำเนินการอยู่ในช่วง 500-1,000 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้เป็นแก๊สสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลัก ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) น้ำ (ดู water) และแก๊สมีเทน (ดู methane) เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์ (hydrogen purification) ตัวอย่างเช่น การดูดซับแบบสลับความดัน (pressure swing adsorption) การแยกด้วยเมมเบรน เป็นต้น

molten carbonate fuel cell (MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม

เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ที่มีอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เป็นสารละลายแอลคาไลน์คาร์บอเนต เช่น ลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) อยู่ในเมทริกซ์ของลิเทียมอะลูมิเนต ($LiAlO_2$) เชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) หรือรีฟอร์เมต (reformate) ตัวออกซิไดส์ ได้แก่ แก๊สออกซิเจน หรืออากาศหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ได้แก่ นิกเกิลผสมโครเมียมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (Ni+10 wt% Cr) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดเป็นนิกเกิลออกไซด์ (NiO) อุณหภูมิการทำงาน 600-700 องศาเซลเซียส และความดัน 1-10 บรรยากาศได้น้ำ (ดู water) คาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อนเป็นผลผลิตพลอยได้ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าดังนี้

ขั้วแคโทด	$1/2O_2\ (g) + CO_2(g) + 2e^- \longrightarrow CO_3^{2-}$
ขั้วแอโนด	$H_2(g) + CO_3^{2-} \longrightarrow H_2O\ (g) + CO_2(g) + 2e^-$
ปฏิกิริยารวม	$H_2(g) + 1/2O_2\ (g) + CO_2\ (g) \longrightarrow H_2O(g) + CO_2(g)$

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่าง 300-3,000 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้าร้อยละ 45-50 ข้อดี คือ ประสิทธิภาพสูง สามารถใช้แก๊สเชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สธรรมชาติ โพรเพน หรือแก๊สที่ผลิตจากกระบวนการแกซิฟิเคชัน (ดู gasification) และเหมาะกับการประยุกต์ใช้กับปั๊มความร้อนเคมี (chemical heat pump) ข้อเสีย คือ ช่วงเวลาอุ่นเครื่อง (start-up time) นาน และการชำรุดหรือกัดกร่อนของส่วนประกอบเนื่องจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าต่ำ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่ขนาดใหญ่ มีการผลิตเชิงพาณิชย์และการศึกษาวิจัย



เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม

Nernst equation สมการของเนิร์นสต์

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้า กับภาวะดำเนินการของเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ณ ความดัน และอุณหภูมิ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น ($H_2 + 1/2O_2 \longrightarrow H_2O$) สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{P_{H_2}\, P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}}\right)$$

เมื่อ E_0 คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ภาวะมาตรฐานของปฏิกิริยา R คือ ค่าคงตัวของแก๊ส T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ n คือ จำนวนอิเล็กตรอนถ่ายโอนในระบบ และ F คือ ค่าคงตัวฟาราเดย์ (96,485 คูลอมบ์ต่อกรัมสมมูล) ส่วน P_{H_2} P_{O_2} และ P_{H_2O} คือ ความดันของแก๊สไฮโดรเจน แก๊สออกซิเจน และไอน้ำ ตามลำดับ

overpotential ศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน

ค่าศักย์ไฟฟ้าส่วนต่างจากศักย์ไฟฟ้าตามอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) เพื่อผลักดันให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าตามอัตราที่ต้องการ

phosphoric acid fuel cell (PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก

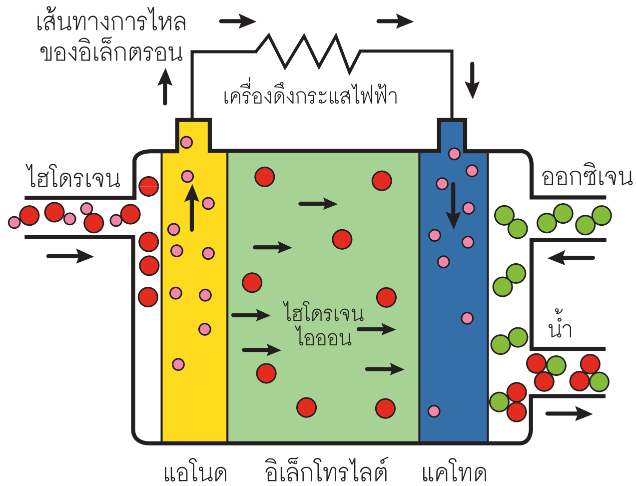
เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ที่มีอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เป็นกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เข้มข้น แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ตัวออกซิไดส์ ได้แก่ ออกซิเจนหรืออากาศ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ได้แก่ แพลทินัมบนคาร์บอน (Pt/C) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด ได้แก่ คาร์บอน (C) อุณหภูมิการทำงาน 150-200 องศาเซลเซียส และความดัน 3-10 บรรยากาศ ได้น้ำ (ดู water) เป็นผลผลิตพลอยได้ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

ขั้วแคโทด $1/2O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2O(l)$

ขั้วแอโนด $H_2(g) \longrightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$

ปฏิกิริยารวม $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่าง 100-400 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 40 ข้อดี คือ สามารถใช้แก๊สไฮโดรเจนที่ปนเปื้อนด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ถึงร้อยละ 1.5 ได้ จึงสามารถใช้สารตั้งต้นได้หลายชนิด เช่น แก๊สธรรมชาติ เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) หรือแนฟทา นอกจากนี้น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามีอุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าร่วม (cogeneration) ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 85 ข้อเสีย คือ ขนาดใหญ่และหนัก ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาสูง ช่วงเวลาอุ่นเครื่อง (start-up time) นานและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น เหมาะสำหรับการประยุกต์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) มีการผลิตเชิงพาณิชย์แล้ว



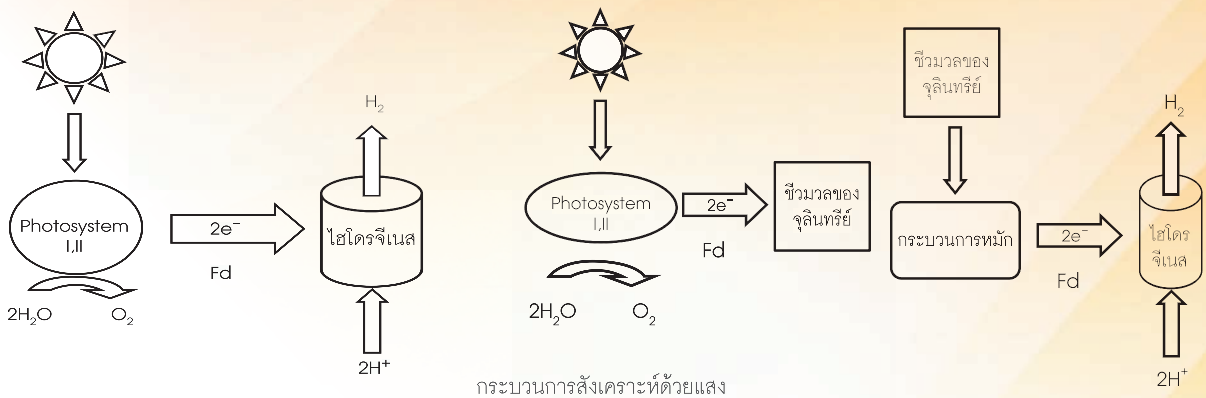
เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก

photocatalytic process กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

กระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจน ด้วยวิธีการแตกตัวของน้ำ (ดู water) โดยใช้สารกึ่งตัวนำ (ดู semiconductors) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ซึ่งรับโฟตอน (photon) จากแสงอาทิตย์ไปกระตุ้นอิเล็กตรอน (electron) จากแถบวาเลนซ์เคลื่อนที่ผ่านแถบพลังงาน (energy band) สู่แถบนำไฟฟ้า (conduction band) และเกิดเป็นหลุม (hole) ทำให้น้ำแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน จากนั้นผ่านเข้ากระบวนการทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมใช้ ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) ทังเสตนออกไซด์ (tungsten (III) oxide, WO_3) และแพลทินัม (platinum, Pt) เป็นต้นประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึก สมบัติรวม และพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนในน้ำ และมีประสิทธิภาพกระบวนการต่ำอยู่ที่ร้อยละ 8-14

photosynthesis การสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการทางชีวเคมีที่สิ่งมีชีวิตสีเขียวเปลี่ยนรูปพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี โดยแสงถูกดูดจับไว้ และทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาระหว่างน้ำ (ดู water) และคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ได้คาร์โบไฮเดรต (ดู carbohydrate) การสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อผลิตไฮโดรเจนจำแนกได้เป็น 2 วิธีการ ได้แก่ การแยกสลายด้วยแสงทางตรง และการแยกสลายด้วยแสงทางอ้อม การแยกสลายด้วยแสงทางตรงพบมากในสาหร่ายสีเขียว (green algae) ที่แสงกระตุ้นโมเลกุลของน้ำให้แยกออกเป็นไฮโดรเจนไอออน แก๊สออกซิเจน และอิเล็กตรอน (electron, e^-) จากนั้น เอนไซม์ไฮโดรจีเนส (hydrogenase) จะรวมไฮโดรเจนไอออนและอิเล็กตรอน ได้แก๊สไฮโดรเจน ส่วนการแยกสลายด้วยแสงทางอ้อมพบมากในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) หรือไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่ใช้ปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงร่วมกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อผลิตคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะถูกนำไปผลิตแก๊สไฮโดรเจนต่อไป ข้อจำกัดหลักของการผลิตไฮโดรเจนผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสงในการใช้งานเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง



กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

physical hydrogen storage การเก็บไฮโดรเจนทางกายภาพ

เทคโนโลยีสำหรับเก็บไฮโดรเจนด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การเก็บใต้ดิน การอัดเพิ่มความดันแก๊ส และการทำให้เป็นของเหลว เป็นต้น แหล่งเก็บไฮโดรเจนใต้ดิน เช่น แหล่งแก๊ส และน้ำมันที่ใช้หมดแล้ว โพรงใต้ดิน โดมหินเกลือ (salt dome) และชั้นหินอุ้มน้ำ (ดู aquifer) เหมาะสำหรับป้อนโรงผลิตไฟฟ้า ส่วนการอัดแก๊สและการทำให้เป็นของเหลวมีข้อดี คือ ใช้เวลาน้อยในการเติมไฮโดรเจน ณ จุดใช้งาน มีหลายขนาดทั้งที่เคลื่อนย้ายได้ และเคลื่อนย้ายไม่ได้ เทคโนโลยีที่อยู่ระหว่างการพัฒนา ได้แก่ การเก็บไฮโดรเจนในรูปไฮเดรตของสารประกอบคลาเทรต (clathrate hydrate) การเก็บในแถวลำดับของหลอดแก้วรูเล็ก (glass capillary array) การเก็บในถังอัดเย็นยิ่งยวด (cryo-compressed tank) ในสภาวะที่อยู่ระหว่างไฮโดรเจนเหลว และไฮโดรเจนอัด สลัชไฮโดรเจน (ดู slush hydrogen) และการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ท่อระดับนาโนเมตรของคาร์บอน และโครงข่ายโลหะ-อินทรีย์ (metal-organic framework)

plasma reforming การรีฟอร์มด้วยพลาสมา

กระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอน โดยอาศัยหลักการการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของแก๊สพาหะ (carrier gas) ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ความดันบรรยากาศ แล้วทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น มีข้อดี คือ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีฟอร์มิง (reforming reaction) ได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สามารถใช้สารตั้งต้นที่มีกำมะถันได้ มีประสิทธิภาพดี ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย และให้อัตราการเปลี่ยนสารตั้งต้นสูง แต่จำเป็นต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง และอาจเกิดเสื่อมสภาพของขั้วไฟฟ้าได้เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า

polarization โพลาไรเซชัน

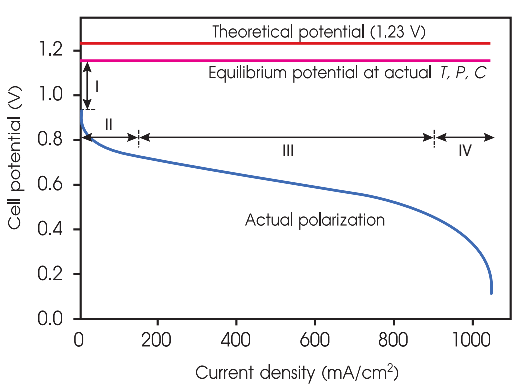
พฤติกรรมแสดงการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ 1. การแพร่ผ่านของแก๊สเชื้อเพลิง (fuel cross over) และการเกิดกระแสไฟฟ้าภายใน (internal current) 2. โพลาไรเซชันของการก่อกัมมันต์ (activation polarization) 3. โพลาไรเซชันของความต้านทาน (ohmic polarization) 4. โพลาไรเซชันของความเข้มข้น (concentration polarization) กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density) เรียกว่า กราฟโพลาไรเซชัน (polarization curve)

ก. การแพร่ผ่านของแก๊สเชื้อเพลิงและการเกิดกระแสไฟฟ้าภายในเกิดขึ้นในภาวะที่เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่ผลิตกระแสไฟฟ้าหรือบริเวณที่กระแสไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ (บริเวณ I)

ข. โพลาไรเซชันของการก่อกัมมันต์เกิดจากความล่าช้าของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง โดยเฉพาะปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) การสูญเสียศักย์ไฟฟ้าประเภทนี้แสดงบนกราฟโพลาไรเซชันบริเวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ (บริเวณ II)

ค. โพลาไรเซชันของความต้านทาน เกิดจากความล่าช้าของการถ่ายโอนอิเล็กตรอนบนขั้วไฟฟ้าและองค์ประกอบต่าง ๆ ในเซลล์เชื้อเพลิง และความล่าช้าจากการถ่ายโอนไฮโดรเจนไอออนผ่านเมมเบรน การสูญเสียศักย์ไฟฟ้าประเภทนี้ ปรากฏเป็นเชิงเส้นบนกราฟโพลาไรเซชันบริเวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าช่วงกลาง (บริเวณ III)

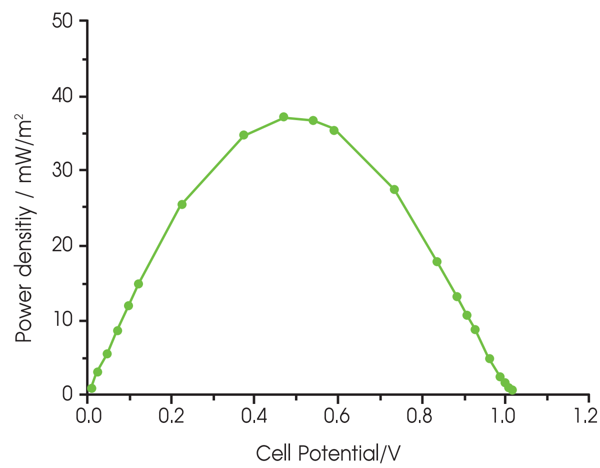
ง. โพลาไรเซชันของความเข้มข้น เกิดจากสารตั้งต้นในเซลล์เชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณสูง การสูญเสียศักย์ไฟฟ้าประเภทนี้ แสดงบนกราฟโพลาไรเซชันบริเวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง (บริเวณ IV)



กราฟโพลาไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

power density ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า

ผลคูณระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าบ่งชี้ถึงความสามารถในการให้กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เรียกว่า กราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (power density curve)



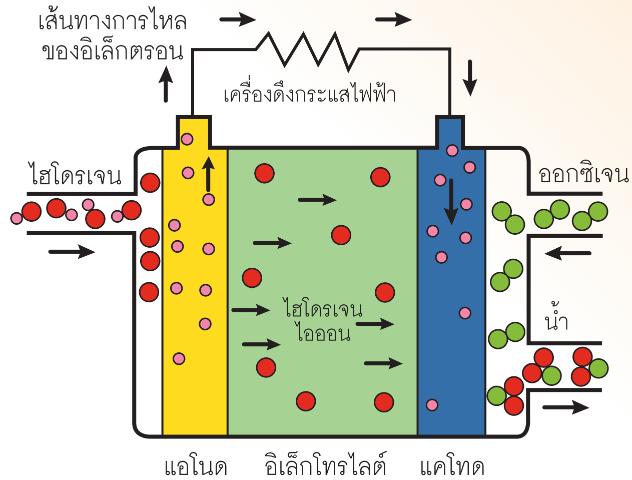
กราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า

proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน, เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ที่มีอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติในการนำไฮโดรเจนไอออนสูง แก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน เมทานอล ตัวออกซิไดส์ ได้แก่ ออกซิเจนหรืออากาศ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ที่ขั้วแอโนดและแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ แพลทินัม อุณหภูมิการทำงาน 30-100 องศาเซลเซียส และความดัน 1-3 บรรยากาศ ได้น้ำ (ดู water) เป็นผลผลิตพลอยได้ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

ขั้วแคโทด	$H_2(g) \longrightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$
ขั้วแอโนด	$1/2O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2O(l)$
ปฏิกิริยารวม	$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่น้อยกว่า 1 กิโลวัตต์ถึง 100 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้าร้อยละ 53-58 สำหรับการขนส่ง และร้อยละ 35 สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่ ข้อดี คือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ช่วงเวลาอุ่นเครื่อง (start-up time) สั้น ประสิทธิภาพสูง และมีปัญหาการกัดกร่อนน้อยเนื่องจากมีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ข้อเสีย คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมอย่างรวดเร็วเมื่อแก๊สเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดส์ปนเปื้อนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และราคาสูง เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าสำรอง (backup power) หน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าแบบพกพา (portable power) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กการขนส่ง และยานพาหนะมีการผลิตเชิงพาณิชย์ และการศึกษาวิจัย



เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง

สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มที่ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงนิยมเรียกว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมทานอลโดยตรง (direct methanol fuel cell) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ที่ขั้วแอโนดและแคโทด ได้แก่ แพลทินัมผสมรูทิเนียม และแพลทินัม ตามลำดับ อุณหภูมิการทำงาน 20-90 องศาเซลเซียส และความดัน 1-3 บรรยากาศ ได้น้ำ (ดู water) เป็นผลผลิตพลอยได้ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

ขั้วแอโนด $CH_3OH(l) + H_2O(l) \longrightarrow CO_2(g) + 6H^+ + 6e^-$

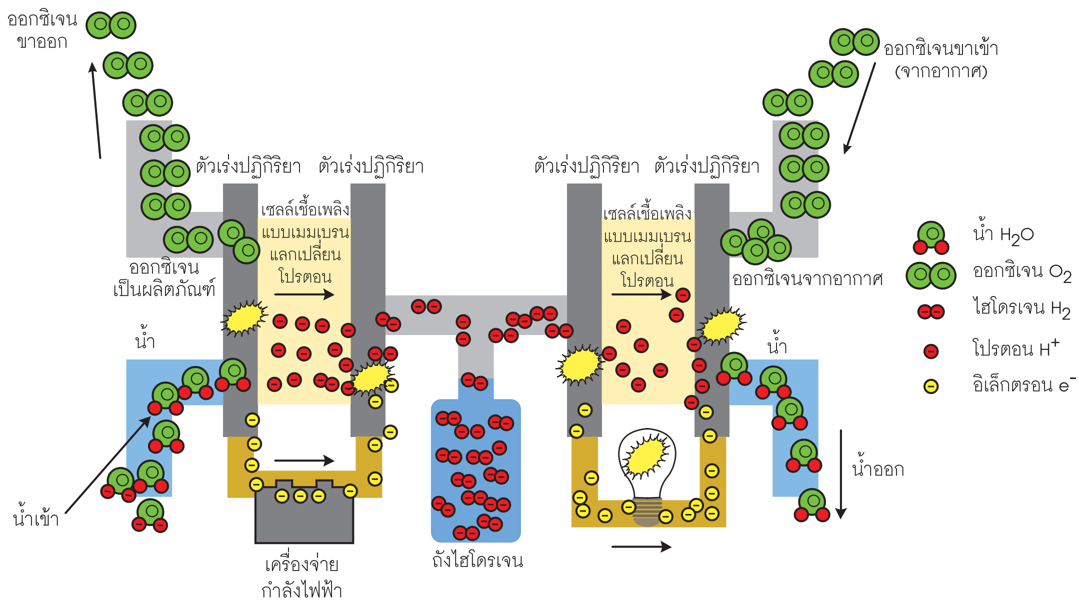
ขั้วแคโทด $3/2O_2(g) + 6H^+(aq) + 6e^- \longrightarrow 3H_2O$

ปฏิกิริยารวม $CH_3OH(l) + 3/2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$

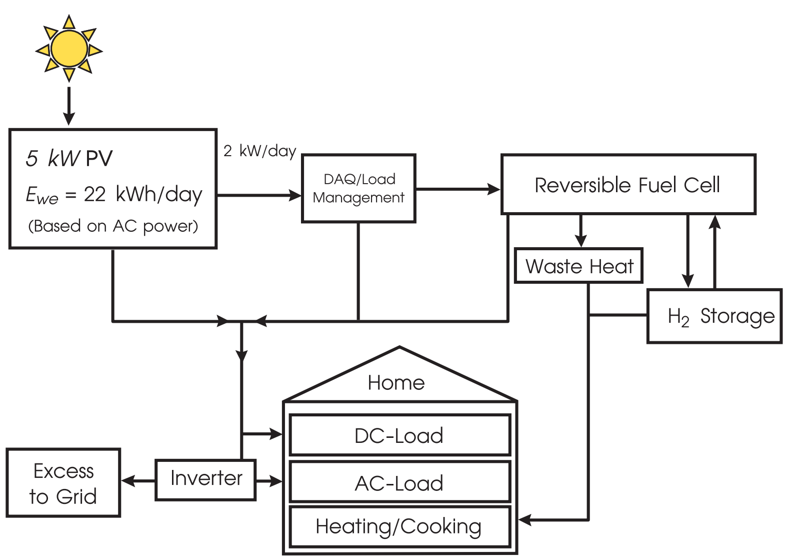
กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่น้อยกว่า 1 วัตต์ ถึง 100 วัตต์ ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้าร้อยละ 40 ข้อดี คือ เมทานอลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถผลิตจากปฏิกิริยารีฟอร์มิงของแกโซลีน (gasoline) หรือชีวมวล (biomass) มีความปลอดภัยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากใช้ของเหลวเป็นเชื้อเพลิง ข้อเสีย คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลจะช้าเช่นเดียวกับปฏิกิริยาที่แคโทด และการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรนที่ศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (open circuit potential) สูง รวมถึงสารมัธยันตร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล คือ คาร์บอนมอนอกไซด์จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพเร็ว เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา (portable electronic system) ที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำและทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แบบพกพา

regenerative fuel cell, reversible fuel cell เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟ, เซลล์เชื้อเพลิงแบบผันกลับ

อุปกรณ์เคมีไฟฟ้าที่สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) และเครื่องแยกสลายด้วยไฟฟ้า (electrolyzer) โดยขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงทำหน้าที่เป็นแคโทดของเครื่องแยกสลายด้วยไฟฟ้า ส่วนขั้วแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงจะทำหน้าที่เป็นแอโนดของเครื่องแยกสลายด้วยไฟฟ้า แนวคิดของการประยุกต์เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟในครัวเรือน คือ ในเวลากลางวัน เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟทำหน้าที่เป็นเครื่องแยกสลายด้วยไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนน้ำ (ดู water) เป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน โดยใช้กระแสไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ (ดู solar cell, photovoltaic cell) แก๊สที่ผลิตได้จะถูกเก็บในอุปกรณ์เก็บแก๊ส ในเวลากลางคืนไฮโดรเจนถูกดึงไปป้อนเซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่เก็บไว้ได้กระแสไฟฟ้า ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงชนิดที่กำลังพัฒนาให้เป็นเซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟ คือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (ดู proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (ดู solid oxide fuel cell (SOFC))



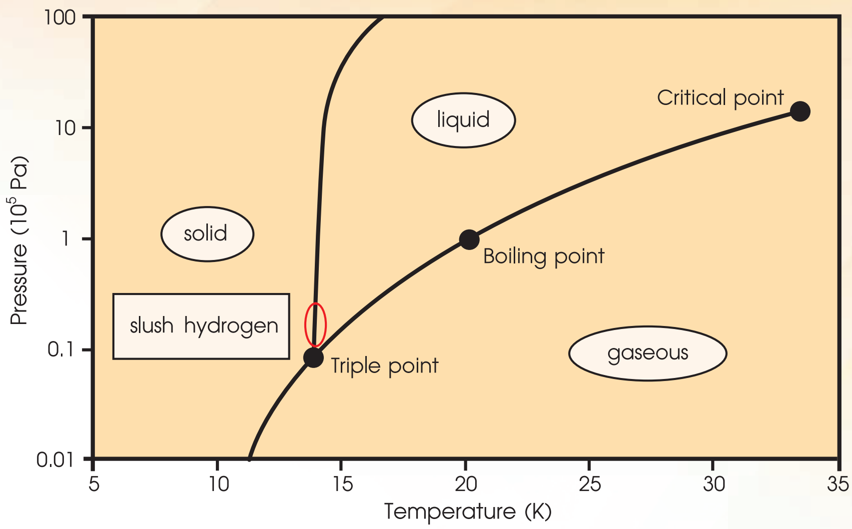
หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟหรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบผันกลับ



การใช้เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟในครัวเรือน

slush hydrogen สลัชไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนระหว่างสถานะของเหลวและของแข็ง เกิดที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลว (-259 องศาเซลเซียส) ภายใต้สุญญากาศ ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 (85 กรัมต่อลิตร) และสามารถยืดระยะเวลาเก็บไฮโดรเจน เนื่องจากต้องใช้ความร้อนเพิ่มเติมเพื่อเปลี่ยนสถานะของไฮโดรเจนของแข็ง จึงเหมาะสำหรับประยุกต์กับพาหนะ



วัฏภาคของไฮโดรเจน

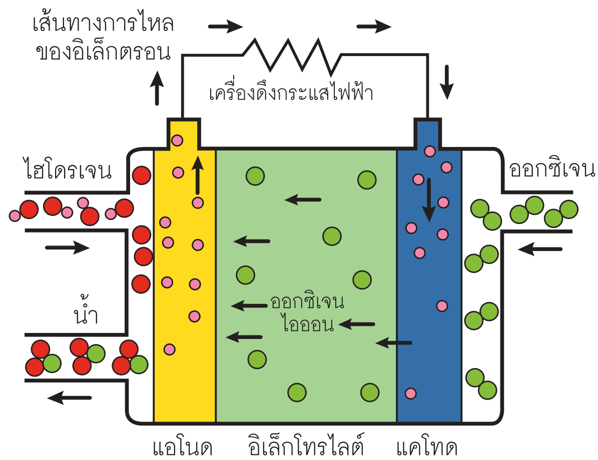
solid oxide fuel cell (SOFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง

เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) ที่มีอิเล็กโทรไลต์ (ดู electrolyte) เป็นเซรามิกของแข็งที่มีความพรุน เช่น เซอร์โคเนียที่เสถียรด้วยยิตเทรีย (Y_2O_3-stabilized ZrO_2) แก๊สเชื้อเพลิงได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน ตัวออกซิไดส์ ได้แก่ แก๊สออกซิเจน หรืออากาศ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ได้แก่ โคบอลต์-เซอร์โคเนีย ($Co-ZrO_2$) หรือนิกเกิล-เซอร์โคเนีย ($Ni-ZrO_2$) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด ได้แก่ แลนทานัมแมงกานีสออกไซด์ที่เจือด้วยสตรอนเทียม (Sr-doped $LaMnO_3$) อุณหภูมิการทำงาน 600-1,000 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งได้น้ำ (ดู water) และความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 800-1,000 องศาเซลเซียส เป็นผลผลิตพลอยได้ตามปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

ขั้วแคโทด	$1/2O_2(g) + 2e^- \longrightarrow O^{2-}$
ขั้วแอโนด	$H_2(g) + O^{2-} \longrightarrow H_2O\ (g) + 2e^-$
ปฏิกิริยารวม	$H_2(g) + 1/2O_2\ (g) \longrightarrow H_2O\ (g)$

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่าง 1-2,000 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าอาจสูงถึงร้อยละ 60-85 เมื่อใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าร่วม (co-generator) ข้อดี คือ มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพสูง สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายชนิด ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทนสารปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงจึงสามารถใช้แก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการแปรรูปสาร

ตั้งต้นหลายชนิด อาทิเช่น แก๊สธรรมชาติถ่านหิน แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) หรือเมทิลแอลกอฮอล์ (ดู methanol, methyl alcohol) ข้อเสีย คือ ช่วงเวลาอุ่นเครื่อง (start-up time) นาน และการชำรุดหรือกัดกร่อนของส่วนประกอบเนื่องจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงเหมาะสำหรับการประยุกต์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่มีการผลิตเชิงพาณิชย์และการศึกษาวิจัย



เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง

steam-iron process กระบวนการไอน้ำ-เหล็ก

กระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนทางการค้าเก่าแก่ที่สุดที่สามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยใช้ปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation reaction) ของเหล็กออกไซด์ (iron oxide) หรือแมกนีไทต์ (magnetite, Fe_3O_4) ประกอบด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้น ได้แก่ ขั้นของปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) ของเหล็กออกไซด์ด้วยแก๊สรีดิวซ์ (reducing gas) เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรคาร์บอน และแก๊สสังเคราะห์และขั้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กด้วยไอน้ำ

ปฏิกิริยาขั้นที่ 1: $Fe_3O_4 + 4CO$ (or reducing gas) $\longrightarrow 3Fe + 4CO_2$ (or oxidizing gas)

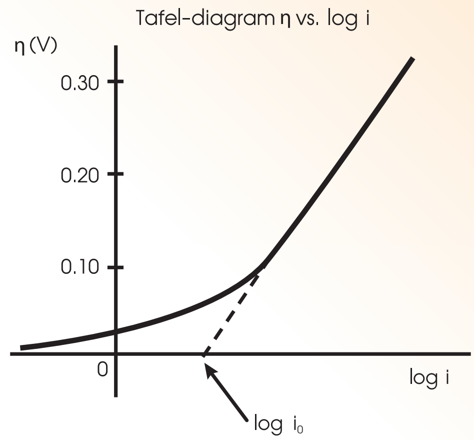
ปฏิกิริยาขั้นที่ 2: $3Fe + 4H_2O \longrightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$

ปฏิกิริยารวม: CO (or reducing gas) $+ H_2O \longrightarrow CO_2$ (or oxidizing gas) $+ H_2$

และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ ที่ไม่ใช่ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 และ 2 ด้วย จึงส่งผลให้เกิดเหล็กออกไซด์ได้หลายรูปแบบในผลิตภัณฑ์ เช่น วูสไทต์ (wustite, FeO) และเกิดปฏิกิริยาการแตกสลาย / ออกซิเดชันขึ้นจำนวนมากพร้อมๆ กัน

Tafel equation สมการทาเฟล

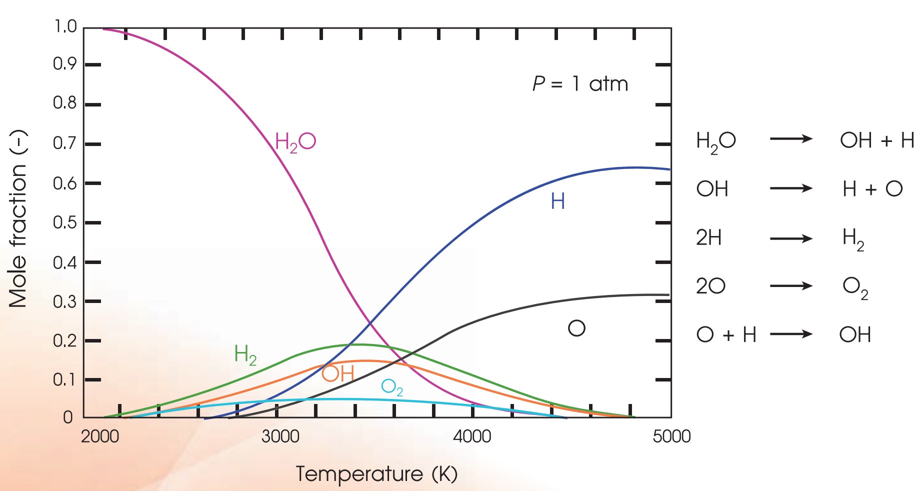
สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน (η) (ดู overpotential) กับลอการิทึมฐานสิบของกระแสไฟฟ้า (log i) สมการทาเฟลของปฏิกิริยาที่เกิดบนขั้วไฟฟ้าเดี่ยว คือ $\eta = \log (i / i_0)$ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η และ log (i) เรียกว่า กราฟทาเฟล (Tafel plot) ความชันของกราฟเรียกว่าความชันทาเฟล (Tafel slope, b) ปฏิกิริยาที่มีความชันทาเฟลมาก มีจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาต่ำจุดตัดแกนที่แสดง log (i_0) ของกราฟทาเฟลสามารถใช้ในการคำนวณกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยน (exchange current, i_0) ของปฏิกิริยาได้



กราฟทาเฟล

thermal decomposition, thermolysis การสลายตัวด้วยความร้อน

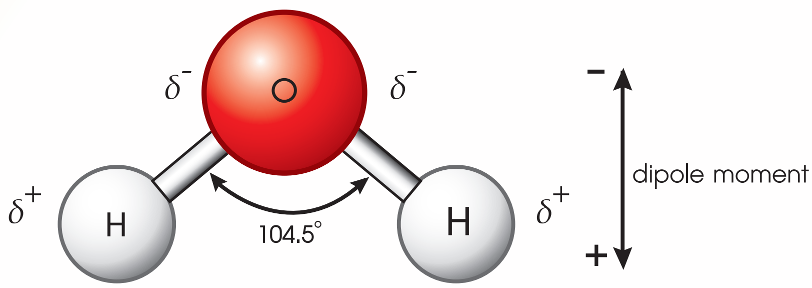
การสลายตัวของสารตั้งต้นด้วยความร้อนที่ให้ผลผลิตอย่างน้อย 2 ชนิด สำหรับการสลายตัวของน้ำ (ดู water) ด้วยความร้อนเกิดได้น้อยแม้ที่อุณหภูมิสูงมาก เช่น ที่อุณหภูมิ 2,200 เคลวิน แตกตัวเพียงร้อยละ 3 และที่อุณหภูมิ 3,200 เคลวิน แตกตัวประมาณร้อยละ 50 ได้ไอออน อนุมูล อะตอม และโมเลกุลของไฮโดรเจนและออกซิเจนหลายชนิด เช่น ไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion, H^+) ออกซิเจนไอออน (oxygen ion, O^{2-}) ไฮโดรเจน (hydrogen, H_2) ออกซิเจน (oxygen, O_2) ไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion, OH^-) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) และไฮโดรเพอรอกซิล หรืออนุมูลเพอรอกซิล (hydroperoxyl, peroxyl radical, HO_2) ข้อจำกัดของปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนในการประยุกต์ใช้งานจริงเชิงอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์ คือ ความคงทนของอุปกรณ์หรือวัสดุในกระบวนการที่ต้องทำงานที่อุณหภูมิสูง



สมดุลการสลายตัวของน้ำด้วยความร้อน

water น้ำ

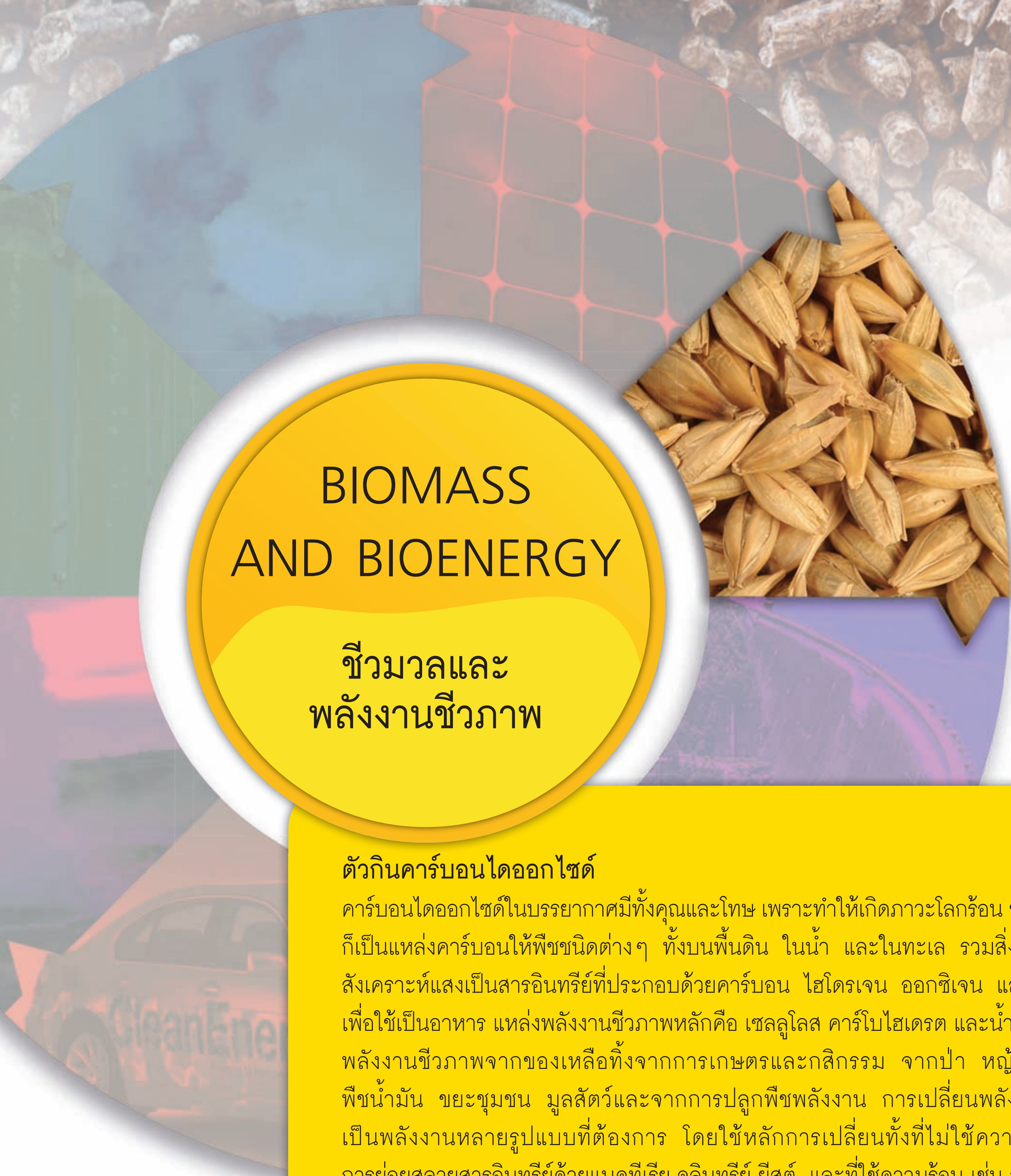
สารประกอบระหว่างไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม สูตรโมเลกุล H_2O ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นของเหลวที่สภาวะปกติ สารประกอบที่พบมากที่สุดในโลก เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งปวง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตไฮโดรเจนจากการเกิดปฏิกิริยาการแยกด้วยไฟฟ้า (electrolysis) และการแยกกรองด้วยไฟฟ้า (electrodialysis)



โมเลกุลของน้ำ

ตารางสมบัติทางกายภาพของน้ำ

มวลโมเลกุล	18.0151
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	0
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	100
ความหนาแน่นที่ 25 องศาเซลเซียส (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.097
ความดันไอที่ 25 องศาเซลเซียส (ทอร์)	23.75
ความร้อนของการหลอมเหลว (กิโลจูลต่อโมล)	6.010
ความร้อนของการกลายเป็นไอที่ 100 องศาเซลเซียส (กิโลจูลต่อโมล)	40.65
ความร้อนของการเกิดที่ 25 องศาเซลเซียส (กิโลจูลต่อโมล)	-285.85
ความหนืดที่ 20 องศาเซลเซียส (กรัมต่อเซนติเมตร วินาที)	0.8903



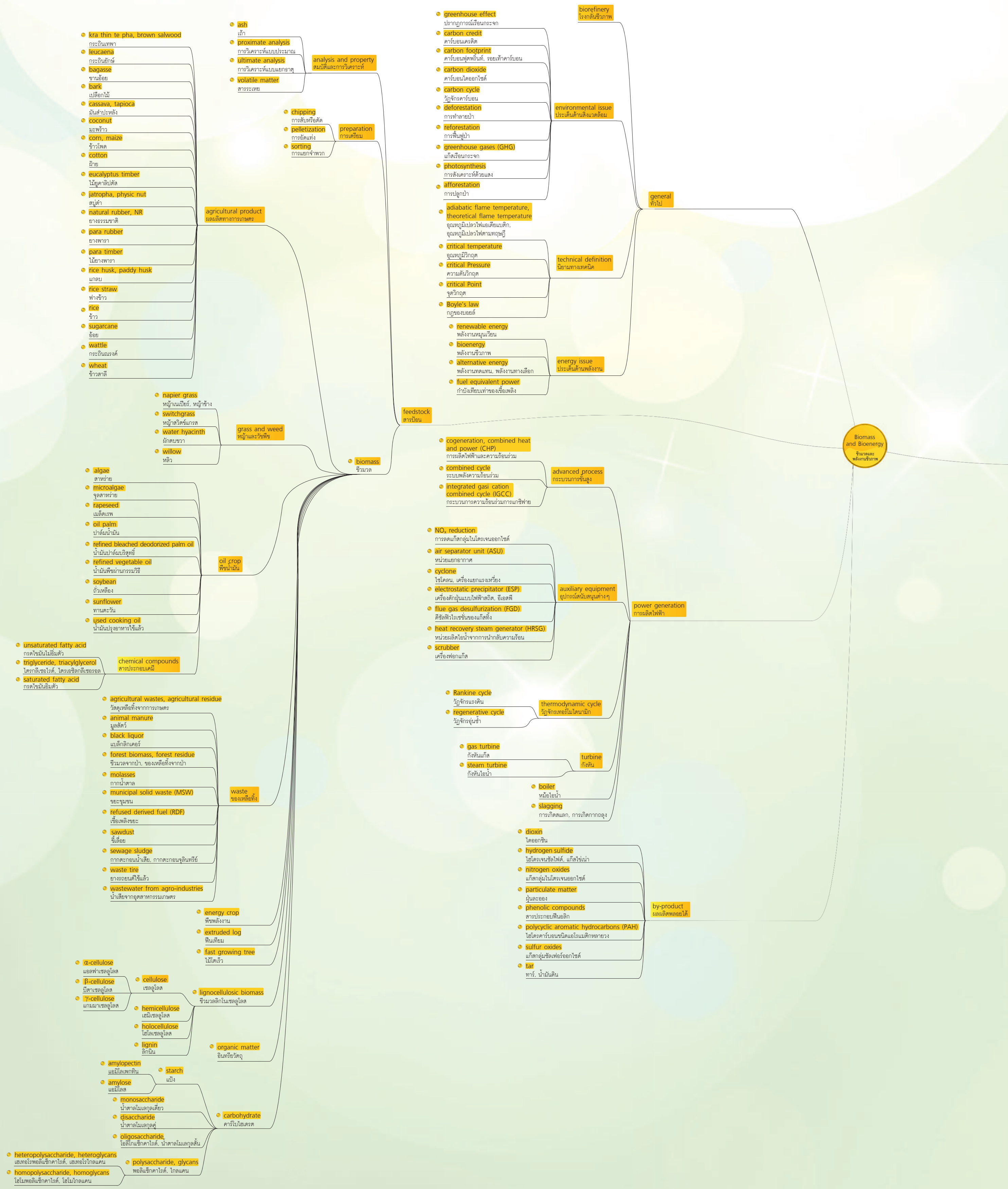
BIOMASS AND BIOENERGY

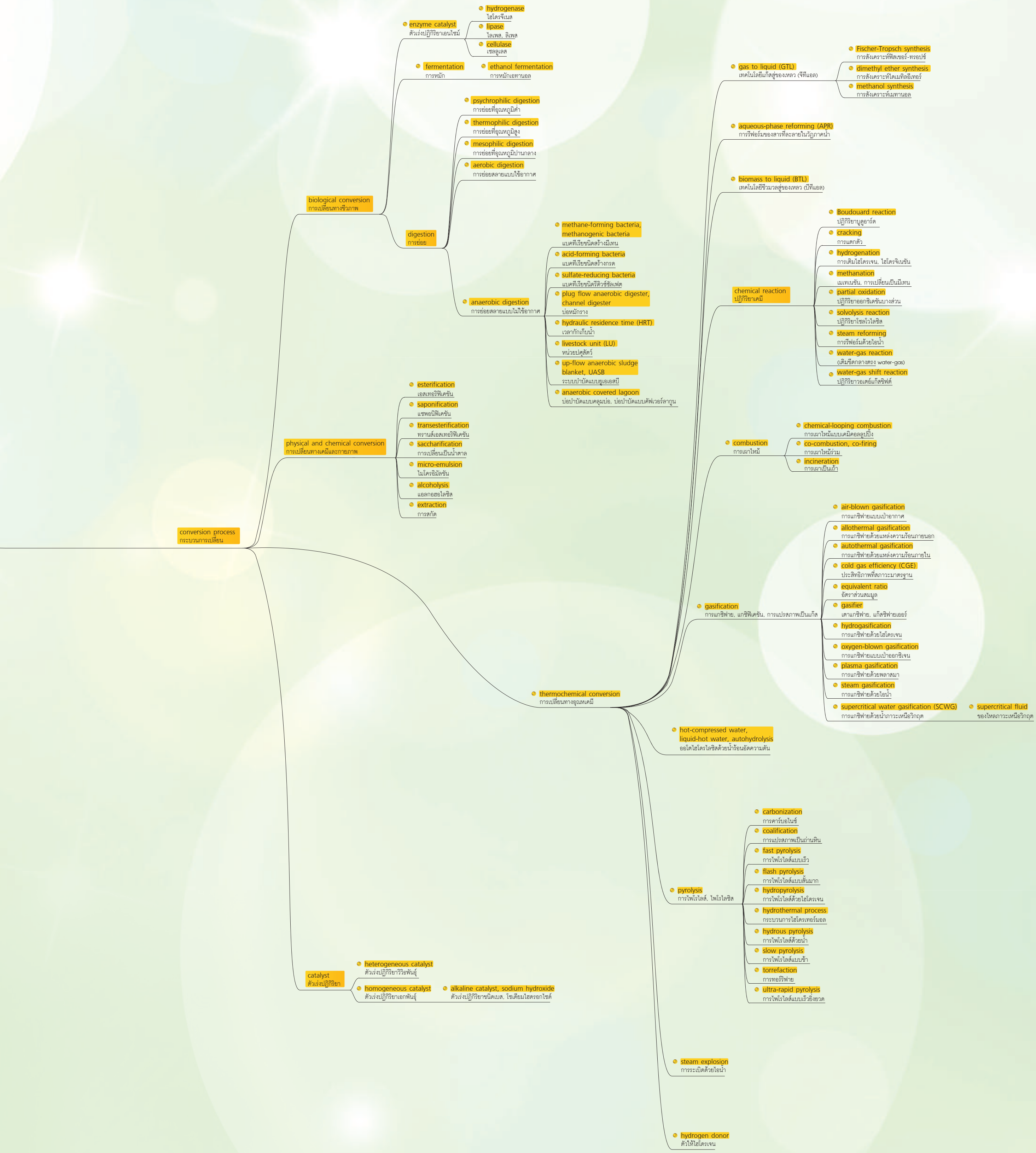
ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ

ตัวกินคาร์บอนไดออกไซด์

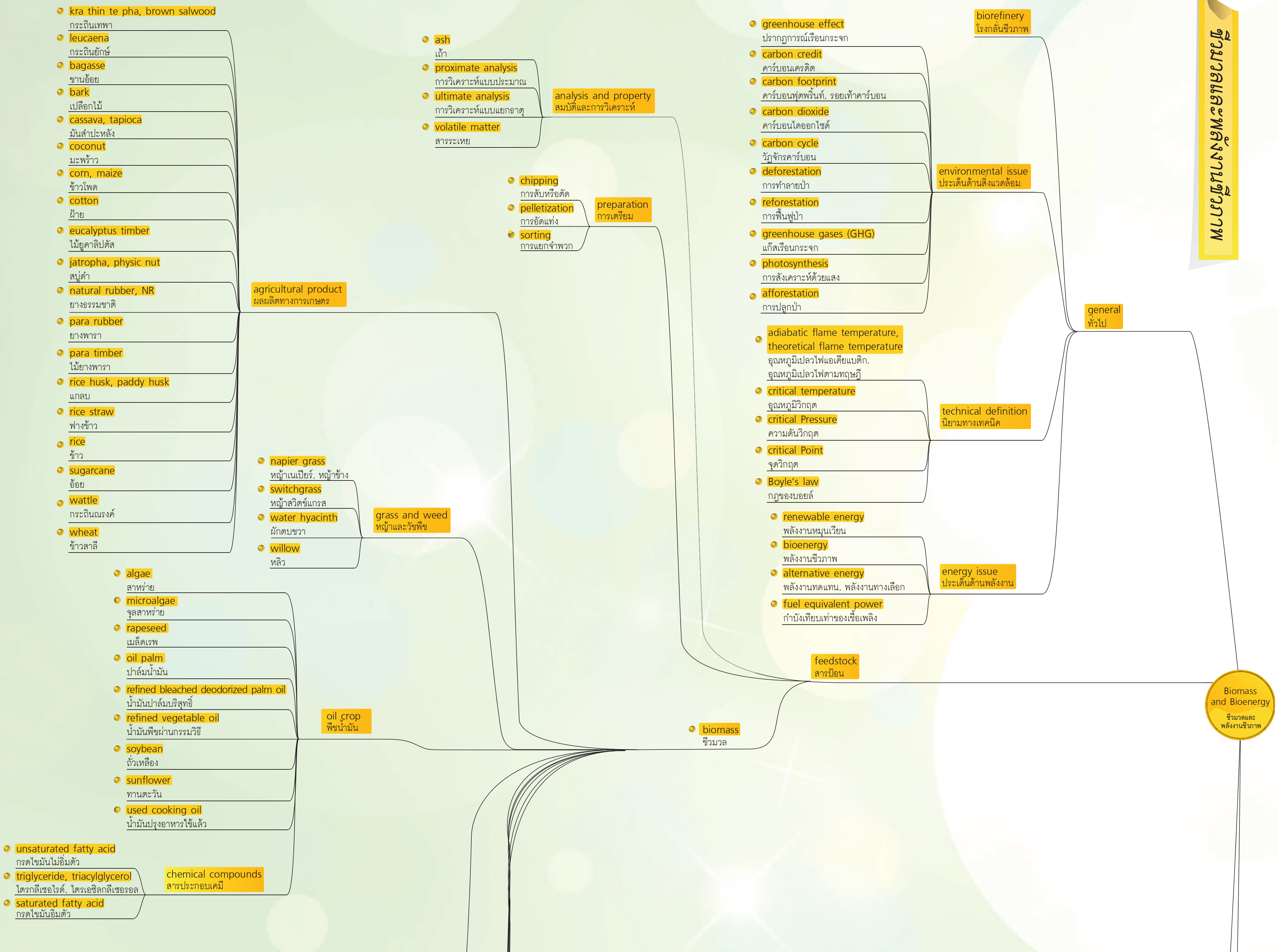
คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีทั้งคุณและโทษ เพราะทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งคาร์บอนให้พืชชนิดต่างๆ ทั้งบนพื้นดิน ในน้ำ และในทะเล รวมสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำสังเคราะห์แสงเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เพื่อใช้เป็นอาหาร แหล่งพลังงานชีวภาพหลักคือ เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต และน้ำมัน เรายังได้พลังงานชีวภาพจากของเหลือทิ้งจากการเกษตรและกสิกรรม จากป่า หญ้าและวัชพืช พืชน้ำมัน ขยะชุมชน มูลสัตว์และจากการปลูกพืชพลังงาน การเปลี่ยนพลังงานชีวภาพเป็นพลังงานหลายรูปแบบที่ต้องการ โดยใช้หลักการเปลี่ยนทั้งที่ไม่ใช้ความร้อน เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรีย จุลินทรีย์ ยีสต์ และที่ใช้ความร้อน เช่น การแกซิฟาย การไพโรไลส์ การผลิตไบโอดีเซลที่ใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และการผลิตเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการฟิสเชอร์-ทรอปช์ ได้พลังงานความร้อน ไฟฟ้า และผลิตภัณฑ์ทดแทนปิโตรเลียมหลายชนิดทั้งที่เป็นแก๊ส ของเหลว และของแข็ง อีกไม่นานเราจะสามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลโดยไม่ต้องพึ่งพาปิโตรเลียมและไม่ส่งผลกระทบกับห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) ของอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งนี้ต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการปลูกป่า การฟื้นฟูป่า และการปลูกพืชพลังงานด้วย

Mind Map


Biomass and Bioenergy
ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
general
ทั่วไป
biorefinery
โรงกลั่นชีวภาพ
environmental issue
ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม
greenhouse effect
ปรากฏการณ์เรือนกระจก
carbon credit
คาร์บอนเครดิต
carbon footprint
คาร์บอนฟุตพรินท์, รอยเท้าคาร์บอน
carbon dioxide
คาร์บอนไดออกไซด์
carbon cycle
วัฏจักรคาร์บอน
deforestation
การทำลายป่า
reforestation
การฟื้นฟูป่า
greenhouse gases (GHG)
แก๊สเรือนกระจก
photosynthesis
การสังเคราะห์ด้วยแสง
afforestation
การปลูกป่า
technical definition
นิยามทางเทคนิค
adiabatic flame temperature, theoretical flame temperature
อุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติก, อุณหภูมิเปลวไฟตามทฤษฎี
critical temperature
อุณหภูมิวิกฤต
critical Pressure
ความดันวิกฤต
critical Point
จุดวิกฤต
Boyle's law
กฎของบอยล์
energy issue
ประเด็นด้านพลังงาน
renewable energy
พลังงานหมุนเวียน
bioenergy
พลังงานชีวภาพ
alternative energy
พลังงานทดแทน, พลังงานทางเลือก
fuel equivalent power
กำบังเทียบเท่าของเชื้อเพลิง
feedstock
สารป้อน
analysis and property
สมบัติและการวิเคราะห์
ash
เถ้า
proximate analysis
การวิเคราะห์แบบประมาณ
ultimate analysis
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ
volatile matter
สารระเหย
preparation
การเตรียม
chipping
การสับหรือตัด
pelletization
การอัดแท่ง
sorting
การแยกจำพวก
biomass
ชีวมวล
agricultural product
ผลผลิตทางการเกษตร
kra thin te pha, brown salwood
กระถินเทพา
leucaena
กระถินยักษ์
bagasse
ชานอ้อย
bark
เปลือกไม้
cassava, tapioca
มันสำปะหลัง
coconut
มะพร้าว
corn, maize
ข้าวโพด
cotton
ฝ้าย
eucalyptus timber
ไม้ยูคาลิปตัส
jatropha, physic nut
สบู่ดำ
natural rubber, NR
ยางธรรมชาติ
para rubber
ยางพารา
para timber
ไม้ยางพารา
rice husk, paddy husk
แกลบ
rice straw
ฟางข้าว
rice
ข้าว
sugarcane
อ้อย
wattle
กระถินณรงค์
wheat
ข้าวสาลี
grass and weed
หญ้าและวัชพืช
napier grass
หญ้าเนเปียร์, หญ้าช้าง
switchgrass
หญ้าสวิตช์แกรส
water hyacinth
ผักตบชวา
willow
หลิว
oil crop
พืชน้ำมัน
algae
สาหร่าย
microalgae
จุลสาหร่าย
rapeseed
เมล็ดเรพ
oil palm
ปาล์มน้ำมัน
refined bleached deodorized palm oil
น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
refined vegetable oil
น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธี
soybean
ถั่วเหลือง
sunflower
ทานตะวัน
used cooking oil
น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว
chemical compounds
สารประกอบเคมี
unsaturated fatty acid
กรดไขมันไม่อิ่มตัว
triglyceride, triacylglycerol
ไตรกลีเซอไรด์, ไตรเอซิลกลีเซอรอล
saturated fatty acid
กรดไขมันอิ่มตัว
waste
ของเหลือทิ้ง
agricultural wastes, agricultural residue
วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
animal manure
มูลสัตว์
black liquor
แบล็กลิกเคอร์
forest biomass, forest residue
ชีวมวลจากป่า, ของเหลือทิ้งจากป่า
molasses
กากน้ำตาล
municipal solid waste (MSW)
ขยะชุมชน
refused derived fuel (RDF)
เชื้อเพลิงขยะ
sawdust
ขี้เลื่อย
sewage sludge
กากตะกอนน้ำเสีย, กากตะกอนจุลินทรีย์
waste tire
ยางรถยนต์ใช้แล้ว
wastewater from agro-industries
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร
energy crop
พืชพลังงาน
extruded log
ฟืนเทียม
fast growing tree
ไม้โตเร็ว
lignocellulosic biomass
ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส
cellulose
เซลลูโลส
α-cellulose
แอลฟาเซลลูโลส
β-cellulose
บีตาเซลลูโลส
γ-cellulose
แกมมาเซลลูโลส
hemicellulose
เฮมิเซลลูโลส
holocellulose
โฮโลเซลลูโลส
lignin
ลิกนิน
organic matter
อินทรียวัตถุ
carbohydrate
คาร์โบไฮเดรต
starch
แป้ง
amylopectin
แอมิโลเพกทิน
amylose
แอมิโลส
monosaccharide
น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว
disaccharide
น้ำตาลโมเลกุลคู่
oligosaccharide
โอลิโกแซ็กคาไรด์, น้ำตาลโมเลกุลสั้น
polysaccharide, glycans
พอลิแซ็กคาไรด์, ไกลแคน
heteropolysaccharide, heteroglycans
เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์, เฮเทอโรไกลแคน
homopolysaccharide, homoglycans
โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์, โฮโมไกลแคน
power generation
การผลิตไฟฟ้า
advanced process
กระบวนการขั้นสูง
cogeneration, combined heat and power (CHP)
การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม
combined cycle
ระบบพลังความร้อนร่วม
integrated gasi cation combined cycle (IGCC)
กระบวนการความร้อนร่วมการแกซิฟาย
auxiliary equipment
อุปกรณ์สนับสนุนต่าง ๆ
NO_x reduction
การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์
air separator unit (ASU)
หน่วยแยกอากาศ
cyclone
ไซโคลน, เครื่องแยกแรงเหวี่ยง
electrostatic precipitator (ESP)
เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต, อีเอสพี
flue gas desulfurization (FGD)
ดีซัลฟิวไรเซชั่นของแก๊สทิ้ง
heat recovery steam generator (HRSG)
หน่วยผลิตไอน้ำจากการนำกลับความร้อน
scrubber
เครื่องฟอกแก๊ส
thermodynamic cycle
วัฏจักรเทอร์โมไดนามิก
Rankine cycle
วัฏจักรแรงคิน
regenerative cycle
วัฏจักรอุ่นซ้ำ
turbine
กังหัน
gas turbine
กังหันแก๊ส
steam turbine
กังหันไอน้ำ
boiler
หม้อไอน้ำ
slagging
การเกิดสแลก, การเกิดกากถลุง
by-product
ผลผลิตพลอยได้
dioxin
ไดออกซิน
hydrogen sulfide
ไฮโดรเจนซัลไฟด์, แก๊สไข่เน่า
nitrogen oxides
แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์
particulate matter
ฝุ่นละออง
phenolic compounds
สารประกอบฟีนอลิก
polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)
ไฮโดรคาร์บอนชนิดอะโรมาติกหลายวง
sulfur oxides
แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์
tar
ทาร์, น้ำมันดิน

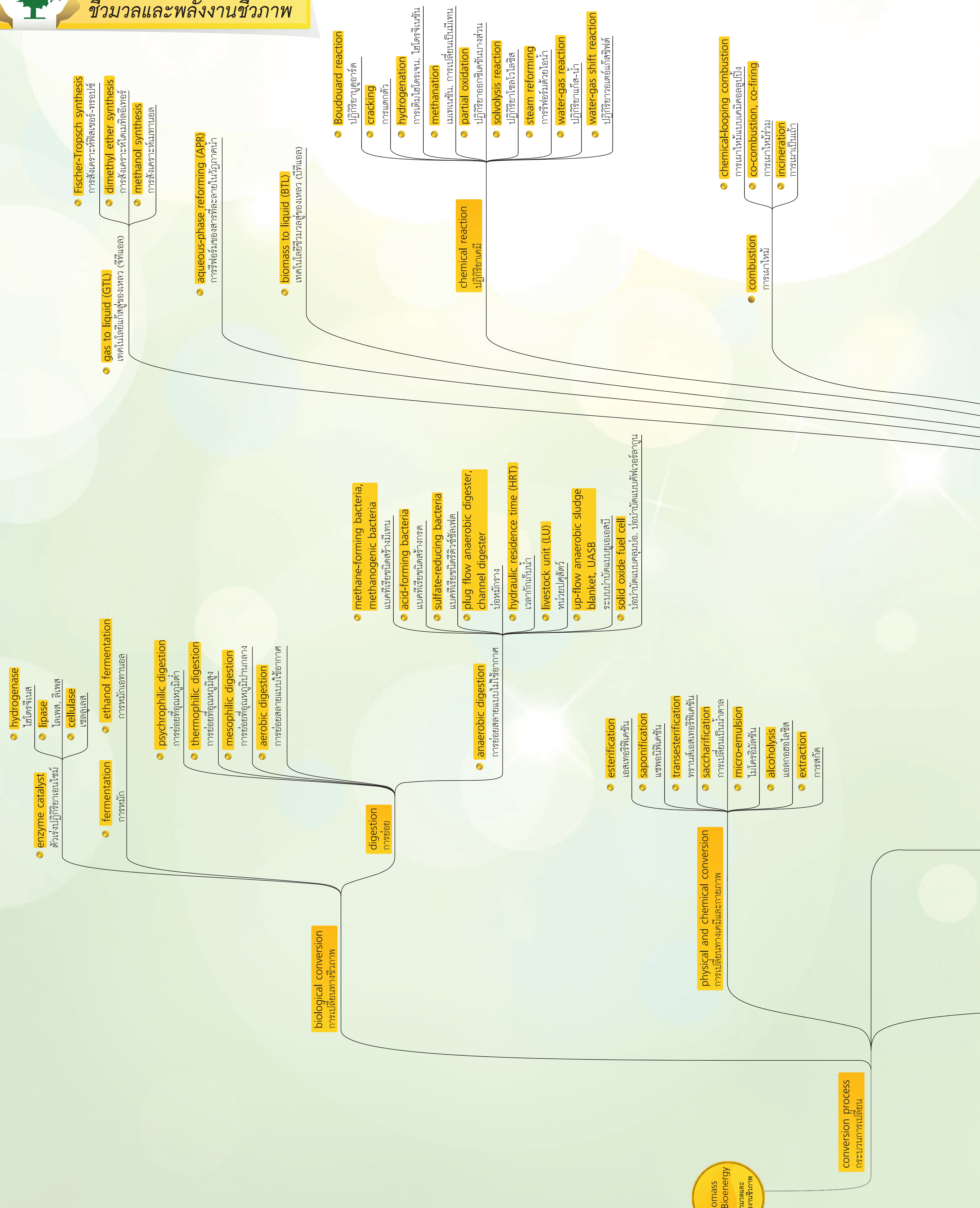


conversion process
กระบวนการเปลี่ยน
biological conversion
การเปลี่ยนทางชีวภาพ
enzyme catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์
hydrogenase
ไฮโดรจีเนส
lipase
ไลเพส, ลิเพส
cellulase
เซลลูเลส
fermentation
การหมัก
ethanol fermentation
การหมักเอทานอล
digestion
การย่อย
psychrophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิต่ำ
thermophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิสูง
mesophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิปานกลาง
aerobic digestion
การย่อยสลายแบบใช้อากาศ
anaerobic digestion
การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ
methane-forming bacteria, methanogenic bacteria
แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน
acid-forming bacteria
แบคทีเรียชนิดสร้างกรด
sulfate-reducing bacteria
แบคทีเรียชนิดรีดิวซ์ซัลเฟต
plug flow anaerobic digester, channel digester
บ่อหมักราง
hydraulic residence time (HRT)
เวลากักเก็บน้ำ
livestock unit (LU)
หน่วยปศุสัตว์
up-flow anaerobic sludge blanket, UASB
ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี
anaerobic covered lagoon
บ่อบำบัดแบบคลุมบ่อ, บ่อบำบัดแบบคัฟเวอร์ลากูน
physical and chemical conversion
การเปลี่ยนทางเคมีและกายภาพ
esterification
เอสเทอริฟิเคชัน
saponification
แซพอนิฟิเคชัน
transesterification
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
saccharification
การเปลี่ยนเป็นน้ำตาล
micro-emulsion
ไมโครอิมัลชัน
alcoholysis
แอลกอฮอไลซิส
extraction
การสกัด
thermochemical conversion
การเปลี่ยนทางอุณหเคมี
gas to liquid (GTL)
เทคโนโลยีแก๊สสู่ของเหลว (จีทีแอล)
Fischer-Tropsch synthesis
การสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์
dimethyl ether synthesis
การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์
methanol synthesis
การสังเคราะห์เมทานอล
aqueous-phase reforming (APR)
การรีฟอร์มของสารที่ละลายในวัฏภาคน้ำ
biomass to liquid (BTL)
เทคโนโลยีชีวมวลสู่ของเหลว (บีทีแอล)
chemical reaction
ปฏิกิริยาเคมี
Boudouard reaction
ปฏิกิริยาบูดูอาร์ด
cracking
การแตกตัว
hydrogenation
การเติมไฮโดรเจน, ไฮโดรจิเนชัน
methanation
เมเทเนชัน, การเปลี่ยนเป็นมีเทน
partial oxidation
ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน
solvolysis reaction
ปฏิกิริยาโซลโวไลซิส
steam reforming
การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ
water-gas reaction
(เติมขีดกลางตรง water-gas)
water-gas shift reaction
ปฏิกิริยาวอเตอ์แก๊สชิฟต์
combustion
การเผาไหม้
chemical-looping combustion
การเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิ้ง
co-combustion, co-firing
การเผาไหม้ร่วม
incineration
การเผาเป็นเถ้า
gasification
การแกซิฟาย, แกซิฟิเคชัน, การแปรสภาพเป็นแก๊ส
air-blown gasification
การแกซิฟายแบบเป่าอากาศ
allothermal gasification
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอก
autothermal gasification
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายใน
cold gas efficiency (CGE)
ประสิทธิภาพที่สภาวะมาตรฐาน
equivalent ratio
อัตราส่วนสมมูล
gasifier
เตาแกซิฟาย, แก๊สซิฟายเออร์
hydrogasification
การแกซิฟายด้วยไฮโดรเจน
oxygen-blown gasification
การแกซิฟายแบบเป่าออกซิเจน
plasma gasification
การแกซิฟายด้วยพลาสมา
steam gasification
การแกซิฟายด้วยไอน้ำ
supercritical water gasification (SCWG)
การแกซิฟายด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต
supercritical fluid
ของไหลภาวะเหนือวิกฤต
hot-compressed water, liquid-hot water, autohydrolysis
ออโตไฮโดรไลซิสด้วยน้ำร้อนอัดความดัน
pyrolysis
การไพโรไลส์, ไพโรไลซิส
carbonization
การคาร์บอไนซ์
coalification
การแปรสภาพเป็นถ่านหิน
fast pyrolysis
การไพโรไลส์แบบเร็ว
flash pyrolysis
การไพโรไลส์แบบสั้นมาก
hydropyrolysis
การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน
hydrothermal process
กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
hydrous pyrolysis
การไพโรไลส์ด้วยน้ำ
slow pyrolysis
การไพโรไลส์แบบช้า
torrefaction
การทอร์รีฟาย
ultra-rapid pyrolysis
การไพโรไลส์แบบเร็วยิ่งยวด
steam explosion
การระเบิดด้วยไอน้ำ
hydrogen donor
ตัวให้ไฮโดรเจน
catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยา
heterogeneous catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์
homogeneous catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์
alkaline catalyst, sodium hydroxide
ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส, โซเดียมไฮดรอกไซด์

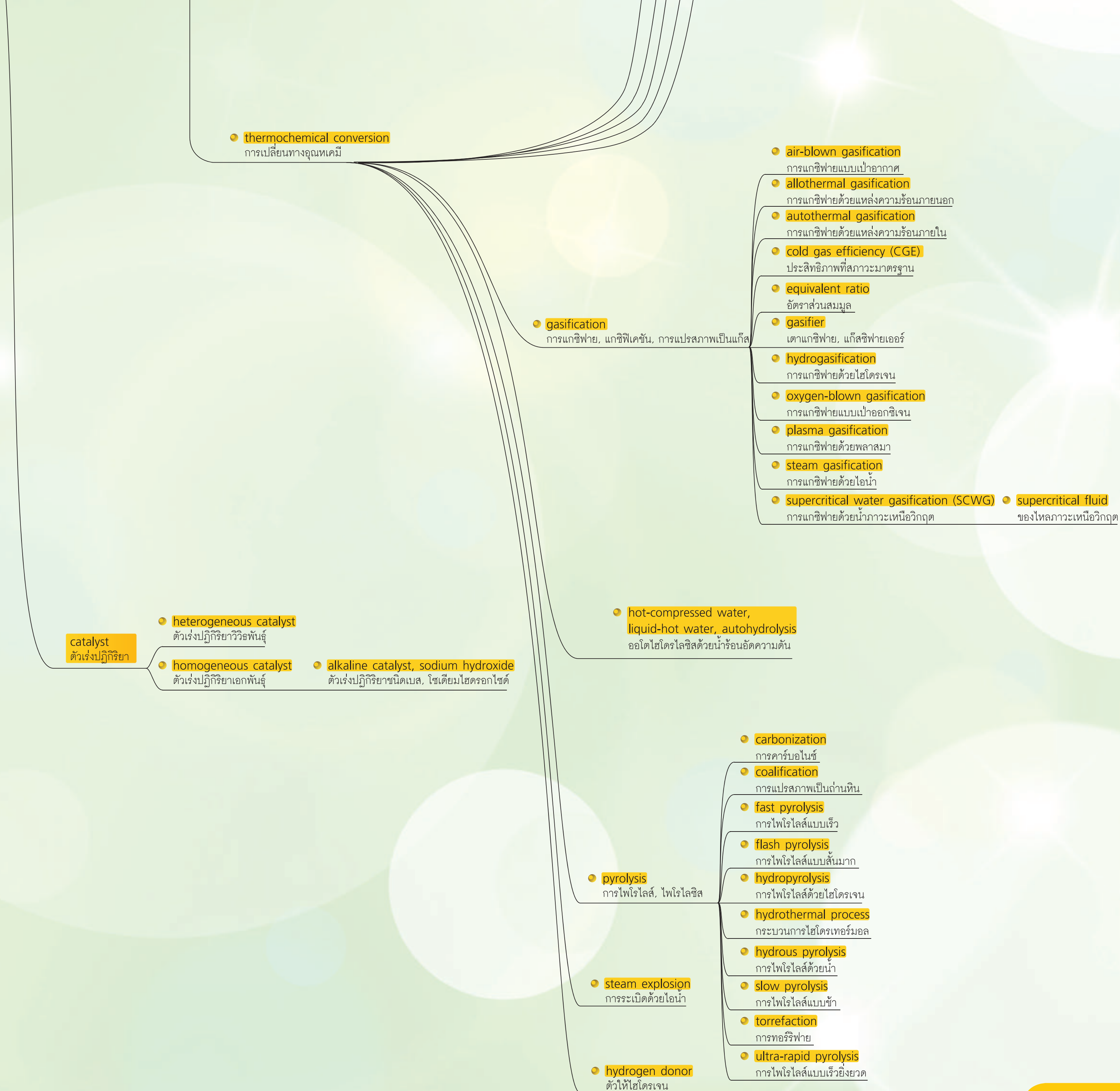

Biomass and Bioenergy
ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
general
ทั่วไป
biorefinery
โรงกลั่นชีวภาพ
environmental issue
ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม
greenhouse effect
ปรากฏการณ์เรือนกระจก
carbon credit
คาร์บอนเครดิต
carbon footprint
คาร์บอนฟุตพริ้นท์, รอยเท้าคาร์บอน
carbon dioxide
คาร์บอนไดออกไซด์
carbon cycle
วัฏจักรคาร์บอน
deforestation
การทำลายป่า
reforestation
การฟื้นฟูป่า
greenhouse gases (GHG)
แก๊สเรือนกระจก
photosynthesis
การสังเคราะห์ด้วยแสง
afforestation
การปลูกป่า
technical definition
นิยามทางเทคนิค
adiabatic flame temperature, theoretical flame temperature
อุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติก, อุณหภูมิเปลวไฟตามทฤษฎี
critical temperature
อุณหภูมิวิกฤต
critical Pressure
ความดันวิกฤต
critical Point
จุดวิกฤต
Boyle's law
กฎของบอยล์
energy issue
ประเด็นด้านพลังงาน
renewable energy
พลังงานหมุนเวียน
bioenergy
พลังงานชีวภาพ
alternative energy
พลังงานทดแทน, พลังงานทางเลือก
fuel equivalent power
กำลังเทียบเท่าของเชื้อเพลิง
feedstock
สารป้อน
biomass
ชีวมวล
analysis and property
สมบัติและการวิเคราะห์
ash
เถ้า
proximate analysis
การวิเคราะห์แบบประมาณ
ultimate analysis
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ
volatile matter
สารระเหย
preparation
การเตรียม
chipping
การสับหรือตัด
pelletization
การอัดแท่ง
sorting
การแยกจำพวก
agricultural product
ผลผลิตทางการเกษตร
kra thin te pha, brown salwood
กระถินเทพา
leucaena
กระถินยักษ์
bagasse
ชานอ้อย
bark
เปลือกไม้
cassava, tapioca
มันสำปะหลัง
coconut
มะพร้าว
corn, maize
ข้าวโพด
cotton
ฝ้าย
eucalyptus timber
ไม้ยูคาลิปตัส
jatropha, physic nut
สบู่ดำ
natural rubber, NR
ยางธรรมชาติ
para rubber
ยางพารา
para timber
ไม้ยางพารา
rice husk, paddy husk
แกลบ
rice straw
ฟางข้าว
rice
ข้าว
sugarcane
อ้อย
wattle
กระถินณรงค์
wheat
ข้าวสาลี
grass and weed
หญ้าและวัชพืช
napier grass
หญ้าเนเปียร์, หญ้าช้าง
switchgrass
หญ้าสวิตช์แกรส
water hyacinth
ผักตบชวา
willow
หลิว
oil crop
พืชน้ำมัน
algae
สาหร่าย
microalgae
จุลสาหร่าย
rapeseed
เมล็ดเรพ
oil palm
ปาล์มน้ำมัน
refined bleached deodorized palm oil
น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
refined vegetable oil
น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธี
soybean
ถั่วเหลือง
sunflower
ทานตะวัน
used cooking oil
น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว
chemical compounds
สารประกอบเคมี
unsaturated fatty acid
กรดไขมันไม่อิ่มตัว
triglyceride, triacylglycerol
ไตรกลีเซอไรด์, ไตรเอซิลกลีเซอรอล
saturated fatty acid
กรดไขมันอิ่มตัว

- waste
  ของเหลือทิ้ง
  - agricultural wastes, agricultural residue
    วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
  - animal manure
    มูลสัตว์
  - black liquor
    แบล็กลิเคอร์
  - forest biomass, forest residue
    ชีวมวลจากป่า, ของเหลือทิ้งจากป่า
  - molasses
    กากน้ำตาล
  - municipal solid waste (MSW)
    ขยะชุมชน
  - refused derived fuel (RDF)
    เชื้อเพลิงขยะ
  - sawdust
    ขี้เลื่อย
  - sewage sludge
    กากตะกอนน้ำเสีย, กากตะกอนจุลินทรีย์
  - waste tire
    ยางรถยนต์ใช้แล้ว
  - wastewater from agro-industries
    น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร
- energy crop
  พืชพลังงาน
- extruded log
  ฟืนเทียม
- fast growing tree
  ไม้โตเร็ว
- lignocellulosic biomass
  ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส
  - cellulose
    เซลลูโลส
    - α-cellulose
      แอลฟาเซลลูโลส
    - β-cellulose
      บีตาเซลลูโลส
    - γ-cellulose
      แกมมาเซลลูโลส
  - hemicellulose
    เฮมิเซลลูโลส
  - holocellulose
    โฮโลเซลลูโลส
  - lignin
    ลิกนิน
- organic matter
  อินทรียวัตถุ
- carbohydrate
  คาร์โบไฮเดรต
  - starch
    แป้ง
    - amylopectin
      แอมิโลเพกทิน
    - amylose
      แอมิโลส
  - monosaccharide
    น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว
  - disaccharide
    น้ำตาลโมเลกุลคู่
  - oligosaccharide
    โอลิโกแซ็กคาไรด์, น้ำตาลโมเลกุลสั้น
  - polysaccharide, glycans
    พอลิแซ็กคาไรด์, ไกลแคน
    - heteropolysaccharide, heteroglycans
      เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์, เฮเทอโรไกลแคน
    - homopolysaccharide, homoglycans
      โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์, โฮโมไกลแคน

- power generation
  การผลิตไฟฟ้า
  - advanced process
    กระบวนการขั้นสูง
    - cogeneration, combined heat and power (CHP)
      การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม
    - combined cycle
      ระบบพลังความร้อนร่วม
    - integrated gasi cation combined cycle (IGCC)
      กระบวนการความร้อนร่วมการแกซิฟาย
  - auxiliary equipment
    อุปกรณ์สนับสนุนต่างๆ
    - NO_x reduction
      การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์
    - air separator unit (ASU)
      หน่วยแยกอากาศ
    - cyclone
      ไซโคลน, เครื่องแยกแรงเหวี่ยง
    - electrostatic precipitator (ESP)
      เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต, อีเอสพี
    - flue gas desulfurization (FGD)
      ดีซัลฟิวไรเซชันของแก๊สทิ้ง
    - heat recovery steam generator (HRSG)
      หน่วยผลิตไอน้ำจากการนำกลับความร้อน
    - scrubber
      เครื่องฟอกแก๊ส
  - thermodynamic cycle
    วัฏจักรเทอร์โมไดนามิก
    - Rankine cycle
      วัฏจักรแรงคิน
    - regenerative cycle
      วัฏจักรอุ่นซ้ำ
  - turbine
    กังหัน
    - gas turbine
      กังหันแก๊ส
    - steam turbine
      กังหันไอน้ำ
  - boiler
    หม้อไอน้ำ
  - slagging
    การเกิดสแลก, การเกิดกากถลุง
- by-product
  ผลผลิตพลอยได้
  - dioxin
    ไดออกซิน
  - hydrogen sulfide
    ไฮโดรเจนซัลไฟด์, แก๊สไข่เน่า
  - nitrogen oxides
    แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์
  - particulate matter
    ฝุ่นละออง
  - phenolic compounds
    สารประกอบฟีนอลิก
  - polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)
    ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอโรแมติกหลายวง
  - sulfur oxides
    แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์
  - tar
    ทาร์, น้ำมันดิน



Biomass and Bioenergy
ชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
conversion process
กระบวนการเปลี่ยน
biological conversion
การเปลี่ยนทางชีวภาพ
enzyme catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์
hydrogenase
ไฮโดรจีเนส
lipase
ไลเพส, ลิเพส
cellulase
เซลลูเลส
fermentation
การหมัก
ethanol fermentation
การหมักเอทานอล
digestion
การย่อย
psychrophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิต่ำ
thermophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิสูง
mesophilic digestion
การย่อยที่อุณหภูมิปานกลาง
aerobic digestion
การย่อยสลายแบบใช้อากาศ
anaerobic digestion
การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ
methane-forming bacteria, methanogenic bacteria
แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน
acid-forming bacteria
แบคทีเรียชนิดสร้างกรด
sulfate-reducing bacteria
แบคทีเรียชนิดรีดิวซ์ซัลเฟต
plug flow anaerobic digester, channel digester
บ่อหมักราง
hydraulic residence time (HRT)
เวลากักเก็บน้ำ
livestock unit (LU)
หน่วยปศุสัตว์
up-flow anaerobic sludge blanket, UASB
ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี
solid oxide fuel cell
บ่อบำบัดแบบคลุมบ่อ, บ่อบำบัดแบบคัฟเวอร์ลากูน
physical and chemical conversion
การเปลี่ยนทางเคมีและกายภาพ
esterification
เอสเทอริฟิเคชัน
saponification
แซพอนิฟิเคชัน
transesterification
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
saccharification
การเปลี่ยนเป็นน้ำตาล
micro-emulsion
ไมโครอิมัลชัน
alcoholysis
แอลกอฮอไลซิส
extraction
การสกัด
gas to liquid (GTL)
เทคโนโลยีแก๊สสู่ของเหลว (จีทีแอล)
Fischer-Tropsch synthesis
การสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์
dimethyl ether synthesis
การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์
methanol synthesis
การสังเคราะห์เมทานอล
aqueous-phase reforming (APR)
การรีฟอร์มของสารที่ละลายในวัฏภาคน้ำ
biomass to liquid (BTL)
เทคโนโลยีชีวมวลสู่ของเหลว (บีทีแอล)
chemical reaction
ปฏิกิริยาเคมี
Boudouard reaction
ปฏิกิริยาบูดูอาร์ด
cracking
การแตกตัว
hydrogenation
การเติมไฮโดรเจน, ไฮโดรจิเนชัน
methanation
เมทาเนชัน, การเปลี่ยนเป็นมีเทน
partial oxidation
ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน
solvolysis reaction
ปฏิกิริยาโซลโวไลซิส
steam reforming
การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ
water-gas reaction
ปฏิกิริยาแก๊ส-น้ำ
water-gas shift reaction
ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์
combustion
การเผาไหม้
chemical-looping combustion
การเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิง
co-combustion, co-firing
การเผาไหม้ร่วม
incineration
การเผาเป็นเถ้า


thermochemical conversion
การเปลี่ยนทางอุณหเคมี
gasification
การแกซิฟาย, แกซิฟิเคชัน, การแปรสภาพเป็นแก๊ส
air-blown gasification
การแกซิฟายแบบเป่าอากาศ
allothermal gasification
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอก
autothermal gasification
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายใน
cold gas efficiency (CGE)
ประสิทธิภาพที่สภาวะมาตรฐาน
equivalent ratio
อัตราส่วนสมมูล
gasifier
เตาแกซิฟาย, แก๊สซิฟายเออร์
hydrogasification
การแกซิฟายด้วยไฮโดรเจน
oxygen-blown gasification
การแกซิฟายแบบเป่าออกซิเจน
plasma gasification
การแกซิฟายด้วยพลาสมา
steam gasification
การแกซิฟายด้วยไอน้ำ
supercritical water gasification (SCWG)
การแกซิฟายด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต
supercritical fluid
ของไหลภาวะเหนือวิกฤต
hot-compressed water,
liquid-hot water, autohydrolysis
ออโตไฮโดรไลซิสด้วยน้ำร้อนอัดความดัน
pyrolysis
การไพโรไลส์, ไพโรไลซิส
carbonization
การคาร์บอไนซ์
coalification
การแปรสภาพเป็นถ่านหิน
fast pyrolysis
การไพโรไลส์แบบเร็ว
flash pyrolysis
การไพโรไลส์แบบสั้นมาก
hydropyrolysis
การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน
hydrothermal process
กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
hydrous pyrolysis
การไพโรไลส์ด้วยน้ำ
slow pyrolysis
การไพโรไลส์แบบช้า
torrefaction
การทอร์รีฟาย
ultra-rapid pyrolysis
การไพโรไลส์แบบเร็วยิ่งยวด
steam explosion
การระเบิดด้วยไอน้ำ
hydrogen donor
ตัวให้ไฮโดรเจน
catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยา
heterogeneous catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์
homogeneous catalyst
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์
alkaline catalyst, sodium hydroxide
ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส, โซเดียมไฮดรอกไซด์

α-cellulose แอลฟาเซลลูโลส

องค์ประกอบของเซลลูโลสในธรรมชาติที่มีความแข็งแรงมาก ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถือว่าเป็นปริมาณเซลลูโลสที่แท้จริงซึ่งใช้บอกคุณภาพของวัตถุดิบในอุตสาหกรรมกระดาษ

β-cellulose บีตาเซลลูโลส

องค์ประกอบของเซลลูโลสในธรรมชาติที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และสามารถตกตะกอนได้เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด

γ-cellulose แกมมาเซลลูโลส

องค์ประกอบของเซลลูโลสในธรรมชาติที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถตกตะกอนได้เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด

เส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์เกรดการค้า

acid-forming bacteria แบคทีเรียชนิดสร้างกรด

กลุ่มแบคทีเรียซึ่งย่อยสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำให้เป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดมด (formic acid) และกรดน้ำส้ม (acetic acid) ประกอบด้วยสกุล (genus) Psudomonas, Flavobacteria, Aerobactor และ Escherichia สารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (ดู monosaccharide) แป้ง (ดู starch) เซลลูโลส (ดู cellulose) กรดไขมัน (ดู fatty acid) โปรตีนและกรดแอมิโน (amino acid) เป็นขั้นตอนแรกในการย่อยเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเป็นสารอาหารของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (ดู methane-forming bacteria) ในขั้นตอนถัดไป

adiabatic flame temperature, theoretical flame temperature อุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติก, อุณหภูมิเปลวไฟตามทฤษฎี

อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ที่อัตราส่วนระหว่างอากาศหรือออกซิเจน กับเชื้อเพลิงตามทฤษฎี และไม่มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติกปริมาตรคงที่ (constant volume-adiabatic flame temperature) และอุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติกความดันคงที่ (constant pressure adiabatic-flame temperature) ซึ่งมักมีค่าต่ำกว่าแบบแรก เนื่องจากพลังงานจากการเผาไหม้บางส่วนถูกใช้ในการเปลี่ยนปริมาตรของระบบ หรือเกิดงานขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

aerobic digestion การย่อยสลายแบบใช้อากาศ

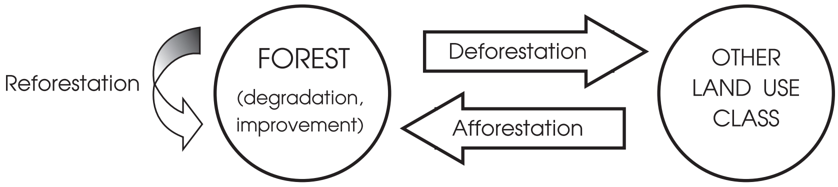
กระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งใช้ออกซิเจนอิสระ (aerobes) เป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และน้ำ (ดู water) โดยไม่เกิดมีเทน (ดู methane) นิยมใช้บำบัดน้ำเสียในบ่อเปิด โดยต้องมีอุปกรณ์เติมอากาศ เช่น กังหันหรือปั๊ม เพื่อพ่นน้ำตลอดเวลาต่อเนื่องกันหลายวัน จึงต้องใช้พลังงานมาก จากปัญหารุนแรงของน้ำเน่าเสียในแหล่งน้ำธรรมชาติในช่วงปี พ.ศ. 2527-2530 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงห่วงใยต่อพสกนิกรที่ต้องเผชิญปัญหา ในปี พ.ศ. 2531 จึงทรงประดิษฐ์กังหันน้ำชัยพัฒนาเพื่อเติมอากาศที่ผิวน้ำ ต่อมาได้รับการพัฒนารูปแบบให้เหมาะกับการใช้งาน และเป็นที่นิยมแพร่หลายใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำในสระน้ำ บ่อน้ำ หนองน้ำและคลองต่าง ๆ ได้ผลดีมาก

กังหันน้ำชัยพัฒนา

afforestation การปลูกป่า

การสร้างผืนป่าหรือปลูกต้นไม้บนพื้นที่ที่ไม่เคยเป็นป่ามาก่อน ซึ่งใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 50 ปี โดยการปลูก หว่านเมล็ด และหรือการส่งเสริมให้ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติ ใช้เป็นโครงการขยายพื้นที่สีเขียวสนับสนุนการดูดซับคาร์บอน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการฟื้นฟูป่า ตัวอย่างเช่น โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดฉะเชิงเทรา โครงการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริในสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งพื้นที่อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ สวนป่านิเวศระยองวนารมย์ โดย กลุ่ม ปตท. เป็นต้น

การปลูกป่าตามแนวพระราชดำริ



นิยามและความสัมพันธ์ของการปลูกป่า การฟื้นฟูป่า และการทำลายป่า

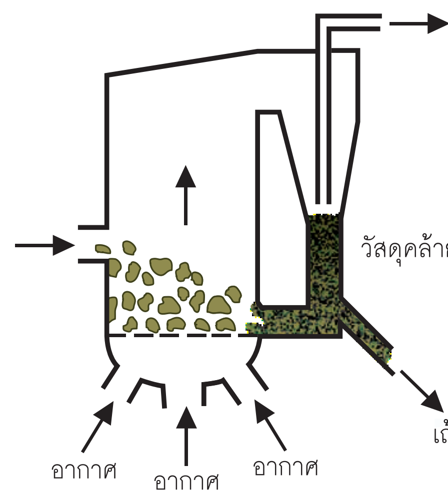
agricultural wastes, agricultural residue วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในด้านต่างๆ เช่น การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชผัก และผลไม้ การเลี้ยงสัตว์ และการประมง เป็นต้น ส่วนใหญ่ได้แก่ พืช หญ้า เศษไม้ยางพารา แกลบ ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง ชานอ้อย มูลสัตว์ เศษอาหารสัตว์ เป็นต้น ประเภทพืชตระกูลหญ้าส่วนใหญ่มีโฮโลเซลลูโลส (ดู holocellulose) เป็นองค์ประกอบ และมีลิกนิน (ดู lignin) เล็กน้อยหรือไม่มีเลย อ้อยมีเซลลูโลส (ดู cellulose) ร้อยละ 25-40 เฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) ร้อยละ 25-50 และลิกนินร้อยละ 10-30 ส่วนพืชอื่นๆ เช่น ใยฝ้าย มีเซลลูโลสร้อยละ 80-95 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 5-20 และไม่มีลิกนินเลย มีโปรตีนร้อยละ 1.3 ต้นข้าวโพดมีลิกนินเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น ส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายได้จึงนิยมนำมาไถกลบลงบนพื้นที่ทำการเพาะปลูกมีศักยภาพใช้เป็นพลังงานทดแทน เช่น การใช้ชานอ้อย ใบอ้อย เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตน้ำตาล เป็นต้น

วัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการเกษตร

air-blown gasification การแกซิฟายแบบเป่าอากาศ

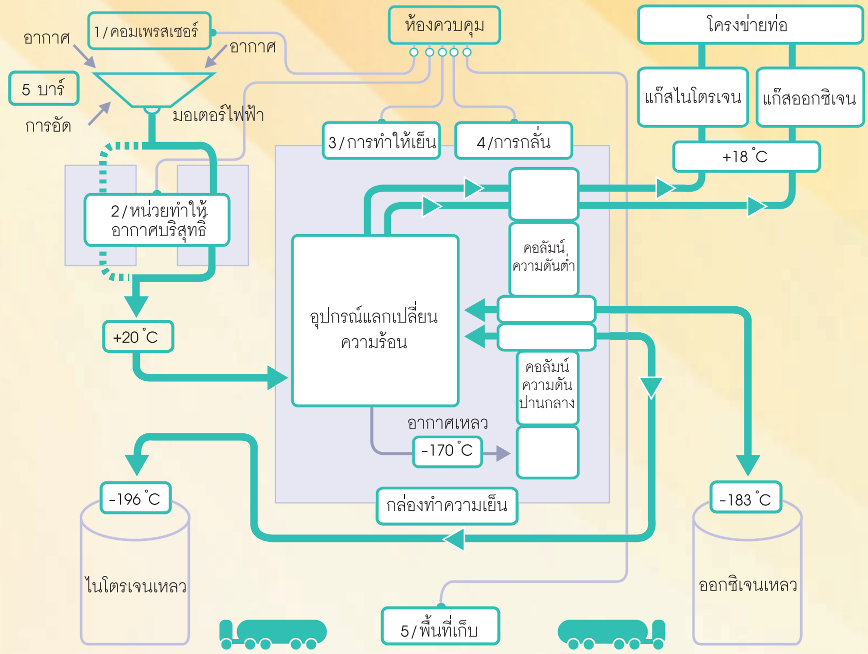
การแกซิฟาย (ดู gasification) โดยป้อนอากาศเป็นแหล่งออกซิเจนให้กระบวนการแทนการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ นิยมใช้กับการแกซิฟายเชื้อเพลิงแข็งจำพวกชีวมวล (ดู biomass) ที่มีกำลังการผลิตแก๊สไม่สูง เพราะไม่คุ้มกับการลงทุนติดตั้งหน่วยแยกอากาศ (ดู air separation unit (ASU)) แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีไนโตรเจนจากอากาศผสมอยู่ ไม่เหมาะสำหรับเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกังหันแก๊ส (ดู gas turbine) แต่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แก๊ส (gas engine) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ผลิตไอน้ำได้



โครงสร้างของเตาแกซิฟายฟลูอิไดซ์เบดที่ใช้อากาศเป่า

air separator unit (ASU) หน่วยแยกอากาศ

อุปกรณ์แยกองค์ประกอบของไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สหายาก เช่น อาร์กอนที่ปะปนอยู่ออกจากอากาศ ใช้ในโรงงานผลิตไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอนบริสุทธิ์ ติดตั้งในโรงงานผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินที่ใช้เตาเผาหรือเตาแกซิฟาย (ดู gasifier) ที่ต้องการออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศ เทคโนโลยีที่นิยมใช้ คือ การแยกโดยใช้การกลั่นเยือกแข็ง (cryogenic distillation) ซึ่งได้รับการพัฒนานานกว่า 75 ปี เทคนิคอื่นๆ เช่น การดูดซับความดันสลับ (pressure swing adsorption (PSA)) และการใช้เมมเบรนพอลิเมอร์ (polymeric membrane) แต่เป็นระบบขนาดเล็กที่ต้องการความบริสุทธิ์ของออกซิเจนไม่สูงมาก ไม่นิยมติดตั้งในโรงงานขนาดใหญ่



ระบบแยกอากาศแบบการกลั่นเยือกแข็ง

alcoholysis แอลกอฮอไลซิส

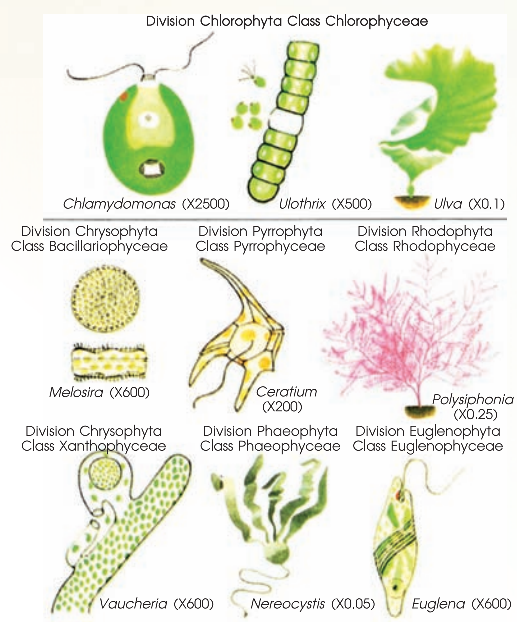
ปฏิกิริยาการแยกโครงสร้างของสารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ โดยใช้แอลกอฮอล์ ได้ผลผลิตเป็นแอลคิลเอสเทอร์ และแอลกอฮอล์ชนิดใหม่ ในภาวะปกติเกิดได้ช้า เร่งปฏิกิริยาได้ด้วยกรด เบส หรือเอนไซม์ มีกลไกการเกิดเช่นเดียวกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) กับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

$$R-C(=O)OR' + R''O-H \xrightarrow{H^+} R-C(=O)CR'' + R'O-H$$

ปฏิกิริยาแอลกอฮอไลซิสเร่งด้วยกรด

algae สาหร่าย

สิ่งมีชีวิตที่เจริญเติบโตในน้ำจืด และน้ำทะเล อยู่ในอาณาจักรโพรทิสตา (protista) มีลักษณะคล้ายพืช มีคลอโรฟิลล์เอและผนังเซลล์ สามารถสร้างออกซิเจนจากการสังเคราะห์ด้วยแสง (ดู photosynthesis) ได้ เป็นเซลล์แบบยูคาริโอต (eukaryote) อาจเป็นเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ การสืบพันธุ์ของสาหร่ายต่างจากพืช เนื่องจากสาหร่ายทั้งเซลล์ทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์ได้ สาหร่ายที่เป็นสายอาจสร้างเซลล์สืบพันธุ์จากแกมีแทนเจียม (gametangium) ที่เป็นเซลล์เดียว เช่น โอโอโกเนียม (oogonium) และสปอร์สร้างในสปอร์แรงเจียม (sporangium) ซึ่งอาจเป็นเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ แต่ทุกเซลล์จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ สาหร่ายขนาดเล็กหลายสายพันธุ์มีลิปิด (lipid) เป็นส่วนประกอบของเซลล์อาจสูงถึงร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักแห้ง เช่น บอตทรีโยคอคคัส (*Botryococcus braunii*) คลอเรลลา (*Chlorella* sp.) แนนโนคลอริส (*Nannochloris* sp.) แนนโนคลอรอพซิส (*Nannochloropsis*) และนิชเชีย (*Nitzschia* sp.) นิยมนำสาหร่ายคลอเรลลา และแนนโนคลอรอพซิสมาใช้ผลิตน้ำมัน เพราะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นเท่าตัว (doubling time) ใน 40 และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ ต้องการพื้นที่น้อยมาก จึงมีศักยภาพสูง



สาหร่ายชนิดต่าง ๆ

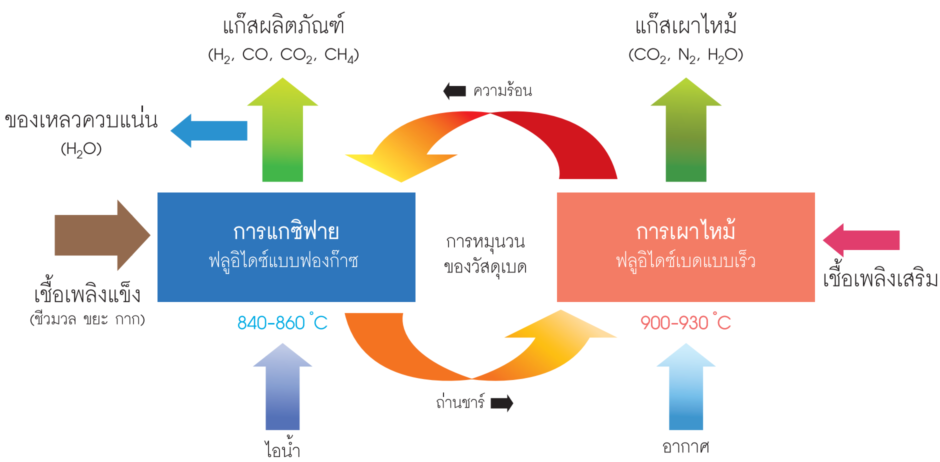
alkaline catalyst, sodium hydroxide ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส, โซเดียมไฮดรอกไซด์

เกลือโลหะแอลคาไลน์ที่เป็นเบสแก่ หมายถึง โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ชื่อสามัญ โซดาไฟ แม้บางครั้งอาจใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นของแข็งสีขาว ไวต่อความชื้น มีฤทธิ์กัดกร่อน ละลายได้ดีในน้ำ ละลายได้บางส่วนในเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) และเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ไม่ละลายในอีเทอร์ และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อ และกระดาษ เส้นใย สบู่ สารซักล้าง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ (ดู homogeneous catalyst) ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ชนิดเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ดู fatty acid methyl esters) ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของน้ำมันพืช หรือไขสัตว์กับเมทานอล เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย เร่งปฏิกิริยาได้ดีในภาวะของปฏิกิริยาไม่รุนแรง และให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูงในระยะเวลาสั้น

โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด

allothermal gasification การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอก

การแกซิฟาย (ดู gasification) ที่ได้รับความร้อนจากแหล่งภายนอกเตาแกซิฟาย (ดู gasifier) การเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเตาเผาที่ถูกออกแบบแยกออกจากเตาแกซิฟาย เชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้อาจเป็นถ่านชาร์จากการสลายตัวของเชื้อเพลิงแข็งจากการแกซิฟายเอง หรือเชื้อเพลิงเพิ่มเติมอื่นๆ เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการแกซิฟายทางอ้อม (indirect gasification)



การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอก

การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอกโดยออกแบบเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแยกจากเตาแกซิฟายเพื่อใช้ปฏิกิริยาเผาไหม้ถ่านชาร์หรือเชื้อเพลิงเสริมให้ความร้อนแก่วัสดุในเบดที่ถูกส่งไปยังเตาแกซิฟาย วัสดุในเบดทำหน้าที่ส่งผ่านความร้อนไปยังปฏิกิริยาดูดความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการแกซิฟาย ส่วนถ่านชาร์ถูกส่งไปยังเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดต่อไป

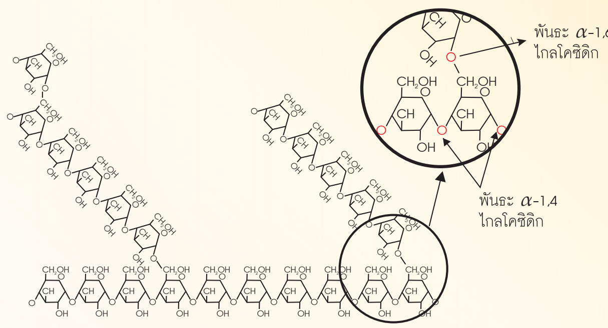
alternative energy พลังงานทดแทน, พลังงานทางเลือก

พลังงานที่นำมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (ดู fossil fuel) สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้ เป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปหรือพลังงานสิ้นเปลือง (depleted resources) ได้แก่ นิวเคลียร์ และ แร่พลังงานอื่น เช่น ยูเรเนียม พลูโตเนียม เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถผลิตขึ้นใหม่แล้วหมุนเวียนมาใช้ได้อีก (renewable resources) ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และ น้ำ เป็นต้น

พลังงานทางเลือกรูปแบบต่าง ๆ

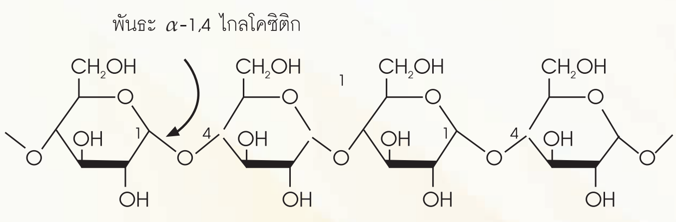
amylopectin แอมิโลเพกทิน

โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (ดู homopolysaccharide, homoglycans) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสจำนวน 2,000-200,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันโดยมีกิ่งสายโซ่พอลิเมอร์ แยกออกที่ความยาวสายโซ่พอลิเมอร์ทุก ๆ 24-30 โมเลกุล กลูโคสเป็นองค์ประกอบในแป้ง (ดู starch) การมีกิ่งสาขาทำให้แอมิโลเพกทินมีปลายสายโซ่พอลิเมอร์จำนวนมาก จึงถูกย่อยด้วยเอนไซม์ง่ายกว่าแอมิโลส (ดู amylose) ซึ่งเป็นเส้นตรง เนื่องจากเอนไซม์เริ่มย่อยที่ปลายสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพืชต้องการใช้พลังงานเพื่อใช้ในเซลล์จะย่อยแอมิโลเพกทินก่อนย่อยแอมิโลส

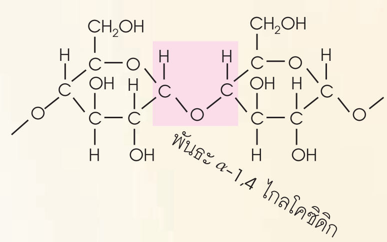


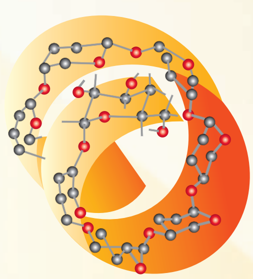
amylose แอมิโลส

โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (ดู homopolysaccharide, homoglycans) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสจำนวน 300-3,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรง เป็นองค์ประกอบในแป้ง (ดู starch) มีกลูโคสเป็นหน่วยย่อยเช่นเดียวกับเซลลูโลส (ดู cellulose) แต่ต่างจากเซลลูโลสที่ชนิดของพันธะระหว่างโมเลกุลกลูโคส ทำให้ใช้เอนไซม์เฉพาะในการย่อยต่างกัน แอมิโลสถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอมิเลส (amylase) ในขณะที่เซลลูโลสถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) แอมิโลสมีโครงสร้างแบบสามมิติเป็นเกลียวเมื่อกระจายอยู่ในเซลล์พืช เนื่องจากแรงดึงดูดของพันธะไฮโดรเจนภายในสายโซ่โมเลกุล



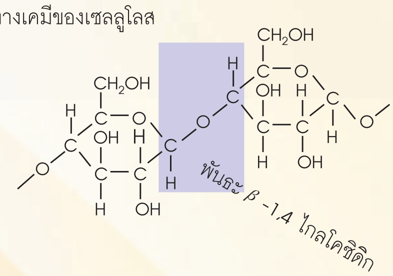
โครงสร้างทางเคมีของแอมิโลส





โครงสร้างของแอมิโลสแบบสามมิติ

โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

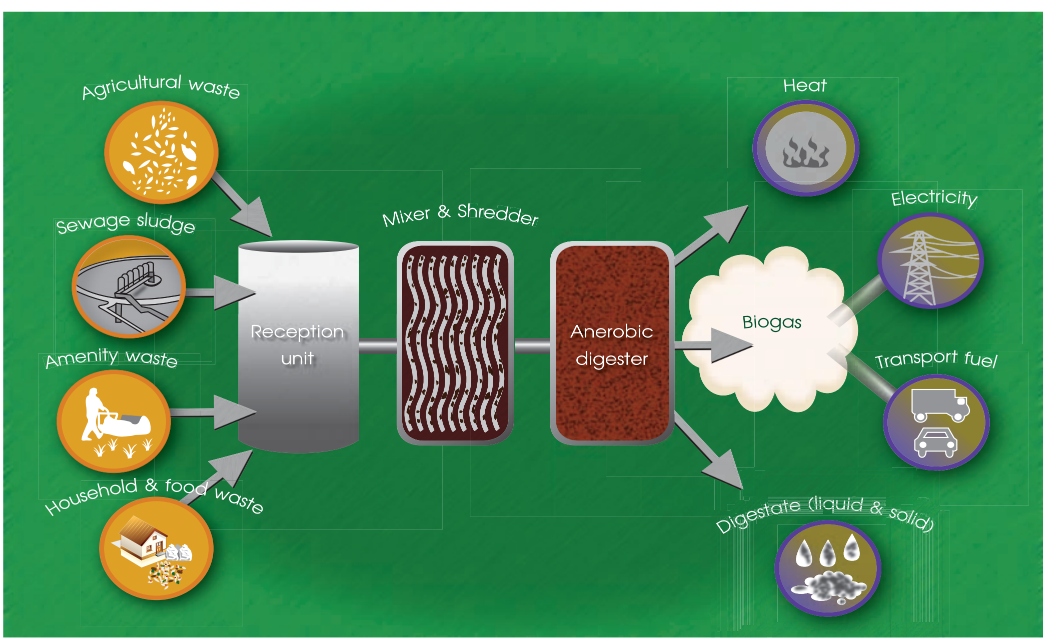


anaerobic covered lagoon บ่อบำบัดแบบคลุมบ่อ, บ่อบำบัดแบบคัฟเวอร์ลากูน

บ่อบำบัดน้ำเสียความลึกไม่น้อยกว่า 6 เมตร คลุมด้วยแผ่นพลาสติกพอลิเอทีลินความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) หรือ พีวีซี (polyvinyl chloride (PVC)) ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) และการสะสมของแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ภายใต้แผ่นพลาสติก ภายในบ่อไม่มีการไหลของน้ำเสีย การกวนและการเติมอากาศ การคลุมพสาติกอาจคลุมทั้งบ่อ หรือเฉพาะส่วนที่เกิดแก๊สชีวภาพ เมื่อตะกอนสะสมถึงปริมาณที่กำหนดบ่อบำบัดต้องขุดลอกเพื่อเพิ่มปริมาตรรับน้ำเสีย

anaerobic digestion การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobes) เป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น ขยะอินทรีย์ประเภทขยะชุมชน มูลสัตว์จากฟาร์มสุกร ฟาร์มไก่ น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร โดยการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศจำพวกแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน หรือเมทาโนเจน (methane-producing bacteria, methanogens) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) ทำให้สารอินทรีย์ย่อยสลายเป็นแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) องค์ประกอบหลักคือ มีเทน (CH_4) (ดู methane) ร้อยละ 50-70 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดู carbon dioxide) ร้อยละ 30-40 นอกจากนั้นเป็นแก๊สชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ดู hydrogen sulfide) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ ในประเทศไทยนำเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศมาใช้ในการบำบัดและผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การเกษตร และหน่วยงานราชการ ตัวอย่างเช่น โครงการส่งเสริมแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม โครงการพัฒนาระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะชุมชน โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และไฟฟ้าเทศบาลนครนครราชสีมา โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพภาคอุตสาหกรรม ปศุสัตว์ และชุมชนของกระทรวงพลังงาน เป็นต้น



กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะชุมชน

ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์และไฟฟ้า
จากขยะชุมชน

การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์
ด้วยระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียโรงงาน

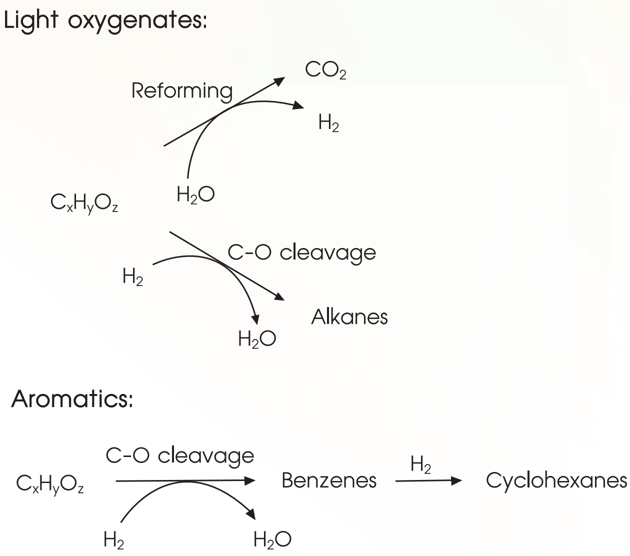
animal manure มูลสัตว์

ของเสียจากระบบทางเดินอาหารของสัตว์ที่ถ่ายออกทางทวารหนัก เป็นสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลาย มีกลิ่นเหม็น และมีแบคทีเรีย เช่น มูลเป็ด มูลไก่ มูลสุกร มูลโค มูลกระบือ มูลช้าง เป็นต้น มูลสัตว์มีปริมาณธาตุอาหารสำหรับพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แตกต่างกันตามชนิดและอายุของสัตว์ ตลอดจนการเก็บรักษา นิยมทำเป็นปุ๋ยคอกและแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้มีการวิจัยพัฒนาและส่งเสริมการนำมูลสัตว์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน อาทิ โครงการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ต่างๆ เช่น ช้าง สุกร กระบือ ม้า ไก่ โค เป็นต้น

มูลสุกร

aqueous-phase reforming (APR) การรีฟอร์มของสารที่ละลายในวัฏภาคน้ำ

ปฏิกิริยาการปรับเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบออกซิเจนที่ละลายในวัฏภาคน้ำอย่างจำเพาะให้กลายเป็นไฮโดรเจนหรือไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเบา เช่น มีเทน (ดู methane) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะกลุ่ม VIII ของธาตุแทรนซิชัน เช่น แพลตินัม และนิกเกิล บนตัวรองรับ เกิดภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย หรือไนโตรเจนที่อุณหภูมิสูง



กลไกการเกิดปฏิกิริยาดีออกซิจิเนชันของน้ำมันชีวภาพ
โดยใช้แพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ash เถ้า

ของแข็งที่เหลือหลังการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแข็ง (solid fuel) และน้ำมันหนัก (heavy oil) เช่น ชีวมวล (ดู biomass) ถ่านหิน น้ำมันเตา เป็นต้น เป็นผงละเอียดขนาดเล็ก สีเทา ประกอบด้วยออกไซด์ของธาตุที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และออกไซด์ของโลหะที่เจือปนอยู่ในเชื้อเพลิง โดยเฉพาะถ่านหิน เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมินา เป็นต้น ในเตาเผาอุตสาหกรรมการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงมีผงหรือชิ้นส่วนเล็ก ๆ สีดำเทาของคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้เจือปนอยู่กับเถ้าออกจากก้นเตาเผาด้วย ปริมาณเถ้าเป็นสมบัติของเชื้อเพลิงแข็งและน้ำมันหนักที่ต้องวิเคราะห์ตามมาตรฐานที่กำหนด


เถ้าชานอ้อย


เถ้าแกลบ


เถ้าถ่านไม้

autothermal gasification การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายใน

การแกซิฟายที่ได้รับความร้อนจากปฏิกิริยาเผาไหม้ของถ่านชาร์หรือเชื้อเพลิง เกิดขึ้นภายในเตาแกซิฟาย โดยป้อนอากาศหรือออกซิเจนปริมาณที่เหมาะสม และต่ำกว่าปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

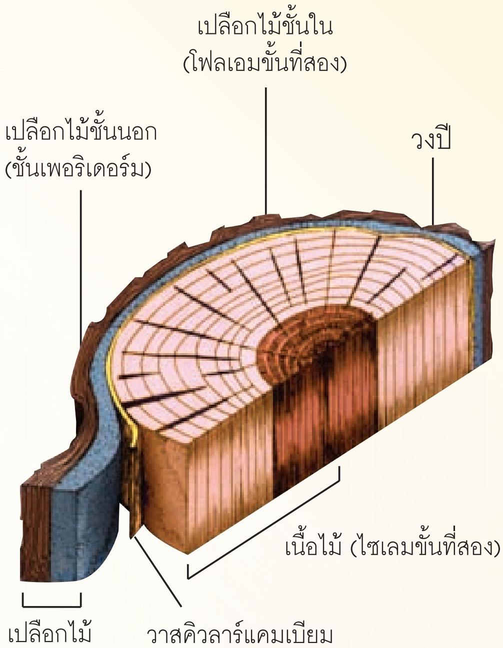
bagasse ชานอ้อย

ส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว มีองค์ประกอบสำคัญ คือ เซลลูโลส (ดู cellulose) ร้อยละ 45-55 เฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) ร้อยละ 20-25 ลิกนิน (ดู lignin) ร้อยละ 18-24 เถ้า (ดู ash) ร้อยละ 1-4 และไขน้อยกว่าร้อยละ 1 เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ อัดเป็นแผ่นทำฝ้าเพดานหรือบุผนัง สกัดสารเฟอร์ฟิวรัล (ดู furfural) มีค่าความร้อนในช่วง 1,500-2,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ใช้เป็นเชื้อเพลิงต้มหม้อน้ำในโรงงานน้ำตาล หรือนำไปผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมสำคัญคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน (ดู methane)


ชานอ้อย

bark เปลือกไม้

ส่วนนอกสุดของลำต้นไม้ยืนต้น ไม่มีการเจริญเติบโตแล้ว ช่วยไม่ให้เนื้อไม้ชั้นถัดไปแห้ง และป้องกันโรคพืช ลอกออกเป็นแผ่นกว้างตามขนาดของลำต้นได้ มีเปลือกชั้นใหม่เจริญอยู่ใต้เปลือกไม้ชั้นเดิม ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) เซลลูโลส (ดู cellulose) และลิกนิน (ดู lignin) เหมือนเนื้อไม้ แต่มีปริมาณลิกนินสูงกว่า เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการแปรรูปไม้เป็นผลิตภัณฑ์ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ อาจแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือถ่าน ประเทศไทยใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (ดู eucalyptus) เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเศษเนื้อไม้ เพราะเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปไม้ยูคาลิปตัสในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

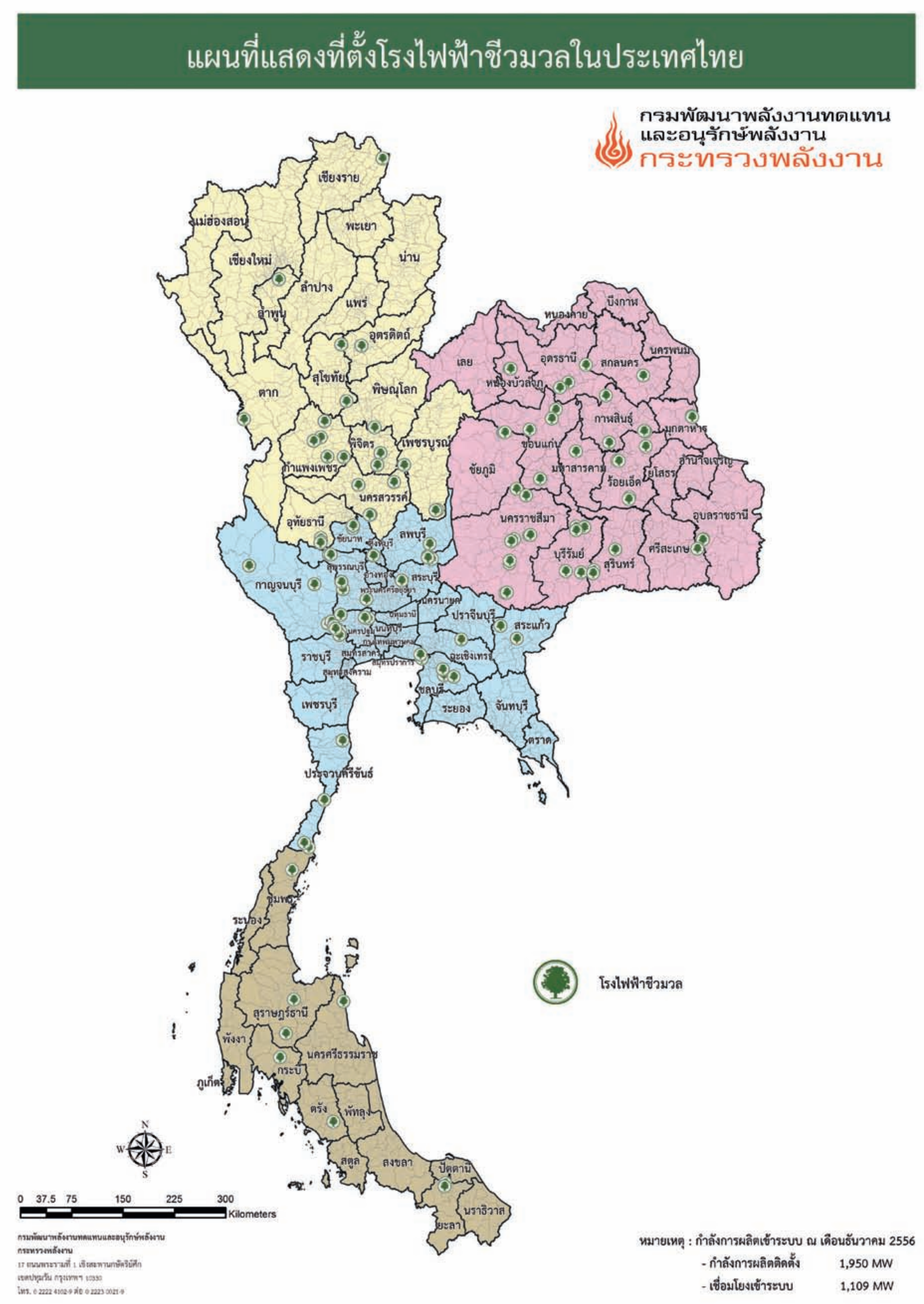


ส่วนประกอบของลำต้นไม้

bioenergy พลังงานชีวภาพ

พลังงานหมุนเวียนที่ได้จากการแปรรูปแหล่งชีวมวล (ดู biomass) ผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การแกซิฟาย (ดู gasification) การผลิตเชื้อเพลิงเหลว (liquefaction) การหมัก (ดู fermentation) และการเผาไหม้ (ดู combustion) เป็นต้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งการผลิตไฟฟ้าและความร้อน ประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานมีการส่งเสริมการใช้พลังงานชีวภาพแบบต่างๆ (จากข้อมูลล่าสุด ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2556) เช่น โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพในภาคปศุสัตว์ มีฟาร์มสุกรเข้าร่วมโครงการกว่า 1,130 แห่ง ผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ได้กว่า 156 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพในภาคอุตสาหกรรม มีโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานแป้ง โรงงานสกัดน้ำมันจากพืช โรงงานเอทานอล โรงงานแปรรูปอาหาร และโรงงานน้ำยางข้น เข้าร่วมโครงการกว่า 150 โรงงาน และโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพในภาคชุมชน มีสถานประกอบการเอกชน เช่น โรงแรม รีสอร์ท โรงอาหาร โรงเรียน และกรมราชทัณฑ์เข้าร่วมโครงการ เน้นการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร จำนวนกว่า 30 แห่ง นอกจากนี้จากข้อมูลการสำรวจของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) (กันยายน 2556) พบว่ามีโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบ 120 แห่ง และโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ 101 แห่งทั่วประเทศ

การผลิตแก๊สชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์



แผนที่แสดงที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทย (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม 2556) ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ http://www.dede.go.th

biomass ชีวมวล

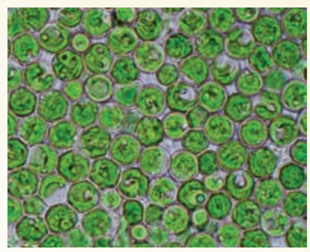
มวลของพืชหรือวัสดุจากพืชชนิดต่างๆ ทั้งบนพื้นดิน ในน้ำ และในทะเล รวมสิ่งมีชีวิตขั้นต่ำ เช่น แบคทีเรีย รา แพลงก์ตอน สาหร่าย ส่าเหล้า ที่ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ ตลอดจนมูลสัตว์และของเสียอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ชานอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ (แสงอาทิตย์) ในรูปของสารอินทรีย์ที่สำคัญมาก ธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน มีกำมะถันน้อยมาก การวิเคราะห์ธาตุหลักแสดงโดยการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ส่วนการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ความชื้น (moisture) คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) สารระเหย (ดู volatile matter) และเถ้า (ดู ash) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง นอกจากค่าความร้อนและความหนาแน่นเพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการแปรรูปเป็นพลังงานรูปอื่นๆ ด้วย


แกลบ


ชานอ้อย


ทะลายปาล์ม


เศษไม้


จุลสาหร่าย

	Bagasse	Cane trash	Rice husk	Rice straw	Cassava rhizome	Corncob
Proximate analysis (wt% as received)						
Moisture	50.73	9.20	8.20	10.00	59.40	7.00
Volatile	41.98	67.80	58.90	60.70	31.00	70.40
Fixed C	5.86	16.90	19.70	18.90	8.10	21.20
Ash	1.43	6.10	13.20	10.39	1.50	1.40
Elemental analysis (wt% as received)						
C	21.33	41.60	39.10	38.17	18.76	43.70
H	3.06	5.08	4.59	5.02	2.48	5.21
N	0.12	0.40	0.18	0.58	0.32	0.19
O	23.29	37.42	34.70	35.28	17.50	42.50
	Palm oil fiber	Palm oil EFB	Palm oil shell	Rubber wood tree	Eucalyptus tree	Palm oil tree
Proximate analysis (wt% as received)						
Moisture	31.84	58.60	12.00	45.00	50.00	48.40
Volatile	48.61	30.44	68.20	45.70	35.00	38.70
Fixed C	13.20	8.04	16.30	7.71	11.95	11.70
Ash	6.35	2.92	3.50	1.59	3.05	1.20
Elemental analysis (wt% as received)						
C	31.35	15.11	44.44	15.56	13.25	23.89
H	4.57	1.51	5.01	3.19	2.65	3.04
N	0.02	2.57	0.28	0.14	0.19	0.56
O	25.63	19.13	34.70	24.48	20.85	22.91

ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลชนิดต่างๆ (Laohalidanond, K. 2007)

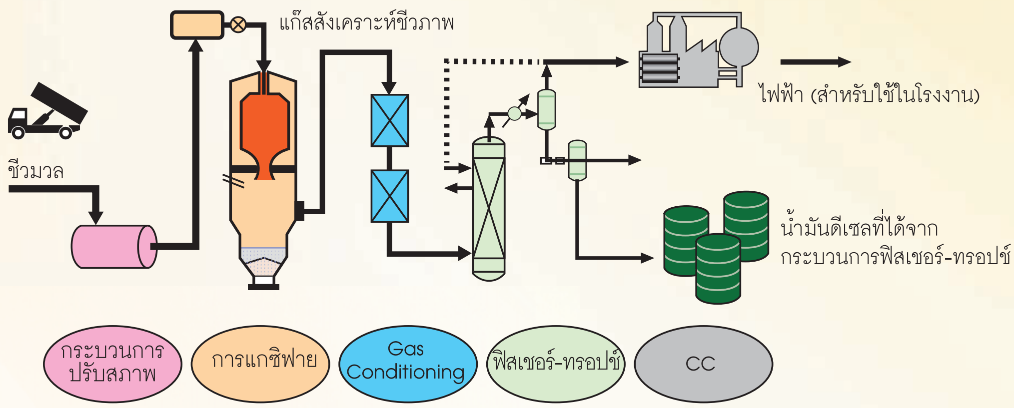
ตารางศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลของแข็ง ปี 2555

หน่วย: พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)						
ชนิด	ชีวมวล	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รวมทั้งประเทศ
อ้อยโรงงาน	ยอดและใบอ้อย	2,254.71	2,901.70	2,517.18	0.00	7,673.59
	ชานอ้อย	1,561.45	2,009.51	1,743.23	0.00	5,314.19
ข้าว	แกลบ	1,006.98	1,143.71	818.59	49.26	3,018.54
	ฟางข้าว	5,081.38	5,771.26	4,130.65	248.55	15,231.84
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น ยอด ใบ ข้าวโพด	1,054.84	444.50	175.12	0.00	1,674.46
	ซังข้าวโพด	234.25	98.70	38.89	0.00	371.85
มันสำปะหลัง	ลำต้นมันสำปะหลัง	236.56	647.13	304.06	0.00	1,187.75
	เหง้ามันสำปะหลัง	183.86	502.94	236.30	0.00	923.10
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบปาล์มน้ำมัน	1.09	8.37	94.98	821.52	925.96
	ใยปาล์ม	0.93	8.85	100.49	884.05	994.32
	กะลาปาล์มน้ำมัน	1.00	9.51	107.96	949.63	1,068.08
	ทะลายปาล์มน้ำมัน	0.88	8.36	95.08	836.37	940.69
มะพร้าว	กะลามะพร้าว	1.26	0.73	51.65	59.13	112.77
	เปลือกและกาบมะพร้าว	2.57	1.52	106.23	121.54	231.86
	ก้าน ใบ จั่น ทะลายมะพร้าว	2.43	1.40	99.54	113.89	217.26
ถั่วลิสง	เปลือกถั่วลิสง	2.65	1.58	0.30	0.07	4.60
ฝ้าย	ลำต้นฝ้าย	1.23	0.05	0.99	0.00	2.28
ถั่วเหลือง	ลำต้น ยอด ใบเปลือกถั่วเหลือง	25.13	10.39	0.14	0.00	35.66
ข้าวฟ่าง	ใบ ต้น ข้าวฟ่าง	16.01	0.00	13.79	0.00	29.80
ยางพารา	ถ่านไม้	12.09	86.85	88.55	547.98	735.47
	ไม้ฟืนยางพารา	5.57	40.39	40.96	253.34	340.26
	เศษไม้ยางพารา	1.78	13.05	13.23	81.82	109.88
	ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	0.51	4.78	3.80	23.63	32.72
สับปะรด	ตอซัง สับปะรด	101.46	15.94	414.57	5.48	537.45
รวม		11,790.62	13,731.22	11,196.284	4,996.26	41,714.38

ที่มาข้อมูล: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

biomass to liquid (BTL) เทคโนโลยีชีวมวลสู่ของเหลว (บีทีแอล)

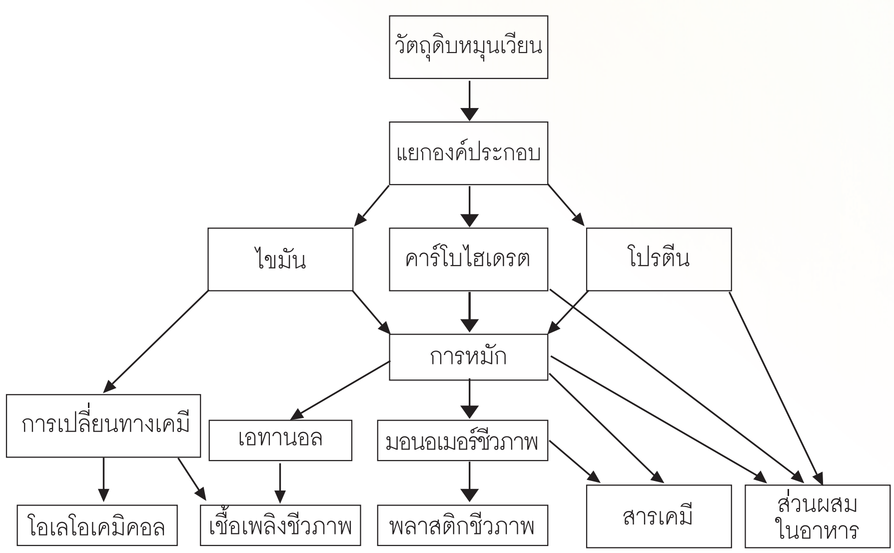
การผลิตเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์จากชีวมวล (ดู biomass) ผ่านการแกซิฟาย (ดู gasification) ร่วมกับกระบวนการฟิสเชอร์-ทรอปช์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) เลือกใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นได้หลายชนิด เช่น แกลบ ซังข้าวโพด กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม เป็นต้น สามารถนำเชื้อเพลิงเหลว หรือน้ำมันสังเคราะห์ (ดู synthetic fuels) มาใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมได้โดยตรง และลดการเกิดมลพิษจากการใช้งาน เนื่องจากปราศจากกำมะถัน มีปริมาณสารประกอบแอโรแมติก (ดู aromatic content) ต่ำ เกิดเขม่าน้อย มีการคาดการณ์ว่าในอีกไม่เกิน 50 ปีข้างหน้า น้ำมันสังเคราะห์จะเป็นเชื้อเพลิงสำคัญทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ชีวมวลผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดิบมากขึ้น โดยผ่านการเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) เพื่อแยกสลายสารประกอบอินทรีย์ในเชื้อเพลิงออกในเวลาสั้นที่สุด เรียกกระบวนการนี้ว่า การไพโรไลส์อย่างรวดเร็ว (ดู fast pyrolysis) สำหรับประเทศไทยยังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย ซึ่งจำเป็นต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการปลูกไม้โตเร็วเพื่อให้มีเชื้อเพลิงเพียงพอในอนาคต



กระบวนการฟิสเชอร์-ทรอปช์เพื่อผลิตน้ำมันสังเคราะห์ (ดีเซล) จากชีวมวล

biorefinery โรงกลั่นน้ำมันชีวภาพ

ระบบของกระบวนการแปรรูปชีวมวล (ดู biomass) จากพืชเป็นเชื้อเพลิง ความร้อน ไฟฟ้า สารเคมีเพิ่มมูลค่า พอลิเมอร์ วัสดุชีวภาพ อาหารสัตว์ โดยใช้หน่วยปฏิบัติการเครื่องจักร และเทคโนโลยีหลากแขนงร่วมกัน เช่น การเตรียมวัตถุดิบ การสกัด การแปรรูปด้วยความร้อนและชีวเคมี การทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ เพื่อใช้ประโยชน์จากชีวมวลสูงสุด ลดของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โรงกลั่นชีวภาพจำแนกได้ 3 กลุ่มใหญ่ตามประเภทของวัตถุดิบ คือ โรงกลั่นชีวภาพของวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose feedstock biorefinery) หรือ LCF biorefinery โรงกลั่นชีวภาพของธัญพืช (whole crop biorefinery) เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต เป็นต้น และโรงกลั่นชีวภาพของพืชสด (green biorefinery) เช่น พืชล้มลุกโตเร็ว พืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่ว เป็นต้น



แนวคิดของโรงกลั่นชีวภาพ

black liquor แบล็กลิกเคอร์

เชื้อเพลิงที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษกระบวนการคราฟท์ สูตรทางเคมี $C_{10}H_{12.5}O_7Na_{2.4}S_{0.36}$ ประกอบด้วยของแข็งสารอินทรีย์ที่ละลายได้ (dissolved organics solids) ลิกนินปฐมภูมิ (primary lignin) และองค์ประกอบของโซเดียมซัลไฟด์เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตกระดาษ นำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยหม้อไอน้ำนำแบล็กลิกเคอร์กลับคืน (black liquor recovery boiler (BLRB)) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถผลิตไอน้ำได้ 140,000-850,000 ปอนด์/ชั่วโมง หรือความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (maximum allowable working pressure (MAWP)) ที่ 300-1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว หม้อไอน้ำชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบ 2 ดรัม (2-drum design) ซึ่งใช้สำหรับความดันที่ต่ำว่า 900 ปอนด์/ตารางนิ้ว และระบบดรัมเดี่ยว (single drum) ซึ่งใช้สำหรับความดันที่สูงกว่า 900 ปอนด์/ตารางนิ้ว ระบบดรัมเดี่ยวมีระบบป้องกันการสึกกร่อนที่เกิดจากแก๊สที่ปล่อยออกได้ดีกว่า และลดการรั่วบริเวณรอยต่อได้มากกว่า

Typical black liquor analysis

Agent	Content (g/kg dry solid)
Na	19.3
K	3.34
S_{tot}	5.50
Cl_{tot}	0.41
S^{2-}	1.93
NaOH	1.1
CO_3^{2-}	6.2
Na_2SO_3	0.1
$Na_2S_2O_3$	2.13
Na_2SO_4	1.23
C	31.9
H	3.33
N	0.08

Calorimetric heat value, HHV 12.74 (MJ/kg dry solids)

boiler หม้อไอน้ำ

อุปกรณ์ผลิตไอน้ำที่สภาวะอิ่มตัว (saturated steam) หรือสภาวะร้อนยิ่งยวด (superheated steam) จากน้ำ ต้องทนความดันและอุณหภูมิสูง และมีความปลอดภัย มีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กที่ใช้ในอาคารบ้านเรือน สถานประกอบการต่างๆ เช่น โรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และขนาดใหญ่มากที่ใช้หมุนกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า หลักการ คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนจากการเผาไหม้กับน้ำ และไอน้ำจึงต้องใช้การออกแบบที่มีพื้นผิวถ่ายโอนความร้อนสูงและมีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนหลายชุด เพื่อให้มีประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำสูงสุด เป็นอุปกรณ์สำคัญในอุตสาหกรรมที่ต้องการไอน้ำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ในโรงงานเชื้อเพลิงที่นิยมใช้เป็นแหล่งความร้อน ได้แก่ แก๊สธรรมชาติและน้ำมัน ประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำ (thermal efficiency of boiler) สูงกว่าร้อยละ 95 โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (fire tube boiler) แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านในท่อที่วางเรียงกันเป็นชุดโดยมีน้ำล้อมรอบ เกิดการถ่ายโอนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนในท่อกับน้ำที่อยู่ภายนอก แล้วเป็นไอน้ำ ใช้ผลิตไอน้ำอิ่มตัวหรือไอน้ำแห้งที่ร้อนยิ่งยวดเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปมีขนาดเล็ก ความดันต่ำ (ไม่เกิน 12 ตันไอน้ำต่อชั่วโมงและความดันประมาณ 10 บาร์) ง่ายต่อการใช้งาน และการบำรุงรักษา เพราะการเกาะสะสมของเถ้า (ดู ash) และสแลก (ดู slagging) ที่เกิดตามมาจะอยู่ผิวนอกท่อ ทำความสะอาดได้ง่าย ในประเทศไทยใช้หม้อไอน้ำแบบนี้กว่าร้อยละ 80 ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กถึงกลาง เช่น โรงอบไม้ โรงงานอาหารสัตว์ โรงงานอาหารกระป๋อง เป็นต้น

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (water tube boiler) น้ำไหลผ่านในท่อส่วนแก๊สร้อนไหลผ่านล้อมรอบท่อเกิดการถ่ายโอนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนภายนอกท่อกับน้ำในท่อ โดยทั่วไปมีขนาดใหญ่และสามารถผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 10 บาร์ ใช้ในโรงไฟฟ้าที่ใช้กังหันไอน้ำ (ดู steam turbine) เพราะสามารถผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดันสูงได้ ในประเทศไทยใช้หม้อไอน้ำแบบนี้ร้อยละ 15 ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมักมีการผลิตไฟฟ้าร่วมด้วย เช่น โรงไฟฟ้า โรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีหม้อไอน้ำบางแบบที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน แต่มีจำนวนน้อยเพราะค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง ปัจจุบันจากปัญหาราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น โดยเฉพาะแก๊สและน้ำมัน จึงมีแนวคิดที่จะนำเชื้อเพลิงทางเลือกอื่นๆ มาใช้ในการผลิตไอน้ำ ได้แก่ ชีวมวล (ดู biomass) และเชื้อเพลิงจากขยะ (ดู refused derived fuel (RDF)) เป็นต้น

Boudouard reaction ปฏิกิริยาบูดูอาร์ด

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) และรีดักชัน (reduction reaction) ของคาร์บอนมอนอกไซด์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และคาร์บอนเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ที่อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาจะดำเนินไปข้างหน้า ได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermal reaction) ที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะผันกลับได้คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction)

$$2CO \longleftrightarrow C + CO_2 \qquad \Delta H = -172 \text{ MJ/kmol}$$

เป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดระหว่างการแกซิฟาย (ดู gasification) และการรีฟอร์ม (reforming) มีส่วนสำคัญในการควบคุมองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้

Boyle's law กฎของบอยล์

กฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊สสัมบูรณ์ที่อุณหภูมิคงที่ โดยความดันสัมบูรณ์แปรผกผันกับปริมาตรตามสมการ

$$PV = C$$

เมื่อ P = ความดันของแก๊ส

V = ปริมาตรของแก๊ส

และ C = ค่าคงตัว

โดยผลคูณของความดันสัมบูรณ์และปริมาตรใดๆ ที่อุณหภูมิคงที่มีค่าเท่ากัน สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง 2 สภาวะที่กำหนดให้ได้ดังนี้

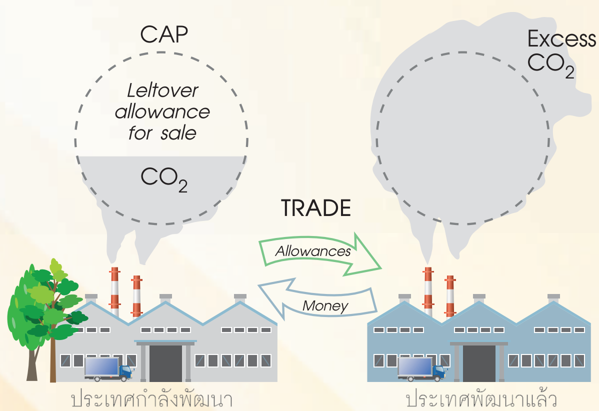
$$P_1V_1 = P_2V_2$$

carbohydrate คาร์โบไฮเดรต

สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนต่อออกซิเจนเท่ากับ 2 ต่อ 1 เหมือนกับน้ำ สูตรทั่วไปของคาร์โบไฮเดรต คือ $C_x(H_2O)_x$ ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช เช่น แป้งในธัญพืช มันสำปะหลัง มันฝรั่ง น้ำตาลในอ้อย และหัวบีตหวาน พบในสารแสดงพันธุกรรมในพืชและสัตว์ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (ดู monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (ดู disaccharide) โอลิโกแซ็กคาไรด์ (ดู oligosaccharide) และพอลิแซ็กคาไรด์ (ดู polysaccharide, glycans)

carbon credit คาร์บอนเครดิต

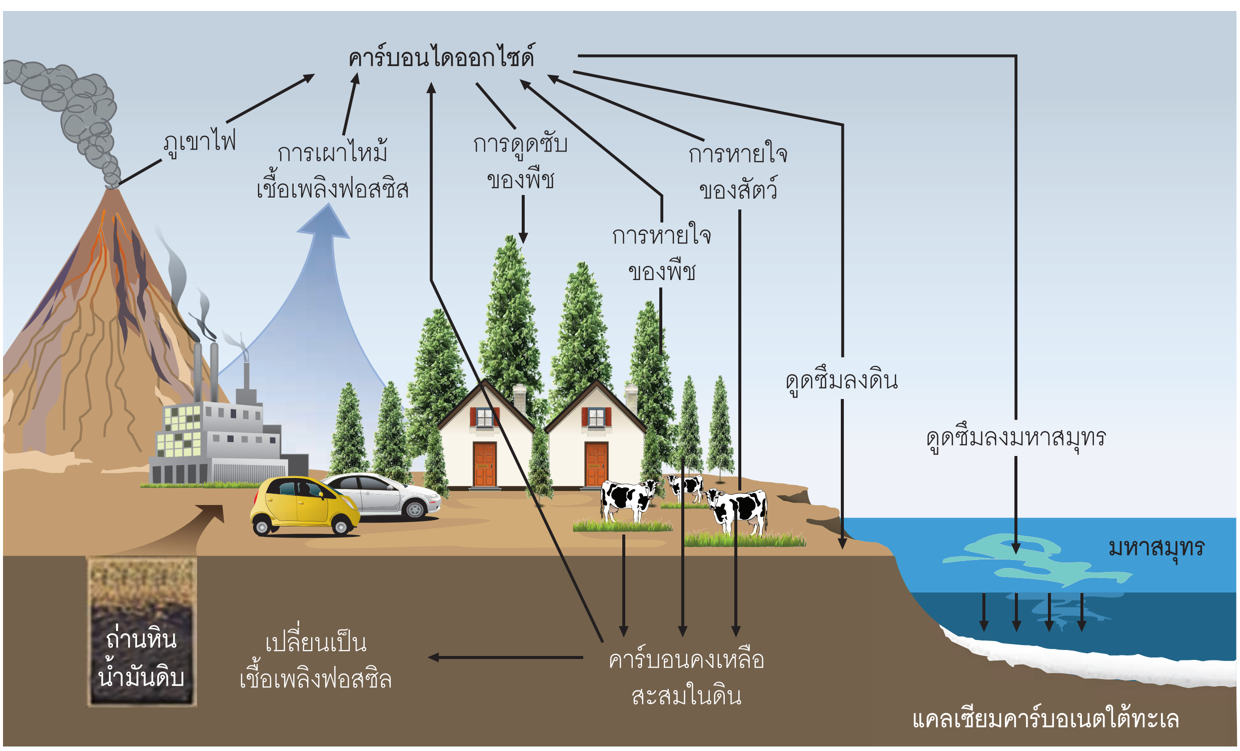
สิทธิ์การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ซื้อขายได้ ตามพิธีสารเกียวโต (ตลาดคาร์บอน) โดยประเทศหนึ่งๆ ที่ผลิตปริมาณแก๊สเรือนกระจกน้อยกว่าปริมาณที่ได้รับสิทธิ์ให้ปลดปล่อยออกมาได้ สามารถนำส่วนต่างที่เป็นเครดิตมาจำหน่ายแก่ประเทศอื่นที่ผลิตมากกว่าปริมาณที่ได้รับสิทธิ์ให้ปลดปล่อยออกมาได้ หน่วยเป็นตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถคำนวณค่าคาร์บอนเครดิตได้จากอัตราการใช้พลังงานทดแทนต่างๆ เช่น การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าแทนการใช้น้ำมันหรือถ่านหิน โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แทนน้ำมัน 1 หน่วย (กิโลวัตต์/ชั่วโมง) คำนวณเป็นเครดิตได้ประมาณ 0.6 กิโลกรัม ประเทศที่ต้องการคาร์บอนเครดิตมาก คือ ประเทศพัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ที่มีอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) สูงที่สุดและสูงเกินกว่าสิทธิ์ที่ได้รับ



การซื้อ-ขายคาร์บอนเครดิต

carbon cycle วัฏจักรคาร์บอน

การหมุนเวียนของธาตุคาร์บอนในรูปสารประกอบหลายชนิดในธรรมชาติ คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ในบรรยากาศถูกดูดซับโดยพื้นผิวของมหาสมุทร และเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรต (ดู carbohydrate) โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (ดู photosynthesis) ของแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) เมื่อแพลงก์ตอนพืชถูกบริโภค คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยด้วยกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ได้คาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศผ่านการหายใจ เช่นเดียวกับการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ และเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตของพืชบนผิวดิน พลังงานส่วนที่เหลือจากการใช้งานในกิจกรรมของสัตว์และพืชจะถูกเก็บในรูปไขมัน (fat) หรือพอลิแซ็กคาไรด์ (ดู polysaccharide) คาร์บอนที่สะสมในสิ่งมีชีวิตจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศเมื่อเสียชีวิต ถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ และเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แต่บางส่วนยังคงสะสมอยู่ในดิน นอกจากนี้มหาสมุทรดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ และตกตะกอนในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) แต่ในปัจจุบันปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (ดู fossil fuel) มีปริมาณมากกว่าการดูดซึมคาร์บอนของพื้นดินและมหาสมุทร ประกอบกับการเปลี่ยนคาร์บอนคงเหลือในดินไปเป็นเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์กินเวลานับร้อยล้านปีเทียบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ที่รวดเร็วมากจนเทียบกันไม่ได้ ปัจจุบันวัฏจักรคาร์บอนเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณรอยเท้าคาร์บอน (ดู carbon footprint)



วัฏจักรคาร์บอนของโลก

carbon dioxide คาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและออกซิเจน 2 อะตอม สูตรโมเลกุล CO_2 ไม่มีสี กลิ่นแสบจมูก เป็นกรด มีรสเปรี้ยว ผลผลิตจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ การหายใจของพืช และสัตว์ รวมถึงการหมักด้วยจุลินทรีย์ เป็นแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gas (GHG)) ที่สำคัญอันดับหนึ่ง เนื่องจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมในภาคขนส่งและอุตสาหกรรม ส่งผลให้อุณหภูมิของผิวโลกเพิ่มขึ้นเกิดภาวะโลกร้อน (global warming) นอกจากนี้การละลายลงในมหาสมุทรทำให้เกิดผลกระทบกับพืชและสัตว์ทะเล ปัจจุบันความเข้มข้นในบรรยากาศประมาณร้อยละ 0.04 หรือ 390 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อ 50 ปีที่แล้วประมาณ 70 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร มีความเป็นพิษสูงที่ความเข้มข้นเพียงร้อยละ 5 โดยปริมาตร สามารถทำให้มนุษย์หมดสติและเสียชีวิตได้ ในอีกด้านหนึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ได้ผลผลิตเป็นชีวมวล (ดู biomass) นอกจากนี้มีการใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวัน เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ยูเรียและเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ใช้เป็นตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต (supercritical solvent) ใช้เป็นสารทำความเย็น ใช้ในถังดับเพลิง และใช้ในการทำเครื่องดื่ม เป็นต้น

วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) ของโลก

carbon footprint คาร์บอนฟุตพริ้นท์, รอยเท้าคาร์บอน

การแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเชิงปริมาณด้วยปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (ดู greenhouse gases (GHGs)) ในการผลิตสินค้า โดยวัด หรือคำนวณปริมาณแก๊สเรือนกระจก (ประกอบด้วยแก๊ส 6 ชนิด ตามพิธีสารเกียวโต ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดู carbon dioxide) มีเทน (CH_4) (ดู methane) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) และเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในหน่วยกิโลกรัม หรือตันของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 equivalent หรือ ton CO_2 equivalent) การวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พิจารณาจากกิจกรรม 2 ส่วนหลัก คือ การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (primary footprint) ได้แก่ การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (ดู fossil fuel) ในกระบวนการผลิตและการขนส่ง และการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม (secondary footprint) จากการใช้สินค้า และการจัดการซากสินค้าหลังการใช้งาน หลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยนำเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาแสดงบนสินค้าเพื่อสร้างความตระหนักแก่ผู้บริโภค การใช้พลังงานจากชีวมวลจึงเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ทำให้ปริมาตรสุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้เท่ากับศูนย์ หรือไม่มีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ปรากฏ ซึ่งต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

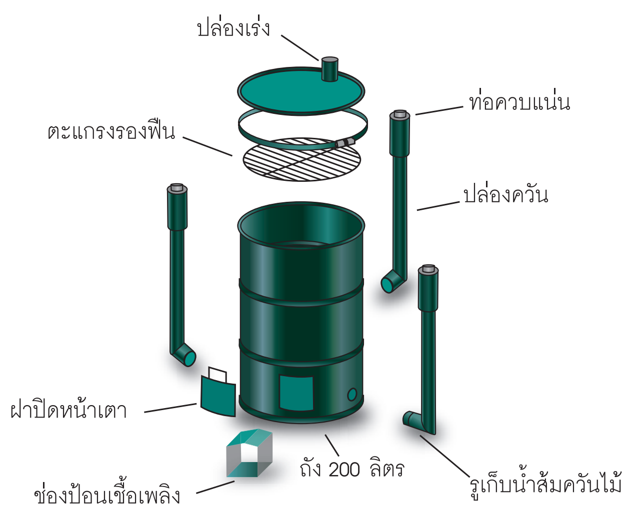
เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศต่างๆ

carbonization การคาร์บอไนซ์

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแข็งที่สะอาด ให้ควันน้อย และให้อุณหภูมิเปลวไฟสูง ใช้ภาวะปฏิบัติการเดียวกับการไพโรไลส์แบบช้า (ดู slow pyrolysis) เป็นเทคโนโลยีเก่าแก่นับหลายร้อยปี ในสมัยต้น ใช้ผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินบิทูมินัส เพื่อใช้ในเตาถลุงเหล็กและผลิตถ่านไร้ควันจากถ่านหินคุณภาพต่ำ รวมทั้งผลิตถ่านไม้จากไม้ฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักตามบ้านเรือนในเตาหุงต้ม (เตาอั้งโล่) ก่อนการใช้แก๊สแอลพีจี การผลิตถ่านไม้จากไม้ฟืนในประเทศไทยมีหลายรูปแบบ และพัฒนาขึ้นจากแบบดั้งเดิมที่เป็นระบบเปิดซึ่งได้ถ่านไม้ปริมาณน้อย คุณภาพต่ำ ปลดปล่อยมลพิษสูงมาเป็นระบบปิดที่มีประสิทธิภาพสูง ได้ถ่านไม้ปริมาณมากคุณภาพดี ได้ผลผลิตพลอยได้ เช่น น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) เป็นต้น

การเผาถ่านไม้ระบบเปิด

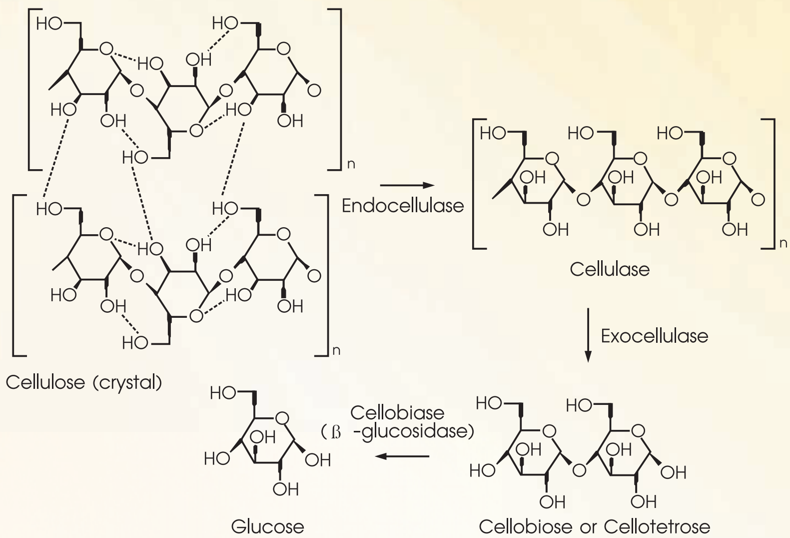
การเผาถ่านไม้ระบบปิด



เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร (พัฒนาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน)

cellulase เซลลูเลส

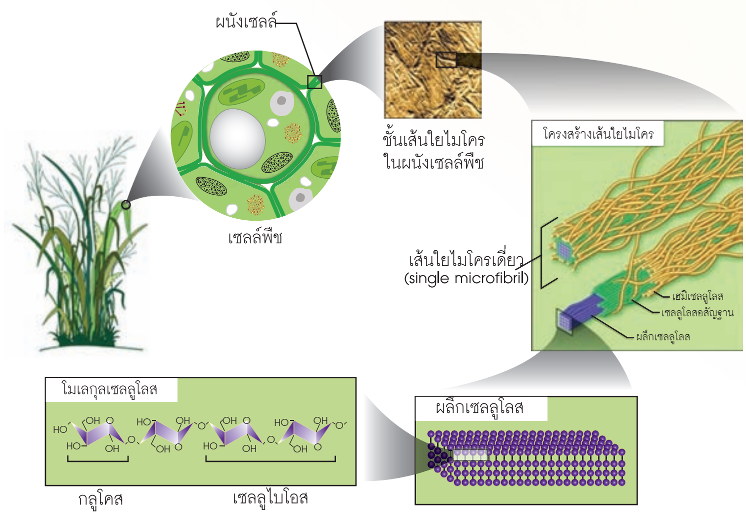
กลุ่มของเอนไซม์ ประกอบด้วย เอนโดกลูคาเนส (endoglucanases) เอกโซกลูคาเนส (exoglucanases) และ บีตา-กลูโคซิเดส (β-glucosidases) ทำงานร่วมกันในการย่อยสลายพันธะบีตา-1,4-ไกลโคซิดิก (β-glycosidic linkages) ของเซลลูโลส (ดู cellulose) ทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง ได้กลูโคสเป็นผลผลิตสุดท้าย พบในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เช่น ข้าวมอลต์ ข้าวบาร์เลย์ ใบยาสูบ ไส้เดือนดิน ปลวก หอยทาก และจุลินทรีย์จำพวกรา แบคทีเรีย และโพรโทซัว ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกาแฟ เส้นใย เยื่อและกระดาษ สารซักล้าง และยา เป็นเอนไซม์สำคัญในการหมัก (ดู fermentation) ชีวมวล (ดู biomass) เพื่อผลิตเอทานอล (ดู ethanol)



การทำงานของเซลลูเลส

cellulose เซลลูโลส

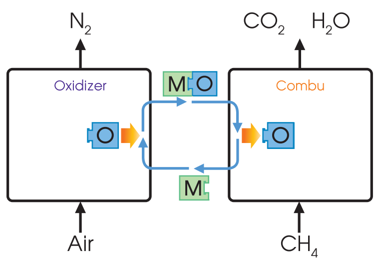
สารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) หรือพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมากกว่า 3,000 โมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรง และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ไม่ละลายทั้งน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นโครงสร้างพื้นฐานของพืชประมาณร้อยละ 33 โดยน้ำหนักของเซลล์พืช ส่วนมากอยู่ที่ผนังเซลล์ เป็นอาหารหลักของสัตว์กินพืช (herbivores animal) เช่น วัวและม้า แต่มนุษย์ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ เนื่องจากไม่สามารถสร้างเซลลูเลส (ดู cellulase) ได้ ใช้ผลิตกระดาษและเส้นใย นอกจากนี้เซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติทางเคมีสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผ้าเรยอน (rayon) กระดาษเซลโลเฟน (cellophane) กาว ฟิล์มถ่ายรูป ระเบิด สารเพิ่มความข้นในอาหาร (food thickening agent) และวัสดุเคลือบผิวป้องกันความขึ้น (moisture-proof coating) ในอุตสาหกรรมแบ่งเซลลูโลสเป็น 3 เกรด คือ แอลฟาเซลลูโลส (ดู α-cellulose) บีตาเซลลูโลส (ดู β-cellulose) และแกมมาเซลลูโลส (ดู γ-cellulose)



เซลล์พืช โครงสร้างเส้นใยไมโคร ผลึกเซลลูโลสและโมเลกุลของเซลลูโลส

chemical-looping combustion การเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิ้ง

การเผาไหม้รูปแบบใหม่อยู่ระหว่างการพัฒนา ไม่เกิดเปลวไฟ ไม่มีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง แต่อาศัยออกซิเจนจากตัวพาออกซิเจน (oxygen carrier) ในการเผาไหม้ ประกอบด้วยปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับตัวพาออกซิเจน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างตัวพาออกซิเจนที่ผ่านการใช้งานแล้วกับอากาศ เพื่อนำตัวพาออกซิเจนกลับมาใช้ใหม่ ข้อดีของเทคโนโลยีนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และน้ำ (ดู water) สามารถถูกแยกออกจากแก๊สชนิดอื่นได้เลย โดยไม่ต้องใช้พลังงานเพิ่มเติมในการแยก



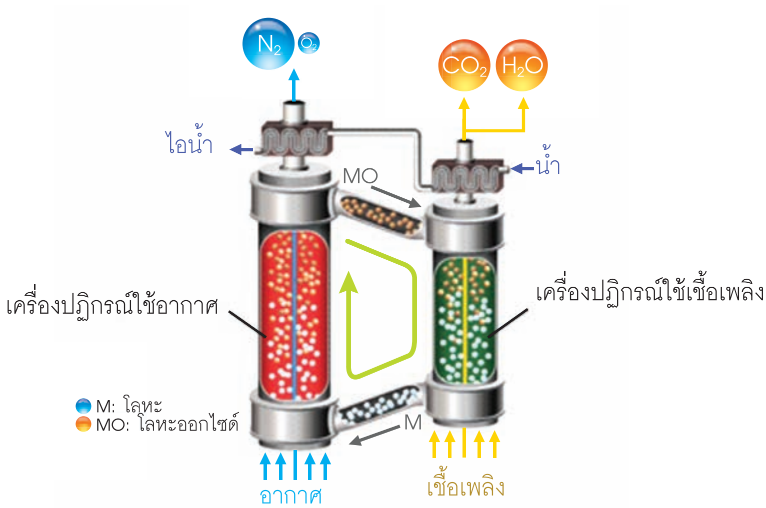
- Oxidation : exothermic

$$M + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow MO$$

- Reduction : endothermic

$$CH_4 + 4MO \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + 4M$$

M : metal, MO : metal oxide



การเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิ้งของมีเทน

chipping การสับหรือตัด

วิธีการทางกายภาพเพื่อลดขนาดชีวมวล (ดู biomass) ด้วยการตัดหรือสับด้วยโลหะที่มีความคมหรือใบมีดให้เป็นชิ้นขนาดเล็กลง ก่อนส่งไปสู่กระบวนการอื่นๆ

เครื่องสับไม้

ชิ้นไม้สับ

ชิ้นไม้สับถูกตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ

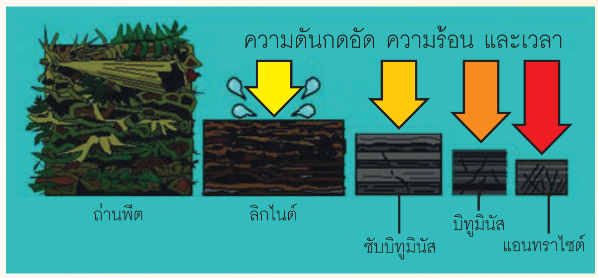
cassava, tapioca มันสำปะหลัง

พืชหัวชนิดหนึ่ง ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Manihot esculenta* Crantz และมีชื่อสามัญซึ่งเรียกตามภาษาต่างๆ ได้แก่ Cassava, Yuca, Mandioca, Manioc และ Tapioca มีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (lowland tropics) หัวมันสำปะหลังสดประกอบด้วยน้ำร้อยละ 60 มีแป้ง (starch) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญปริมาณร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนักแห้ง เป็นแหล่งอาหารหลักของทั้งมนุษย์และสัตว์ มี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดหวาน (sweet type) มีสารประกอบไซยาไนด์ซึ่งเป็นพิษต่อมนุษย์ในปริมาณต่ำ ไม่มีรสขม และชนิดขม (bitter type) มีไซยาไนด์ปริมาณสูง และมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือสัตว์ แต่มีปริมาณแป้งสูงจึงนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) ประเภทแป้งดิบ (native starch) แป้งดัดแปลง (modified starch) สาคู และผงชูรส การแปรรูปเป็นมันสำปะหลังเส้น (cassava chip) และมันสำปะหลังอัดเม็ด (cassava pellet) เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้การแปรรูปเป็นอาหารด้วยความร้อน เช่น ตากแดด เผา และต้ม ทำให้ไซยาไนด์สลายตัว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความขมลดลง มันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ผ่านการย่อยและการหมัก แต่เนื่องจากผลผลิตส่วนใหญ่เน้นใช้ในการบริโภคปัจจุบันจึงมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูป เช่น กากและเหง้ามันสำปะหลัง มาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

มันสำปะหลัง

coalification การแปรสภาพเป็นถ่านหิน

การแปรสภาพของซากพืชซากสัตว์ที่ทับถม และสะสมกันอยู่ตามชายฝั่งทะเล บริเวณน้ำกร่อย น้ำจืด หรือแผ่นดินที่ชื้นแฉะร่วมกับการกร่อนของดินตกตะกอนทับถมบนซากพืชทำให้เกิดการเน่าเปื่อยผุพังกลายสภาพเป็นถ่านพีต (peat) ก่อน ในภาคใต้ รู้จักในชื่อ พรุ เป็นต้นกำเนิดของถ่านหิน การแปรสภาพเกิดภายใต้ความร้อน ความดันตามธรรมชาติเป็นระยะเวลานานนับร้อยล้านปี ทำให้ถ่านพีตมีความเป็นถ่านหินเพิ่มขึ้นกลายเป็นลิกไนต์ (lignite) ซับบิทูมินัส (subbituminous) บิทูมินัส (bituminous) และแอนทราไซต์ (anthracite) ตามลำดับ มีการวิจัยและพัฒนา เพื่อผลิตเชื้อเพลิงแข็งคุณภาพเทียบเท่าถ่านหินจากชีวมวล เป็นรูปแบบหนึ่งของการคาร์บอไนซ์ (ดู carbonization)



การแปรสภาพเป็นถ่านหิน

co-combustion, co-firing การเผาไหม้ร่วม

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มักใช้สำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเดี่ยว ตัวอย่างเช่น การเผาไหม้ร่วมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (ดู biomass) ช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ และยังส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนด้วยอีกทางหนึ่ง

การเผาไหม้ร่วม

เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินกับเศษไม้

coconut มะพร้าว

พืชตระกูลปาล์มที่เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cocos nucifera* ถิ่นกำเนิดยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่าเป็นทวีปออสเตรเลีย หรืออเมริกา ภูมิภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมาก และปลูกเป็นอาชีพ คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก มะพร้าวที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันเป็นพันธุ์มะพร้าวประเภทต้นสูง มีลำต้นใหญ่ เมื่อโตเต็มที่อาจสูงถึง 18 เมตร โดยทั่วไปมะพร้าวเริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 5-6 ปี ทุกส่วนของมะพร้าวไม่ว่าจะเป็น ผล ลำต้น กาบ ก้าน แกนใบ และใบ นำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ทั้งงานหัตถกรรมภาชนะบรรจุ วัสดุเส้นใย อุปกรณ์ทำความสะอาด และของใช้ในบ้าน ส่วนที่มีคุณค่ามากที่สุด คือ ผล ทั้งที่เป็นเนื้อ น้ำ ใย เปลือกมะพร้าว และกะลา ซึ่งแข็ง มีร้อยละคาร์บอนสูง สารระเหย และความชื้นต่ำ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงได้ และเป็นวัตถุดิบที่ดีสำหรับผลิตถ่าน ถ่านอัดแท่ง ถ่านอัดเม็ดด้วยการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ในหลุม การเผาในถังเหล็ก และการกลั่นแบบทำลาย (destructive distillation) เพื่อใช้งานโดยตรง หรือนำไปผลิตถ่านกัมมันต์ต่อไป


เศษใยและเปลือกมะพร้าว


เศษกะลามะพร้าวที่ผ่านการบด


ถ่านกะลามะพร้าว

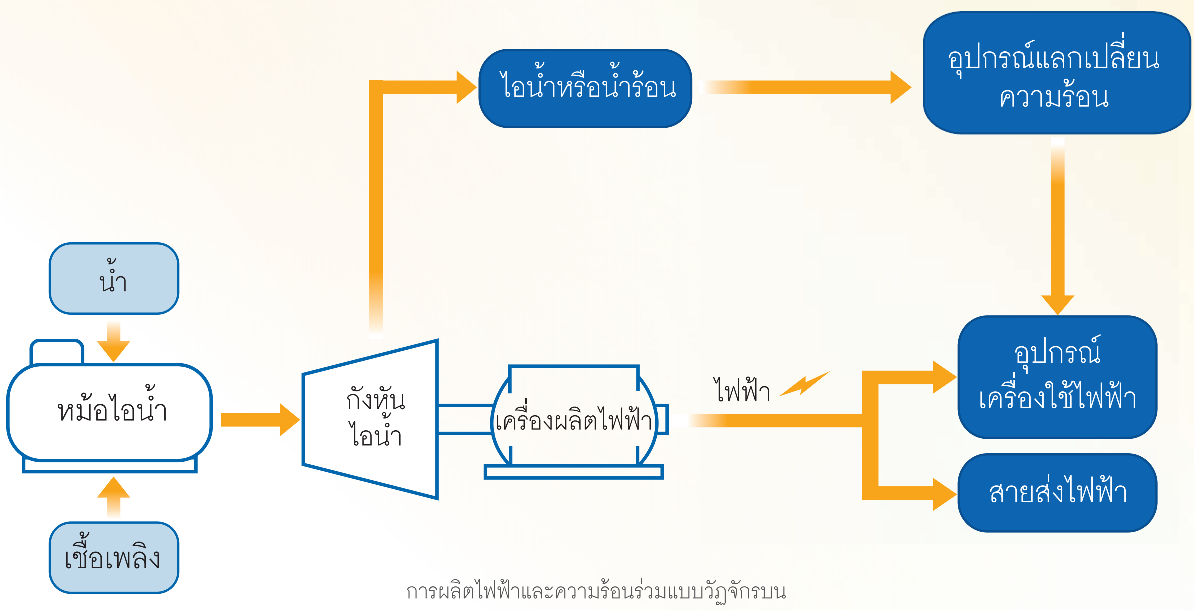

ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว


ถ่านอัดแท่งขณะตากแดดเพื่อผึ่งให้แห้ง


ระบบผลิตถ่านอัดแท่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี

cogeneration, combined heat and power (CHP) การผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วม

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกล (power) ร่วมกับพลังงานความร้อน (heat) ในระบบ เป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนในโรงไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ต้องสูญเสียระหว่างกระบวนการถูกนำกลับมาในรูปของไอน้ำหรือน้ำร้อน มีส่วนประกอบสำคัญ คือ อุปกรณ์ต้นกำลัง (prime mover) สำหรับเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกลหรือไฟฟ้า เช่น เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน กังหันแก๊ส (ดู gas turbine) กังหันไอน้ำ (ดู steam turbine) เซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell) เป็นต้น และอุปกรณ์นำความร้อนกลับ (heat recovery equipment) เช่น หน่วยผลิตไอน้ำจากการนำความร้อนกลับ (ดู heat recovery steam generator (HRSG)) การผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถแบ่งตามลำดับการใช้พลังงานได้เป็น 2 แบบ คือ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแบบวัฏจักรบน (topping cycle cogeneration) ซึ่งเป็นแบบที่พบมาก โดยพลังงานจากเชื้อเพลิงถูกแปรรูปเป็นพลังงานกลก่อนใช้ความร้อน และการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแบบวัฏจักรล่าง (bottoming cycle cogeneration)



การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแบบวัฏจักรบน

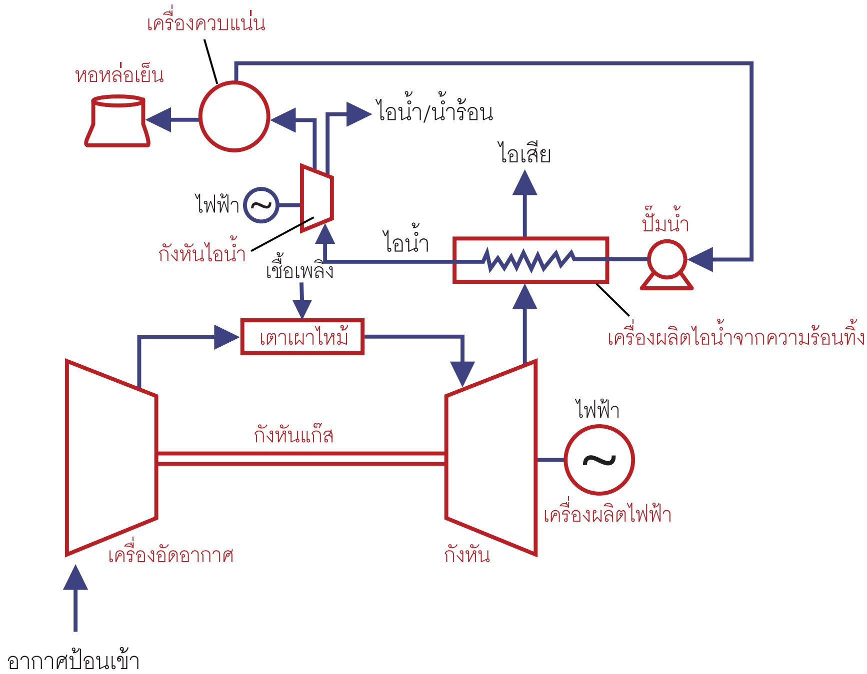
cold gas efficiency (CGE) ประสิทธิภาพที่สภาวะมาตรฐาน

อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานสุทธิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการแกซิฟาย (ดู gasification) ต่อปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงเริ่มต้นที่ใช้ คำนวณจากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพที่สภาวะมาตรฐาน} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง (อัตราการไหล x ค่าความร้อนของแก๊ส) - ปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงภายนอก}}{\text{ปริมาณความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงเริ่มต้น (อัตราการป้อน x ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)}}$$

combined cycle พลังความร้อนร่วม

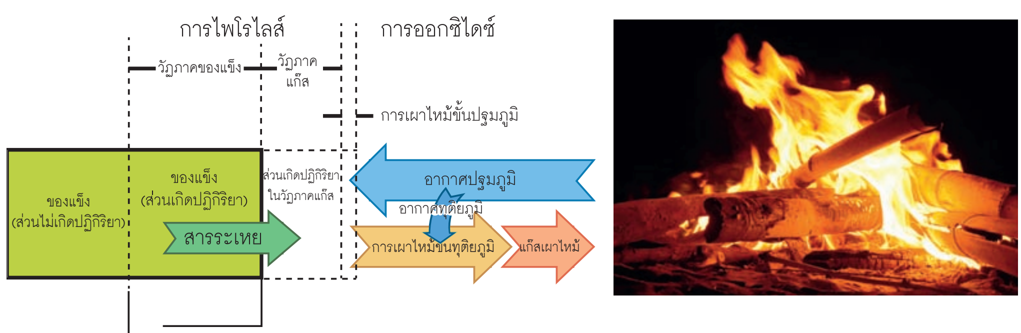
ระบบที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (combined cycle power plant) ที่กังหันแก๊ส (ดู gas turbine) และกังหันไอน้ำ (ดู steam turbine) ทำงานเป็นลำดับต่อเนื่องกัน โดยผ่านแก๊สร้อนที่ออกจากกังหันแก๊สไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไอน้ำความดันสูงเพื่อป้อนกังหันไอน้ำ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทั้งกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่าระบบเดี่ยว



ผังโรงงานไฟฟ้าระบบความร้อนร่วมระหว่างกังหันไอน้ำและกังหันแก๊ส

combustion การเผาไหม้

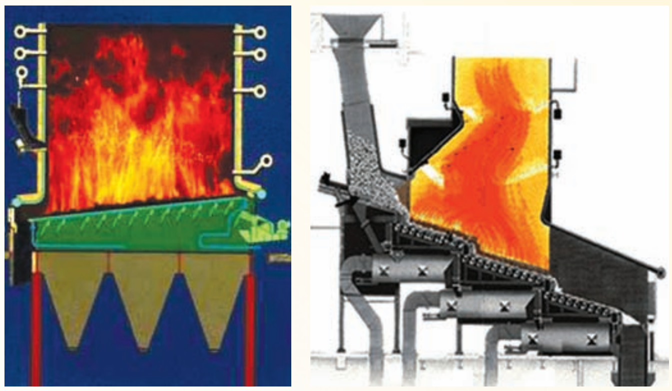
ปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับสารออกซิไดส์ เช่น ออกซิเจน อากาศ เกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง และคายความร้อนออกมาปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ผลผลิตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดู carbon dioxide) และน้ำ (H_2O) (ดู water) และสารประกอบออกไซด์ของธาตุองค์ประกอบอื่นในเชื้อเพลิง เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกไซด์ของกำมะถัน (SO_x) นับเป็นการเปลี่ยนทางอุณหเคมีที่ใช้มากที่สุดสำหรับผลิตไอน้ำความดันสูงเพื่อผลิตไฟฟ้า



การเผาไหม้โดยตรงของชีวมวล

สำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล การเผาไหม้โดยตรงร่วมกับกังหันไอน้ำ (steam turbine) เป็นระบบที่ใช้มากที่สุด โดยส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เตาเผา (furnace) เตาเผาที่นิยมใช้สำหรับเชื้อเพลิงแข็งในปัจจุบัน มีดังนี้

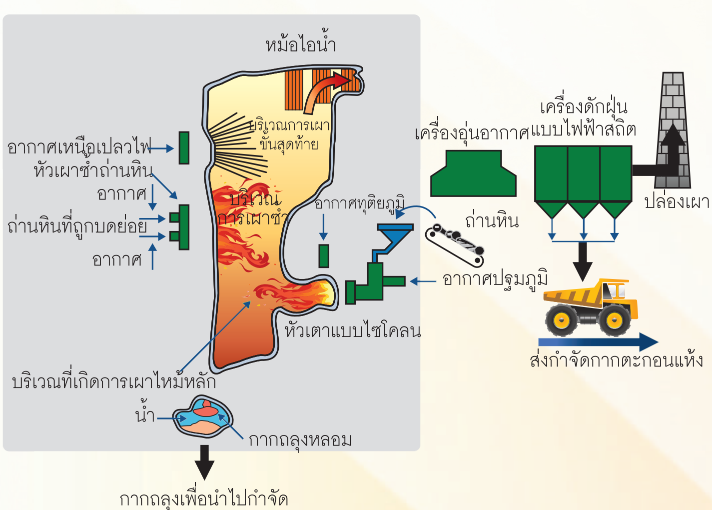
เตาเผาแบบสโตกเกอร์ (stoker furnace) ออกแบบให้เชื้อเพลิงเผาไหม้อยู่บนตะกรับ อากาศส่วนแรกถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของตะกรับ อากาศอีกส่วนหนึ่งถูกป้อนเหนือตะกรับ เพื่อช่วยให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ราคาถูก และออกแบบให้ใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิด มีทั้งแบบที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าทางด้านบนและด้านล่าง



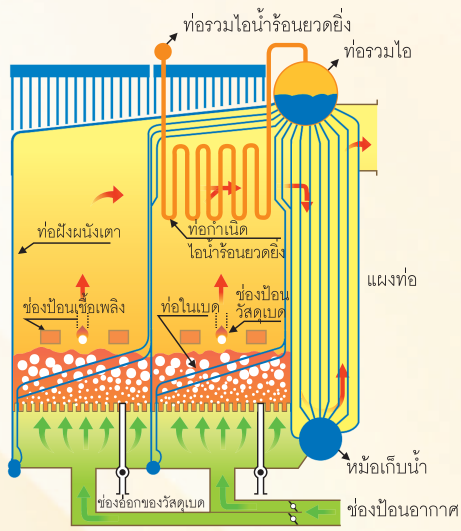
ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย

เตาเผาแบบเชื้อเพลิงบดละเอียด (pulverized furnace) ออกแบบให้การเผาไหม้เกิดขึ้นในลักษณะที่เชื้อเพลิงแขวนลอยอยู่ เหมาะกับเชื้อเพลิงขนาดเล็ก อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตาเพื่ออบแห้งเชื้อเพลิง อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส ยังนำมาใช้กับชีวมวล (ดู biomass) น้อย เนื่องจากปัญหาการควบคุมเถ้าทำได้ยาก และการลดขนาดชีวมวลให้มีขนาดเล็กเพียงพอนั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed furnace) ออกแบบให้การเผาไหม้เกิดขึ้นโดยเชื้อเพลิงบดละเอียดมีสภาพคล้ายของไหลในเตา ลอยตัวด้วยอากาศที่เข้าสู่ด้านล่างเตาผ่านแผ่นกระจายลม โดยทั่วไปมีวัสดุเบดที่ร้อน เช่น ทราย เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้กระจายอยู่ในเตาช่วยให้การสัมผัสกันของเชื้อเพลิงและออกซิเจนมีประสิทธิภาพ ใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้หลากหลาย อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา เผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงได้ดี ช่วยลดปัญหามลพิษจากแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ได้เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำ (ประมาณ 850 องศาเซลเซียส)



ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงบดละเอียด

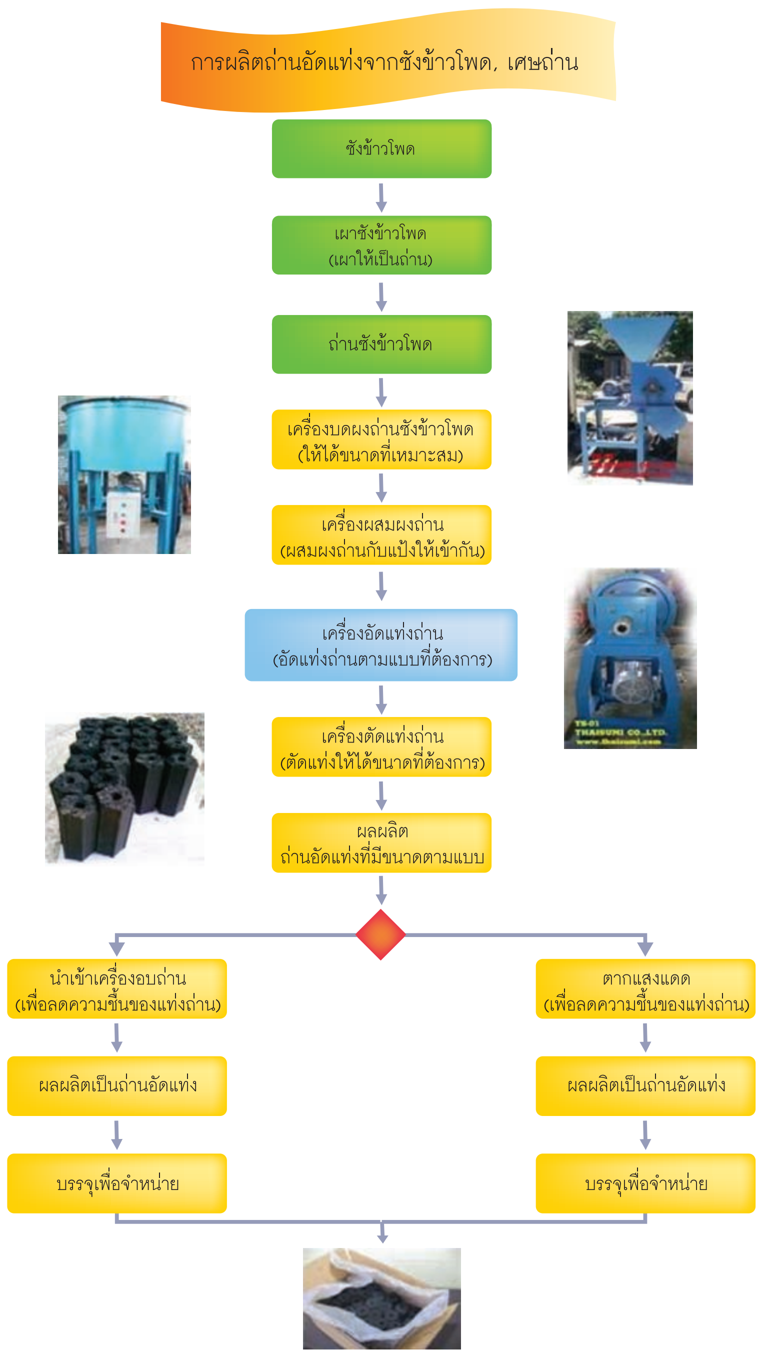


ลักษณะเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด

corn, maize ข้าวโพด

พืชตระกูลหญ้าชื่อวิทยาศาสตร์ *Zea mays* ลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 2.2 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2.0 นิ้ว ถิ่นกำเนิดใกล้แม่น้ำในนิวเม็กซิโก (แถบอเมริกาใต้) นิยมปลูกกันแพร่หลายในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันมาก เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์และสัตว์ ใช้ประโยชน์ได้ทั้งต้น ใบ เมล็ด และซัง โดยต้นข้าวโพดมีลักษณะแข็งและตัน ไม่มีกิ่งก้านด้านข้าง ส่วนใหญ่มักจะไม่มีการแตกกอ ยกเว้นข้าวโพดบางพันธุ์ ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ ข้าวโพดหวานสำหรับบริโภคโดยตรง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ นครราชสีมา ลพบุรี นครสวรรค์ น่าน เลย และตาก แหล่งพลังงานชีวภาพจากข้าวโพดได้จากทั้ง เมล็ด ซัง ลำต้น ยอด และใบ สามารถนำซังมาเป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรงหรือผลิตเป็นถ่านอัดแท่งเช่นเดียวกับกะลามะพร้าว

ซังข้าวโพด



การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด

cotton ฝ้าย

ไม้ขนาดเล็กในสกุลกอสซิเพียม *Gossypium* มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา แอฟริกา และอินเดีย เจริญเติบโตในบริเวณที่มีอากาศร้อน ดินเหนียวปนทราย อากาศโปร่ง ไม่ชอบที่ร่มเงาบัง ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดของต้นฝ้าย มีเส้นใยซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส (ดู cellulose) เกือบบริสุทธิ์ นิยมนำมาปั่นเป็นเส้นใยทำสิ่งทอที่มนุษย์ใช้มาตั้งแต่กว่า 3,000 ปีก่อนคริสตกาลจนถึงปัจจุบัน การปลูกฝ้ายจนกระทั่งเก็บปุยได้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 6-7 เดือน ประเทศไทยมีความต้องการปุยฝ้ายเส้นใยสั้นสำหรับงานหัตถกรรมสิ่งทอพื้นบ้านประมาณ 6,000 ตันต่อปี ปุยฝ้ายเส้นใยยาวปานกลางและเส้นใยยาวสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอประมาณ 350,000 ตันต่อปี แต่กว่าร้อยละ 90 ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เพราะต้นทุนการผลิตฝ้ายสูง เนื่องจากต้องใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูฝ้ายปีละประมาณ 10-14 ครั้ง หลังการเก็บเกี่ยว ได้ของเหลือเป็นต้นฝ้าย (cotton stalk) ซึ่งสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้

ต้นฝ้าย และดอกฝ้าย

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากต้นฝ้าย

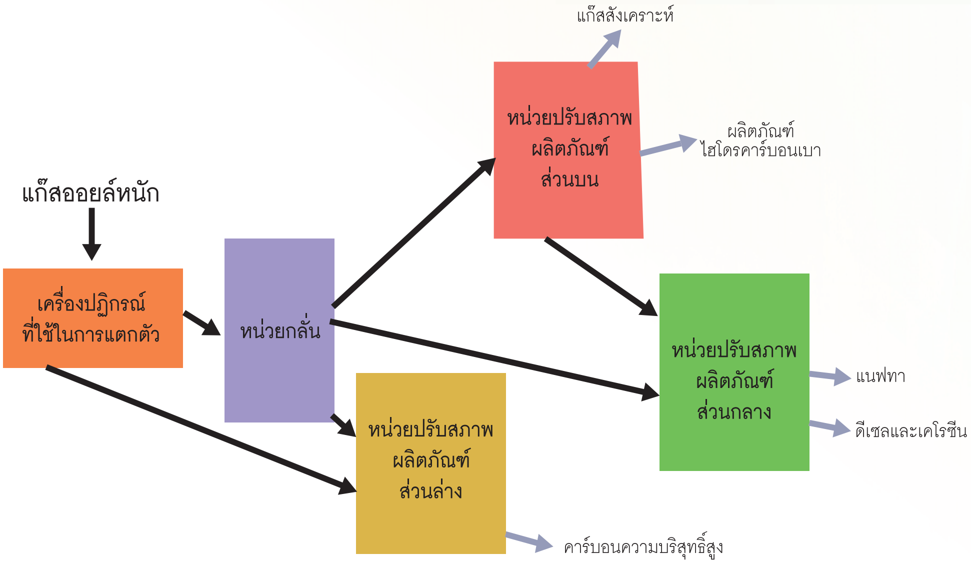
การปลูกฝ้าย

ภาค	จังหวัด	ช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสม
ภาคเหนือตอนบน	เชียงราย พะเยา แพร่ น่าน	ปลายเดือนมิถุนายน
ภาคเหนือตอนล่าง	สุโขทัย พิษณุโลก นครสวรรค์ เพชรบูรณ์	ต้น-กลางเดือนกรกฎาคม
ภาคกลาง	ลพบุรี	ต้น-กลางเดือนกรกฎาคม
ภาคตะวันตก	เพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี	กลาง-ปลายเดือนกรกฎาคม
ภาคตะวันตก	ระยอง ชลบุรี จันทบุรี	ต้น-กลางเดือนกรกฎาคม
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	อุดรธานี หนองบัวลำภู อุบลราชธานี เลย นครราชสีมา	กลางเดือนมิถุนายน ต้น-กลางเดือนกรกฎาคม

หมายเหตุ จังหวัดที่ระบุเป็นเพียงตัวอย่าง ในเขตใกล้เคียงกับจังหวัดที่ระบุสามารถใช้ฤดูปลูกเดียวกันได้

cracking การแตกตัว

การทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กด้วยความร้อนและความดัน อาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย เป็นกระบวนการสำคัญในกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมได้ผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นน้ำมันและแก๊ส แก๊สที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในการผลิตเคมีภัณฑ์ ยางสังเคราะห์ และน้ำมัน สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ความร้อน การใช้ไอน้ำในการผลิตแอลคีนเบา (light alkenes) หรือโอเลฟินส์ (olefins) รวมถึงเอทิลีนและโพรพิลีน การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ซึ่งมักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด เช่น ซิลิกา-อะลูมินาและซีโอไลต์ (zeolite) และการแตกตัวภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน (hydrocracking) ร่วมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มักใช้ในการกำจัดกำมะถันและไนโตรเจนออกจากไฮโดรคาร์บอน และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เช่น อีเทน แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และไอโซพาราฟินส์ (isoparaffins) เป็นต้น



การแตกตัวที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

critical point จุดวิกฤต

จุดตัดระหว่างอุณหภูมิวิกฤต (ดู critical temperature) และความดันวิกฤต (ดู critical pressure) ของสสาร ซึ่งมีสถานะทั้งของเหลว และไออยู่ร่วมกัน

critical pressure ความดันวิกฤต

ความดันที่ไม่สามารถทำให้ของเหลวระเหยกลายเป็นไอได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ

critical temperature อุณหภูมิวิกฤต

อุณหภูมิที่ไม่สามารถทำให้ไอของสสารควบแน่นเป็นของเหลวได้ด้วยการเพิ่มความดัน

cyclone ไซโคลน, เครื่องแยกแรงเหวี่ยง

อุปกรณ์แยกอนุภาคในแก๊สเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงในการแยกอนุภาค ทำให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ตกลงสู่ด้านล่างของไซโคลนขณะที่แก๊สและอนุภาคขนาดเล็กจะลอยขึ้นสู่ด้านบน เหมาะสำหรับอนุภาคช่วงขนาดปานกลางระหว่าง 10 ถึง 200 ไมครอน ให้ประสิทธิภาพของการแยกที่ดีที่สุด มักใช้ร่วมกับเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (ดู electrostatic precipitator (ESP))

deforestation การทำลายป่า

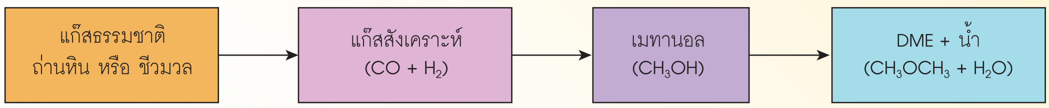
การทำลายพื้นที่ป่าจนหมดสภาพความเป็นป่าโดยกิจกรรมของมนุษย์เพื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ใช้ไม้ซุงเป็นที่อยู่อาศัยและจำหน่าย และใช้พื้นที่ที่หมดสภาพดังกล่าวเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การทำไร่ ปศุสัตว์ การทำเป็นที่อยู่อาศัย การทำเหมือง เป็นต้น มีผลกระทบในด้านการทำลายกว้างขวาง รวมถึงสูญเสียแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ความหลากหลายทางชีวภาพ เกิดความแห้งแล้ง ไฟป่า ลดพื้นที่ดูดซับคาร์บอน และแหล่งผลิตออกซิเจนให้โลกด้วย


การตัดไม้ทำลายป่า


ไฟป่า

dimethyl ether synthesis การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

การเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) ที่ใช้ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ หรือชีวมวล (ดู biomass) เป็นวัตถุดิบ แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การผลิตแบบทางอ้อม เป็นกระบวนการที่ต้องสังเคราะห์เมทานอล (ดู methanol synthesis) จากแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) ก่อน จากนั้นจึงผ่านเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ไปทำปฏิกิริยาควบแน่น หรือปฏิกิริยาดึงน้ำออก ได้ผลผลิตเป็นดีเอ็มอี และน้ำ (ดู water)



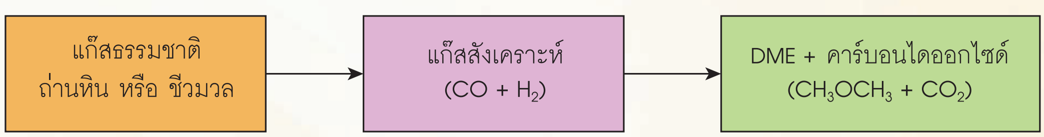
กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อมหรือกระบวนการดึงน้ำออกของเมทานอล

ปฏิกิริยาควบแน่นเพื่อสังเคราะห์ดีเอ็มอีจากเมทานอลใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น แกมมาอะลูมินา ซีโอไลต์ ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง (ดู gasifier) ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์จากเมทานอล

$$2CH_3OH \longrightarrow CH_3OCH_3 + H_2O \qquad \Delta H = -23.4 \text{ kJ/mol}$$

ปัจจุบันกระบวนการผลิตที่ได้รับความสนใจ คือ การผลิตโดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) โดยไม่ต้องผ่านเมทานอล ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เป็นการเปลี่ยนทางอุณหเคมีในเครื่องปฏิกรณ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของทองแดง สังกะสี และอะลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส และความดัน 29.6 บาร์ มีค่าการเปลี่ยนของแก๊สสังเคราะห์สูงถึงร้อยละ 40 และค่าการเลือกเกิดดีเอ็มอี (ดู dimethyl ether, (DME)) ร้อยละ 90 เทคโนโลยีนี้ผ่านการทดสอบในโรงงานต้นแบบ และโรงงานผลิตที่มีกำลังผลิตสูงถึง 100,000 ตันต่อปี ที่ประเทศญี่ปุ่น และหลายประเทศทั่วโลกกำลังสร้างโรงงานเพื่อใช้เทคโนโลยีนี้ผลิตดีเอ็มอี



กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง

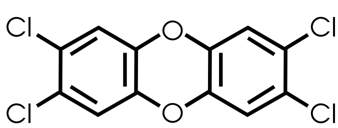
$$2CO + 3H_2 \longrightarrow CH_3OCH_3 + CO_2 \qquad \Delta H = -246 \text{ kJ/mol}$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad \Delta H = -41 \text{ kJ/mol}$$

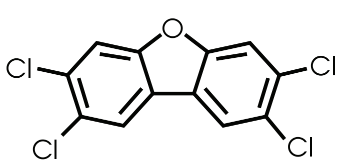
ปฏิกิริยาสังเคราะห์ดีเอ็มอีโดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์

dioxin ไดออกซิน

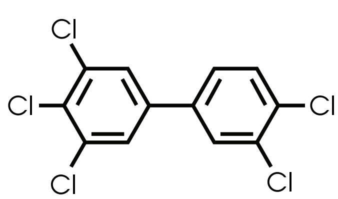
กลุ่มสารอินทรีย์พอลิคลอริเนเตดไดเบนโซ-พารา-ไดออกซิน (polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs)) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2 วง เชื่อมกันด้วยออกซิเจน 2 อะตอมที่คาร์บอนในวงแหวนที่อยู่ติดกันและมีคลอรีนแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในวงเบนซีนที่ตำแหน่งต่างๆ รวมถึงสารอินทรีย์ที่มีสมบัติคล้ายไดออกซิน ได้แก่ พอลิคลอริเนเตดไดเบนโซฟิวแรน (polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)) และพอลิคลอริเนเตดไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls (PCBs)) ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ (ดู combustion) เช่น การเผาขยะ การหลอมโลหะ การเผาถ่านหิน ไม้ และน้ำมัน อุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี การฟอกสีในอุตสาหกรรมกระดาษ พบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ อากาศ และดิน สลายตัวได้ยากตามธรรมชาติ เป็นพิษต่อผิวหนัง ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์ และระบบต่อมไร้ท่อ ทำให้ตัวอ่อนพิการ และทำให้เกิดมะเร็ง



2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin



2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran

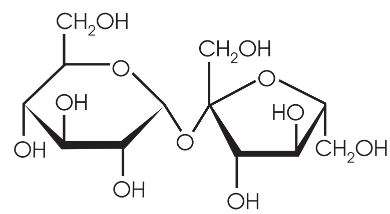


3,3′,4,4′,5-Pentachlorobiphenyl

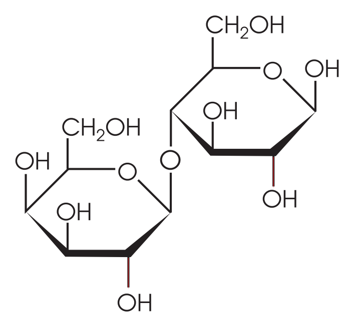
ตัวอย่างสารไดออกซินที่เป็นพิษสูง

disaccharide น้ำตาลโมเลกุลคู่

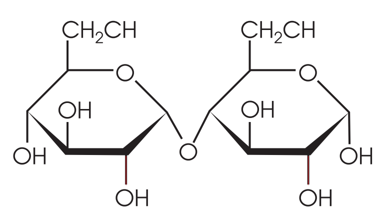
น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกัน เช่น น้ำตาลทรายหรือซูโครส (sucrose) ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) กับฟรักโทส (fructose) น้ำตาลนมหรือแล็กโทส (lactose) ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) กับกาแล็กโทส (galactose) และมอลโทส (maltose) ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) 2 โมเลกุล เป็นต้น ต้องถูกย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (ดู monosaccharide) ก่อนดูดซึมและเผาผลาญในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต



สูตรโครงสร้างของน้ำตาลทรายหรือซูโครส



สูตรโครงสร้างของน้ำตาลนมหรือแล็กโทส

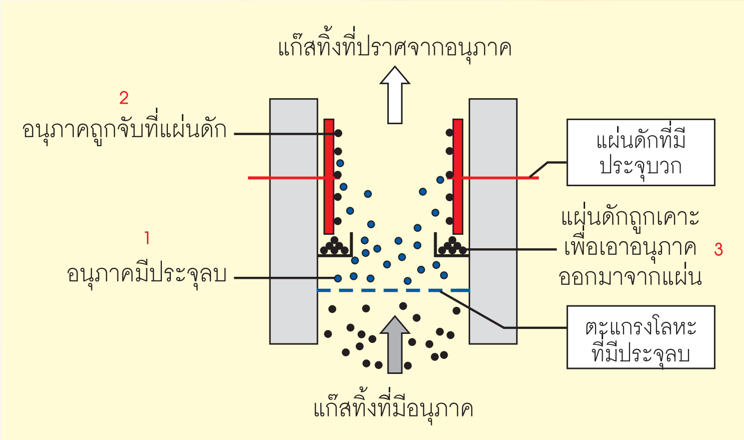


สูตรโครงสร้างของมอลโทส

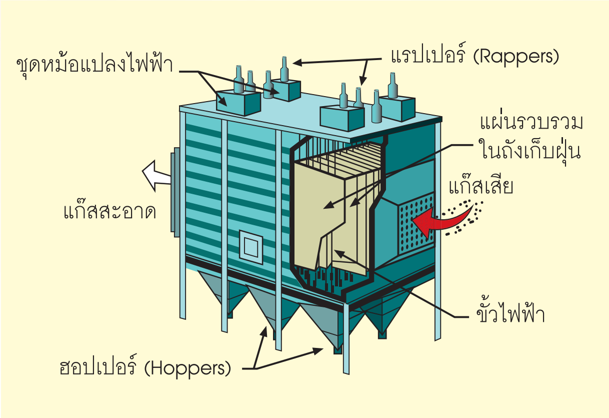
น้ำตาลผลิตได้จากพืชไร่ เช่น หัวบีต (sugar beet) และอ้อย เป็นต้น

electrostatic precipitator (ESP) เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (อีเอสพี)

อุปกรณ์กำจัดอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิต อนุภาคเหล่านี้ประกอบด้วยฝุ่นละออง และอาจมีหยดของเหลวขนาดเล็กที่แขวนลอยในแก๊สเสีย หลักการทำงาน คือ แก๊สที่มีฝุ่นละอองเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าจะเกิดประจุไฟฟ้า เมื่อเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังถังเก็บซึ่งมีประจุไฟฟ้าขั้วตรงข้ามกับฝุ่นละออง จะทำให้ฝุ่นละอองถูกดูดติดกับแผ่นรวบรวม (collector plates) ที่อยู่ภายในถังเก็บฝุ่น ประสิทธิภาพสูงมาก ดักอนุภาคที่มีขนาด 0.01-100 ไมครอนได้ ใช้ทำความสะอาดแก๊สเสียจากการเผาไหม้ถ่านหิน จัดเป็นเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ (post-combustion) เพื่อกำจัดมลพิษในแก๊สเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม



หลักการทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต



เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต

energy crop พืชพลังงาน

พืชที่สามารถแปรรูปผลผลิตมาเป็นพลังงานได้ซึ่งมักมีคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ เติบโตง่ายและให้ผลผลิตในระยะเวลาสั้น ใช้เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนได้อย่างยั่งยืนโดยแปรรูปเป็นพลังงานชีวภาพ (ดู bioenergy) ต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ พืชพลังงานที่ไม่เป็นพืชอาหาร (non-food crop) เช่นไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถิน หญ้าเนเปียร์ สบู่ดำ เป็นต้น และพืชพลังงานที่เป็นพืชอาหาร (food crop) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

enzyme catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์

สารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี โครงสร้างหลักเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดแอมิโนหลายหน่วย สร้างจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์อาหาร การย่อยสลายสารอาหาร และกระบวนการสร้างพลังงาน เอนไซม์แต่ละชนิดเร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วงอุณหภูมิ และความเป็นกรด-เบส (pH) ที่แคบ เนื่องจากเสียสภาพได้ง่าย ตำแหน่งกัมมันต์ (active sites) ของเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงต่อโครงสร้างของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น แอมิเลส (amylase) ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล เซลลูเลส (ดู cellulase) ย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ไลเพส (ดู lipase) ย่อยสลายไขมันในการผลิตเนยแข็ง เป็นสารลดแรงตึงผิวในผงซักฟอก และเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมันพืชเป็นกลีเซอรอล (ดู glycerol) และกรดไขมัน

equivalent ratio อัตราส่วนสมมูล

อัตราส่วนโดยมวล หรือโมลของเชื้อเพลิง กับสารออกซิไดส์ที่ใช้จริงเทียบกับอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับสารออกซิไดส์ที่คำนวณได้จากทฤษฎี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง (fuel equivalent ratio, Φ_{Fuel}) และอัตราส่วนสมมูลของสารออกซิไดส์ (oxidizer equivalent ratio, Φ_{oxi}) คำนวณจากสมการ

$$\Phi_{Fuel} = \frac{y_{fuel} / y_{air}}{(y_{fuel} / y_{air})_{stoi}} = \frac{\eta_{fuel} / \eta_{air}}{(\eta_{fuel} / \eta_{air})_{stoi}}$$

$$\Phi_{oxi} = \frac{1}{\Phi_{Fuel}}$$

เมื่อ y หมายถึง มวล และ η หมายถึง โมล

ถ้า Φ_{Fuel} เท่ากับ Φ_{oxi} แสดงว่าปริมาณสารออกซิไดส์เป็นไปตามการคำนวณจากปริมาณมวลสารสัมพันธ์ (stoichiometric ratio) กรณีที่ Φ_{Fuel} มีค่าน้อยกว่า 1 หรือ Φ_{oxi} มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าสารออกซิไดส์ (fuel-lean mixture) ขณะที่ Φ_{Fuel} ที่มีค่ามากกว่า 1 หรือ Φ_{oxi} มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่ามีปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าสารออกซิไดส์ (fuel-rich mixture)

esterification เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์กับแอลกอฮอล์ ได้เอสเทอร์และน้ำ (ดู water) เป็นผลผลิต ในภาวะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้เองอย่างช้าๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นผันกลับได้ง่าย การใช้แอลกอฮอล์ปริมาณมากเกินพอร่วมกับการกำจัดน้ำที่เป็นผลผลิตพลอยได้ (by-product) ด้วยโมเลกุลาร์ซีฟ (molecular sieve) หรือการกลั่นแบบสารผสมคงจุดเดือด (ดู azeotropic distillation) กับทอลิวอีนช่วยขับสมดุลของปฏิกิริยาให้เกิดเอสเทอร์สูงขึ้น ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) เอสเทอริฟิเคชันเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) ในวัตถุดิบน้ำมันพืช หรือไขสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง โดยผสมวัตถุดิบน้ำมันกับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) และกรดซัลฟิวริก ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง กำจัดน้ำที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงป้อนเข้าสู่ส่วนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยเบส

กรดไขมันอิสระ　　เมทานอล　　เมทิลเอสเทอร์　　น้ำ

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

ethanol fermentation การหมักเอทานอล

การย่อยคาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาล ได้แก่ กลูโคส ฟรักโทส และซูโครสของยีสต์ในภาวะปราศจากออกซิเจน (anaerobic) ได้พลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตแทนการหายใจ เอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) และคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) เป็นผลผลิตพลอยได้ยีสต์มีเอนไซม์ที่ใช้เปลี่ยนฟรักโทสและซูโครสให้เป็นกลูโคสก่อนผ่านการย่อยภายในเซลล์ ยีสต์ที่นิยมใช้หมักเอทานอลในอุตสาหกรรม คือ พันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเจริญเติบโตในเปลือกองุ่น การหมักเอทานอลเป็นกระบวนการแบบพลวัตที่ต้องควบคุมภาวะในการหมักให้เหมาะสมตลอดเวลา เพราะเมื่อยีสต์เจริญเติบโตจะปล่อยพลังงาน และคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อุณหภูมิและความเป็นกรด-เบส (pH) สูงขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิหรือค่าความเป็นกรด-เบสเกินช่วงที่กำหนดจะทำให้ยีสต์หยุดเจริญเติบโต จึงต้องระบายคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นออกจากถังหมักได้ นอกจากนี้เอทานอลที่เกิดขึ้นยังเป็นอันตรายต่อเซลล์ยีสต์ ดังนั้นน้ำหมักที่ได้จึงมีความเข้มข้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10-12 โดยปริมาตรเท่านั้น

eucalyptus timber ไม้ยูคาลิปตัส

พืชในสกุลยูคาลิปตัสส่วนใหญ่เป็นพืชถิ่นเดียว (endemic) ของประเทศออสเตรเลีย สายพันธุ์ที่นิยมปลูกนอกถิ่นกำเนิด ได้แก่ ยูคาลิปตัสโรบัสต้า (*E. robusta*) ยูคาลิปตัสโกลบูลัส (*P. globulus*) ยูคาลิปตัสเทอเร็ทติคอร์นิส (*E. tereticornis*) ยูคาลิปตัสยูโรฟิลล่า (*E. urophylla*) และยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส (*E. camaldulensis*) ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส ได้รับความนิยมปลูกในท้องที่อื่น เนื่องจากสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกประเภท มีรูปทรงของลำต้นสูงตรง และมีกิ่งก้านน้อย ในประเทศไทยเริ่มปลูกต้นยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิสครั้งแรกเมื่อปี 2508 ในโครงการสำรวจวัตถุดิบเพื่อผลิตเยื่อกระดาษ ที่จังหวัดเชียงใหม่ ศรีสะเกษ และกาญจนบุรี ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. เป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 24-26 เมตร หรืออาจสูงถึง 50 เมตร ใบเป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกัน ทรงใบเป็นรูปใบหอก มีขนาดตั้งแต่ 12-2.5 x 0.3-0.8 นิ้ว ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน บางครั้งมีสีเทา ใบบาง ห้อยลง เปลือกหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร มีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับขาว และน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้น ออกดอกเกือบตลอดปี เมล็ดขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร สีเหลือง ผลมีลักษณะครึ่งวงกลม หรือรูปถ้วย ผิวนอกแข็ง เมื่ออ่อนอยู่มีสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ ลักษณะเนื้อไม้ มีแก่นสีน้ำตาล กระพี้สีน้ำตาลอ่อน กระพี้และแก่นสีแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียด เสี้ยนสน (interlocked grain) บางครั้งบิดไปตามแนวลำต้น เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะอยู่ประมาณ 0.6-0.9 ในสภาพแห้ง ขึ้นอยู่กับอายุของไม้ เนื้อไม้แตกง่าย นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ได้แก่ การก่อสร้างเป็นโครงบ้านเรือน หมอนรถไฟ เฟอร์นิเจอร์ ใช้ประโยชน์น้ำมันจากต้นยูคาลิปตัสทั้งด้านการแพทย์ อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหยและการย้อมสี เป็นต้น มีศักยภาพเป็นพืชพลังงาน ใช้ทำฟืนและถ่านให้ค่าความร้อน 4,000-5,000 แคลอรีต่อกรัม

ลำต้น และใบของยูคาลิปตัสพันธุ์ K7

extraction การสกัด

การแยกองค์ประกอบ (ตัวถูกละลาย) ออกจากของแข็งหรือของเหลวโดยวิธีทางเคมี อาศัยหลักการละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมเคมีอินทรีย์ เช่น การสกัดน้ำมันจากสาหร่ายน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) การสกัดสารออกฤทธิ์จากพืชสมุนไพร เป็นต้น

extruded log ฟืนเทียม

เชื้อเพลิงแข็งที่มีรูปร่างทรงกระบอกยาว ตรงกลางอาจมีรูกลวง ได้จากการอัดแท่ง (briquetting) ผลิตจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ บดย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วอัดเพิ่มความหนาแน่น มีความชื้นประมาณร้อยละ 5-10

fast growing tree ไม้โตเร็ว

ต้นไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว วัดเส้นรอบวงที่เพิ่มขึ้นได้มากกว่า 5 เซนติเมตรต่อปี เทียบกับไม้ยืนต้นทั่วไปที่ประมาณ 2.5-4 เซนติเมตรต่อปี ได้แก่ ประดู่กิ่งอ่อน ยูคาลิปตัส กระถินเทพา กระถินณรงค์ กระถินยักษ์ สะเดาบ้าน และสะเดาเทียม เป็นต้น ให้ผลตอบแทนภายใน 5-10 ปี นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ เช่น ไม้ฟืน ถ่านไม้และเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นต้น และเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ผ่านการเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) หลายชนิดนำเข้าเพื่อเป็นอาหารปศุสัตว์ แต่แพร่กระจายออกไปทั่วประเทศกลายเป็นวัชพืชที่กำจัดยาก

ป่ายูคาลิปตัส

สมบัติทางเคมีของไม้โตเร็ว

องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของไม้โตเร็วชนิดต่างๆ

ชนิดชีวมวล	Proximate Value				Hight Heating Value, HHV (kJ/kg)
	Moisture Content (%)	Volatile Matter (%)	Ash Content (%)	Fixed Carbon (%)	
ไม้กระถินยักษ์	0.63	81	1.78	17	15,910
ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส	1.14	79	2.64	17	15,414
ไม้กระถินเทพา	1.03	82	1.86	15	16,047

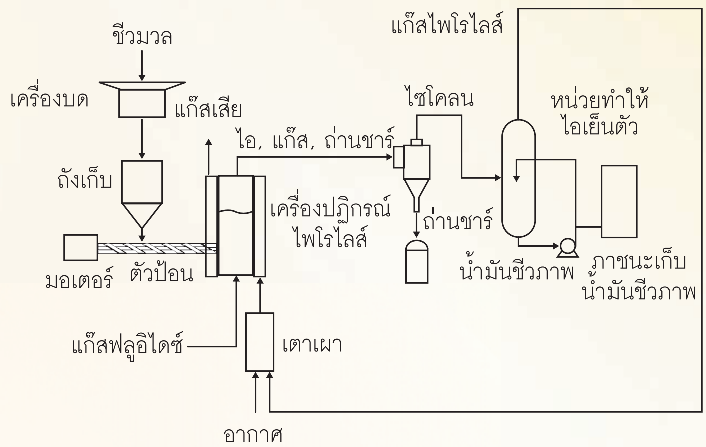
องค์ประกอบแบบละเอียด (Ultimate analysis) ของไม้โตเร็วชนิดต่างๆ

ชนิดชีวมวล	สัดส่วนของธาตุ (ร้อยละ)				
	C	H	N	S	O
ไม้กระถินยักษ์	47.55	6.55	0.38	0.01	54.49
ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส	48.93	8.05	0.52	0.02	57.52
ไม้กระถินเทพา	48.26	7.20	0.70	0.03	56.16

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกไม้โตเร็วเพื่อเป็นพลังงานชีวภาพ

fast pyrolysis การไพโรไลส์แบบเร็ว

การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) แบบเร็วที่เน้นปริมาณและคุณภาพผลผลิตที่เป็นของเหลวโดยให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว อัตราการให้ความร้อนสูงระหว่าง 1,000-10,000 องศาเซลเซียส/วินาที ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปมักได้ผลผลิตที่เป็นแก๊สมากกว่า ปฏิกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ คือ เตาแกซิฟายแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed gasifier) (ดู gasifier) มีการประยุกต์เทคโนโลยีนี้เพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราการให้ความร้อนที่สูงมาก อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 425-600 องศาเซลเซียส เวลาที่ไอระเหยที่เกิดจากการไพโรไลส์ของชีวมวล (ดู biomass) อยู่ในเตาสั้นมาก (น้อยกว่า 3 วินาที) และต้องควบแน่นผลผลิตแก๊สที่ออกมาจากเตาอย่างรวดเร็วเพื่อหยุดปฏิกิริยาในวัฏภาคแก๊ส



การไพโรไลส์แบบเร็ว

fermentation การหมัก

กระบวนการเปลี่ยนทางชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ (yeast) อยู่ในกลุ่ม *saccharomyces* เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส (glucose) ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย ได้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 9-12 ผลได้เป็นแอลกอฮอล์ร้อยละ 51.1 คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) เป็นผลผลิตร่วมร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนัก และมีความร้อนเกิดขึ้นด้วย ต้องมีสารอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 3.0-5.0 และอุณหภูมิระหว่าง 26-32 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของน้ำตาลในช่วงร้อยละ 16-22 ในอุตสาหกรรมใช้วัตถุดิบตั้งต้นเป็นกากน้ำตาลหรือน้ำอ้อยมาหมักโดยตรง แต่ถ้าใช้แป้งจากมันสำปะหลังต้องผ่านขั้นตอนการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์หรือกรดให้เป็นน้ำตาลก่อน

ใช้มันสำปะหลัง/แป้ง

$$\underset{\text{แป้ง}}{(C_6H_{12}O_5)_n + n\,H_2O} \xrightarrow{\text{เอนไซม์}} \underset{\text{น้ำตาล}}{nC_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{ยีสต์}} \underset{\text{เอทานอล}}{2nC_2H_5OH} + 2nCO_2$$

ใช้กากน้ำตาล/น้ำอ้อย

$$\underset{\text{น้ำตาล}}{nC_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{ยีสต์}} \underset{\text{เอทานอล}}{2nC_2H_5OH} + 2nCO_2$$

กระบวนการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบประเภทแป้งและน้ำตาล

Fischer-Tropsch synthesis การสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์

การเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) ที่เปลี่ยนถ่านหินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวทางอ้อมโดยผ่านปฏิกิริยาการแกซิฟาย (ดู gasification) ถ่านหิน เป็นแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) ก่อน ได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนผสมที่มีอะตอมคาร์บอนระหว่าง 10-23 อะตอม และสารเคมีชนิดอื่น ได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ และคีโทน เป็นต้น เกิดที่อุณหภูมิ 220-300 องศาเซลเซียส และความดัน 9.8-49 บาร์ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะ เช่น โคบอลท์ เหล็ก โดยมีปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์เป็นปฏิกิริยาข้างเคียง สารประกอบโฮโดรคาร์บอนผสมที่ได้จากกระบวนการต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพและการแยกต่างๆ เช่น การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน การกลั่น เป็นต้น เพื่อให้ได้ส่วนกลั่นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ได้แก่ ดีเซล เบนซิน น้ำมันก๊าด แก๊สหุงต้ม น้ำมันหล่อลื่น และมีเทน (ดู methane) เป็นต้น

$$nCO + (2n + 1)\ H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O \qquad \Delta H = -167\ \text{kJ/mol}$$ ปฏิกิริยาฟิสเชอร์-ทรอปช์

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad \Delta H = -41\ \text{kJ/mol}$$ ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์

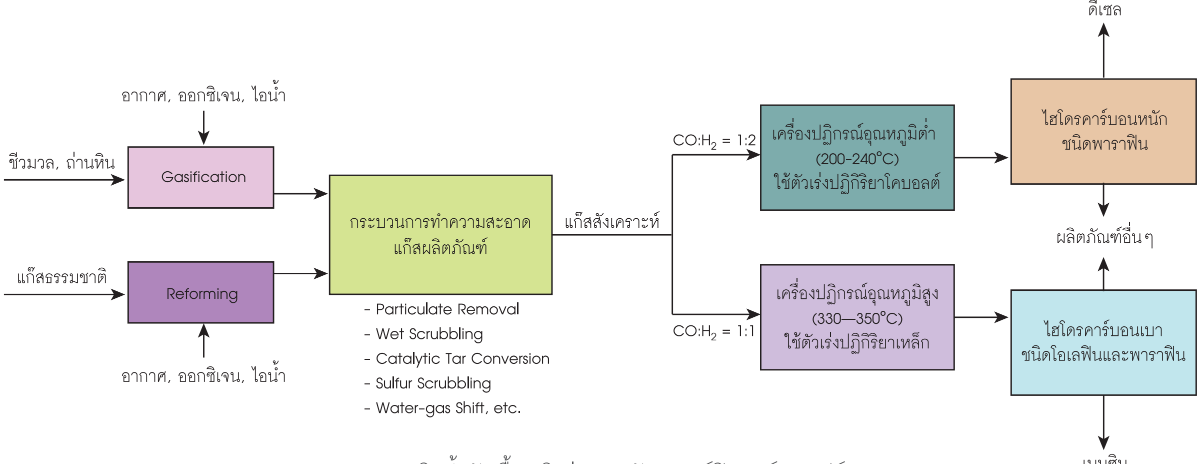
การผลิตไฮโดรคาร์บอนเหลวจากถ่านหินผ่านการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์

ฟิสเชอร์-ทรอปช์เป็นชื่อปฏิกิริยาที่รู้จักดีในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์ พัฒนาขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมัน โดยมี ศาสตราจารย์ ฟรานซ์ ฟิสเชอร์ (Franz Fischer) และ ดร.ฮานซ์ ทรอปช์ (Hans Tropsch) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันเป็นผู้คิดค้นขึ้นในปี 1925 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เนื่องจากความต้องการน้ำมันในการสงคราม โดยใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ และเปลี่ยนเป็นแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) ก่อน

ศาสตราจารย์ ฟรานซ์ ฟิสเชอร์

ดร.ฮานซ์ ทรอปช์

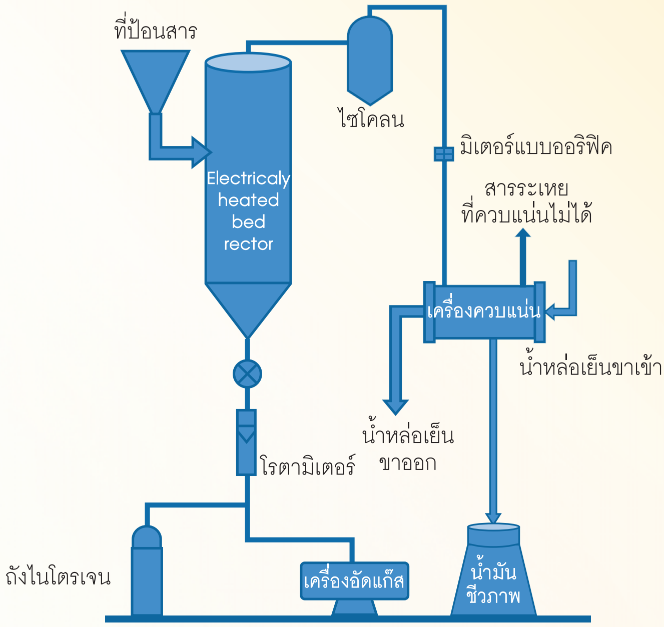
ระบบการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรีและดีเซลสังเคราะห์ที่ผลิตได้



การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์

flash pyrolysis การไพโรไลส์แบบสั้นมาก

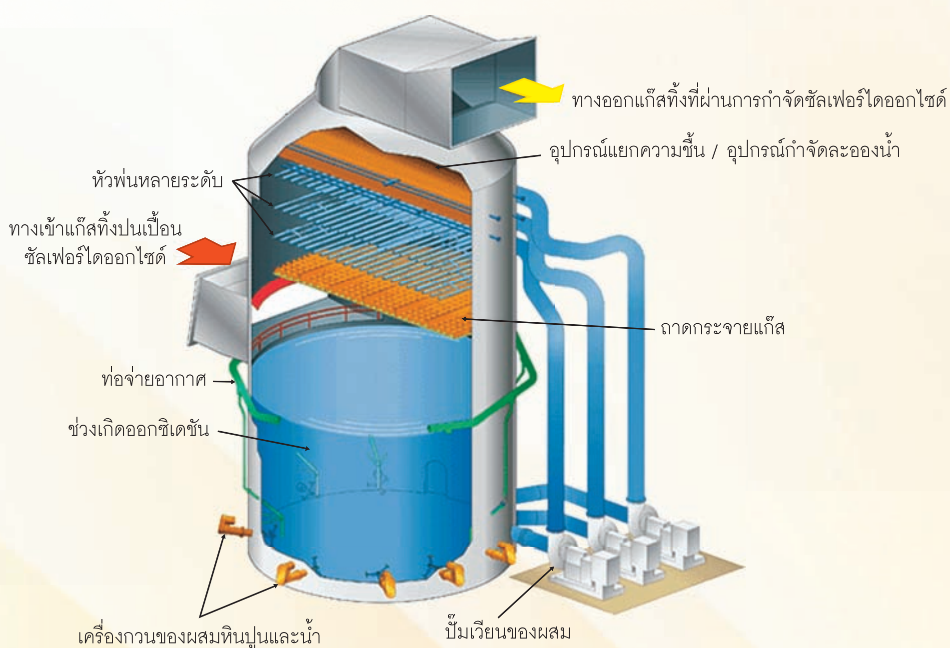
การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ที่มีอัตราการให้ความร้อนสูงทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงเข้าสู่อุณหภูมิสุดท้ายอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้นมาก (30-1,500 มิลลิวินาที) ช่วงอุณหภูมิการไพโรไลส์ระหว่าง 450-600 องศาเซลเซียส ผลผลิตซึ่งประกอบด้วยแก๊สทั้งที่ควบแน่นได้ (condensable gas) และควบแน่นไม่ได้ (noncondensable gas) ออกจากเครื่องปฏิกรณ์การไพโรไลส์ (pyrolyzer) เข้าสู่เครื่องควบแน่นวิธีการนี้ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของเหลว และลดการเกิดถ่านชาร์ โดยทั่วไปแล้วได้เชื้อเพลิงเหลวประมาณร้อยละ 70-75 ของผลผลิตทั้งหมด



การไพโรไลส์แบบสั้นมาก

flue gas desulfurization (FGD) ดีซัลฟิวไรเซชันของแก๊สทิ้ง

การกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในแก๊สทิ้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบเปียก (wet type) และแบบแห้ง (dry type) เทคโนโลยีแบบเปียกเป็นที่นิยมมากโดยใช้น้ำผสมหินปูนสเปรย์ลงมาสวนทางกับแก๊สทิ้ง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สทิ้งทำปฏิกิริยากับหินปูนเกิดเป็นยิปซัมซึ่งนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้



ดีซัลฟิวไรเซชันของแก๊สทิ้งแบบหอสเปรย์

forest biomass, forest residue ชีวมวลจากป่า, ของเหลือทิ้งจากป่า

ต้นไม้จากป่า รวมถึงวัสดุเหลือทิ้งจากการตัดไม้ หรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซากต้นไม้ที่ถูกตัดหรือโค่นด้วยมนุษย์หรือภัยธรรมชาติ ได้รับความสนใจใช้เป็นพลังงานชีวภาพ (ดู bioenergy) โดยเฉพาะประเทศที่มีพื้นที่ป่าต่อจำนวนประชากรสูง เช่น ประเทศฟินแลนด์ สวีเดน แคนาดา และสหรัฐอเมริกา ระยะเวลาการปลูกทดแทนรวมถึงการสูญเสียแร่ธาตุในดินเป็นประเด็นที่ต้องคำนึง จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการที่ดีในระยะยาว

ชีวมวลจากป่าภายหลังการตัดหรือเก็บเกี่ยว

fuel equivalent power กำลังเทียบเท่าของเชื้อเพลิง

กำลังหรือพลังงานที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาจากเชื้อเพลิง (P_{fe}) บนสมมติฐานว่า พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงถูกแปรรูปเป็นพลังงานอย่างสมบูรณ์

$$P_{fe} = \frac{HV \times M_f}{3{,}600}$$

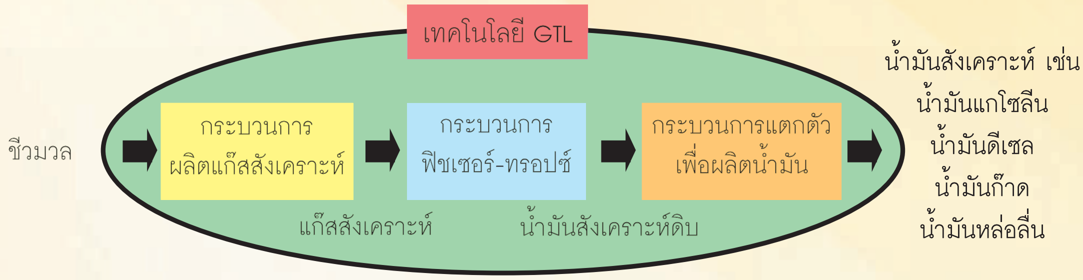
เมื่อ P_{fe} คือ กำลังเทียบเท่าของเชื้อเพลิง (กิโลวัตต์, kW)

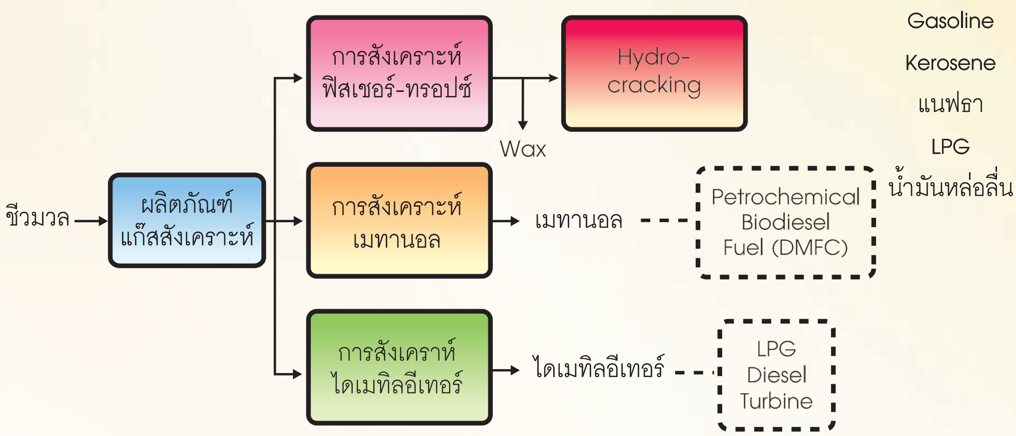
HV คือ ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม kJ/kg)

M_f คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง, kg/hr)

gas to liquid (GTL) เทคโนโลยีแก๊สสู่ของเหลว (จีทีแอล)

การเปลี่ยนแก๊สสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเหลวชนิดต่างๆ ผ่านการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) การสังเคราะห์เมทานอล (ดู methanol synthesis) หรือการสังเคราะห์ไดเมทิล อีเทอร์ (ดู dimethyl ether synthesis) วัตถุดิบตั้งต้นสำหรับผลิตแก๊สสังเคราะห์ ได้แก่ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ ชีวมวล (ดู biomass) เป็นต้น

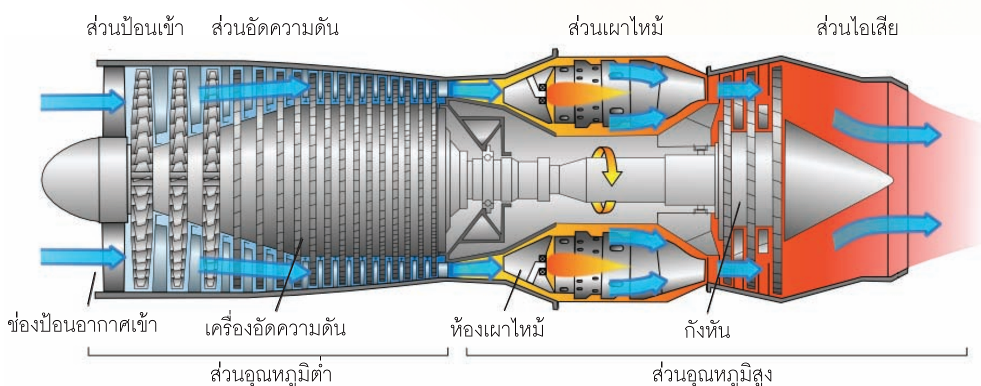




เทคโนโลยีแก๊สสู่ของเหลว, จีทีแอล

gas turbine กังหันแก๊ส

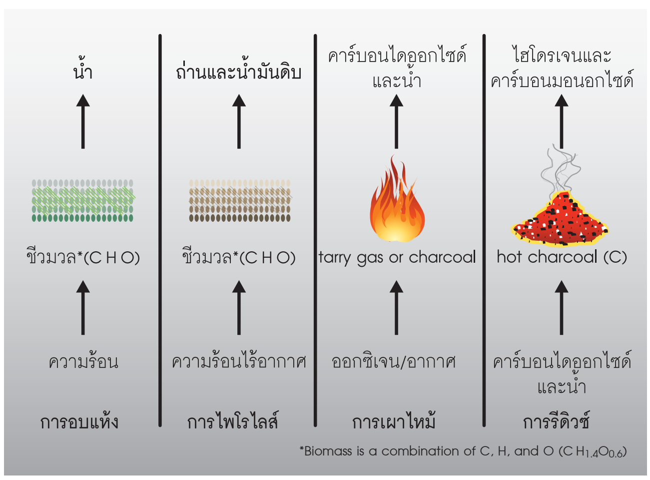
เครื่องต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ใช้แก๊สร้อนความดันสูงที่ได้จากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ไปหมุนกังหันแก๊ส เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลจากการหมุนของเพลาของกังหันแก๊สซึ่งต่อกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการเหนี่ยวนำ และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ มักติดตั้งเป็นชุดเดียวกันกับเครื่องอัดแก๊ส (compressor) และห้องเผาไหม้ (combustion chamber) ทำงานโดยป้อนแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ต่างจากกังหันไอน้ำ (ดู steam turbine) ที่ทำงานโดยการป้อนไอน้ำยิ่งยวดที่ได้จากหม้อน้ำความดันสูง (boiler) ที่ติดตั้งแยกออกต่างหาก



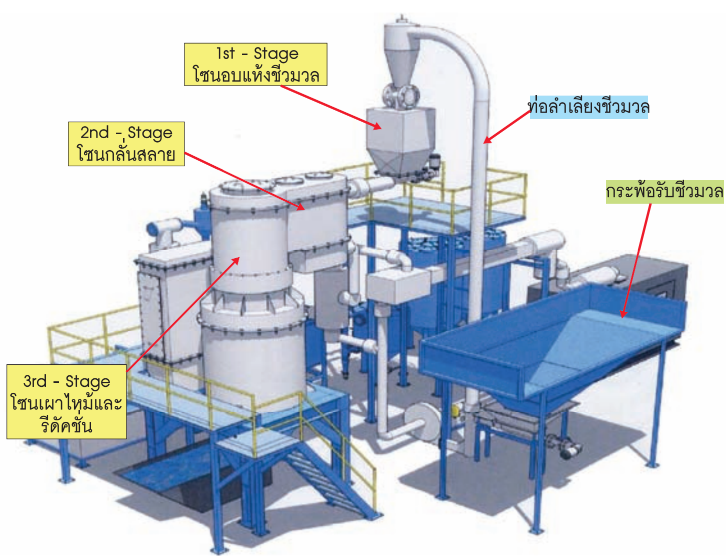
กังหันแก๊ส

gasification การแกซิฟาย, แกซิฟิเคชัน, แก๊สซิฟิเคชัน, การแปรสภาพเป็นแก๊ส

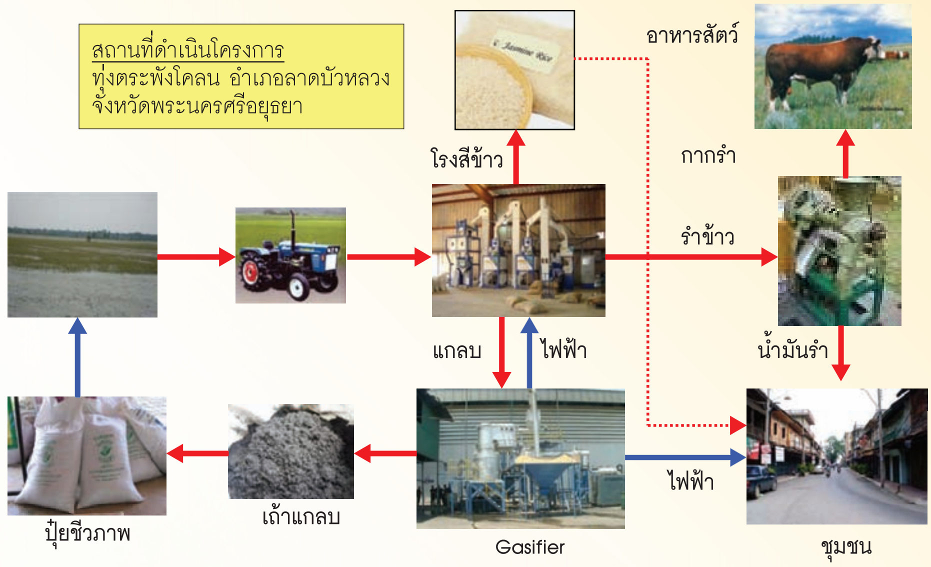
การเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) ของเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่ดำเนินการที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800-1,300 องศาเซลเซียส ในภาวะออกซิเจนจำกัด และเกิดการเผาไหม้บางส่วน (partial oxidation) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน หรือกระบวนการย่อย ได้แก่ การอบแห้ง (drying) การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) การเผาไหม้ (ดู combustion) และการรีดิวซ์ (reduction) โดยเกิดปฏิกิริยาตามลำดับอย่างต่อเนื่องในเตาแกซิฟาย (ดู gasifier) ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้เป็นแก๊สผสมระหว่างไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH_4) (ดู methane) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดู carbon dioxide) ไนโตรเจน (N_2) และสารเจือปนอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ดู hydrogen sulfide) และทาร์ หรือน้ำมันดิน (ดู tar) ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือปรับเพิ่มร้อยละมีเทน ใช้เป็นแก๊สธรรมชาติสังเคราะห์ (synthetic natural gas) หรือใช้เป็นแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์อื่นๆ ได้ต่อไป ประเทศไทยโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการแกซิฟาย เพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าตัวอย่าง เช่น โครงการสาธิตระบบผลิตพลังงานจากชีวมวลระดับชุมชนจังหวัดลพบุรี โครงการศูนย์สาธิตและพัฒนาพลังงานทดแทนจากข้าว จังหวัดพระนครศรีอยุธยาโครงการโรงงานไฟฟ้าระบบแกซิฟิเคชัน จังหวัดเชียงรายและจังหวัดนครราชสีมา รวมถึงความร่วมมือพัฒนาเตาแกซิฟาย (ดู gasifier) กับประเทศเพื่อนบ้านด้วยพัฒนาเตาแกซิฟาย (ดู gasifier) กับประเทศเพื่อนบ้านด้วย



4 ขั้นตอนของการแกซิฟาย



โครงการสาธิตระบบผลิตพลังงานจากชีวมวลระดับชุมชน จังหวัดลพบุรี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)



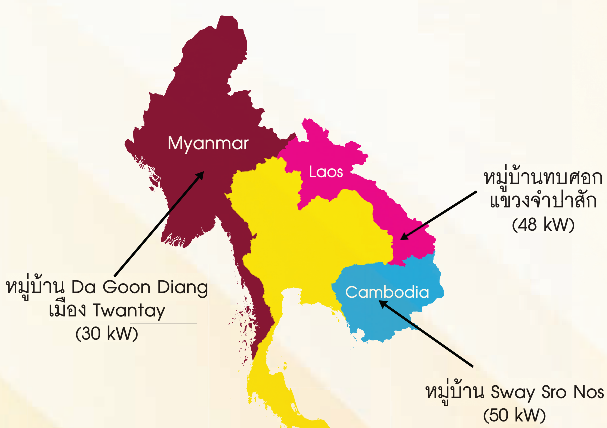
โครงการศูนย์สาธิตและพัฒนาพลังงานทดแทนจากข้าว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
กรมพัฒนาพลังงานทดแทน อนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

บริษัท ซูพรีมรีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย	
ประเภทของระบบ	Downdraft Gasification
กำลังการผลิตติดตั้ง	150 kW (จำหน่ายไฟฟ้า แบบ VSPP)
เชื้อเพลิง	ซังข้าวโพด, เศษไม้
ระบบทำความสะอาดก๊าซ	Wet Scrubber and biomass filter
ผลพลอยได้จากระบบ	เถ้าขี้มวล (ใช้ทำปุ๋ย)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา	
ประเภทของระบบ	Downdraft Gasification
กำลังการผลิตติดตั้ง	100 kW
เชื้อเพลิง	ซังข้าวโพด, ไม้ฟืน, เหง้ามันสำปะหลัง
ระบบทำความสะอาดก๊าซ	Cyclone and chiller
ผู้ผลิตเทคโนโลยี	Satake, Japan

โครงการโรงงานไฟฟ้าระบบแกซิฟิเคชัน จังหวัดเชียงรายและจังหวัดนครราชสีมา

โรงไฟฟ้าระบบแกซิฟิเคชัน ขนาด 50 kW จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี

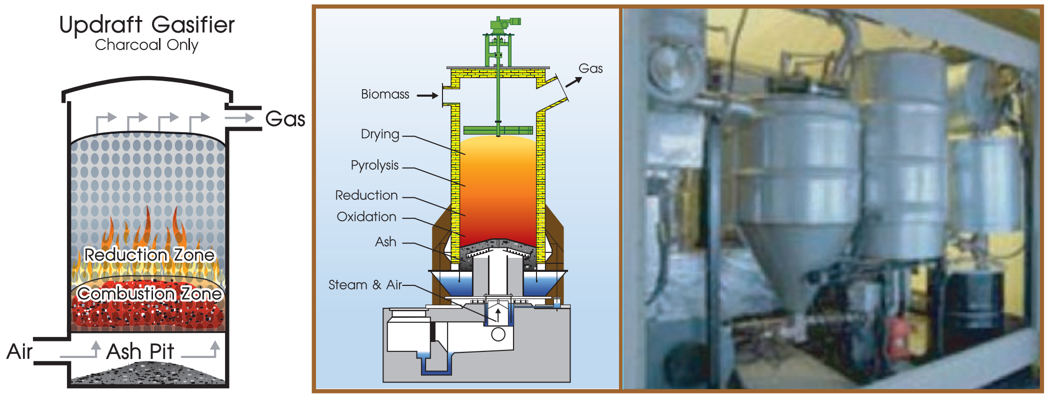


ความร่วมมือพัฒนาเตาแกซิฟายกับประเทศเพื่อนบ้าน

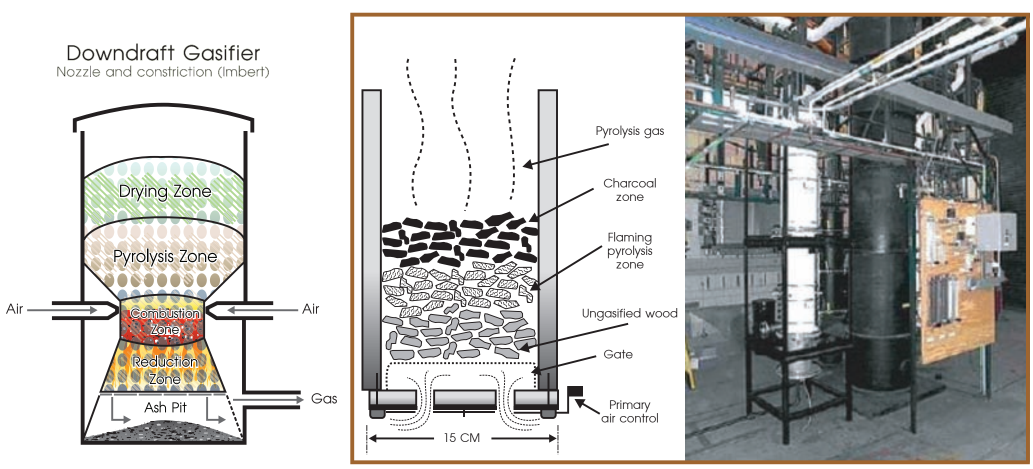
gasifier เตาแกซิฟาย, แก๊สซิฟายเออร์

เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการแกซิฟาย (ดู gasification) จำแนกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของของแข็งภายในเตาได้เป็น 3 แบบ คือ เตาแกซิฟายแบบเบดนิ่ง (fixed bed gasifier) เตาแกซิฟายแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed gasifier) และเตาแกซิฟายแบบไหลผ่าน (entrained flow gasifier)

เตาแกซิฟายแบบเบดนิ่ง (fixed bed gasifier) มีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อนมาก เชื้อเพลิงจะเคลื่อนลงด้านล่างของเตา ส่วนอากาศถูกป้อนเข้าทางด้านล่างไหลขึ้นด้านบนสวนทางกับเชื้อเพลิง เรียกว่า เตาแกซิฟายแบบไหลขึ้น (updraft gasifier) หรืออีกแบบหนึ่ง อากาศถูกป้อนให้ไหลทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิง เรียกว่า เตาแกซิฟายแบบไหลลง (downdraft gasifier)

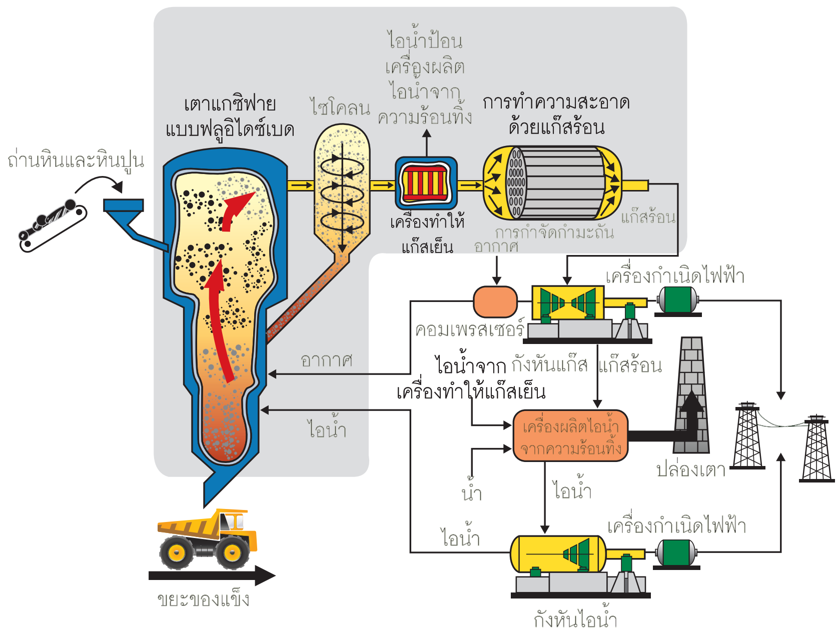


เตาแกซิฟายแบบไหลขึ้น



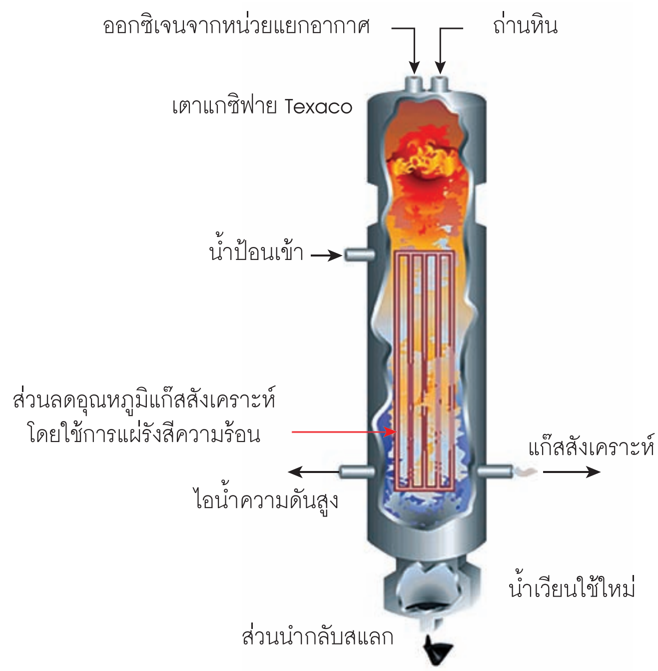
เตาแกซิฟายแบบไหลลง

เตาแกซิฟายแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed gasifier) มีลักษณะการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อน เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก ความหนาแน่นต่ำ ปริมาณเถ้าสูง การสัมผัสระหว่างอากาศ หรือสารร่วมทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพ ดำเนินงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ 800-900 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของเถ้า ต้องการความเร็วอากาศสูง เกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงไปบางส่วน มีฝุ่นปะปนในผลิตภัณฑ์แก๊สสูง ปัจจุบันเตาแบบนี้ถูกพัฒนาเป็น 2 รูปแบบ คือ การแกซิฟายโดยตรง (direct gasification) และการแกซิฟายทางอ้อม (indirect gasification)



เตาแกซิฟายแบบฟลูอิไดซ์เบด

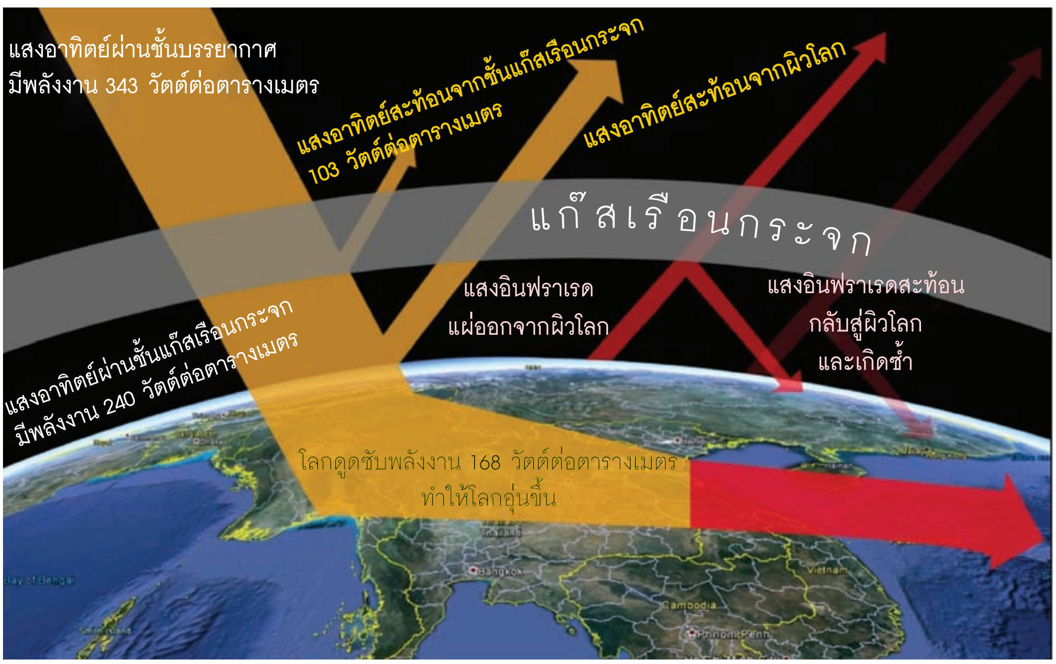
เตาแกซิฟายแบบไหลผ่าน (entrained flow gasifier) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก เช่น ผงถ่านหิน ชีวมวล (ดู biomass) บดละเอียด เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,300-1,500 องศาเซลเซียส มักใช้สารร่วมทำปฏิกิริยาเป็นออกซิเจนบริสุทธิ์ ไม่นิยมนำมาใช้กับชีวมวลโดยตรง เพราะปัญหาการลดขนาดชีวมวลให้มีขนาดเล็กเพียงพอนั้นทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง



เตาแกซิฟายแบบไหลผ่าน

greenhouse effect ปรากฏการณ์เรือนกระจก

ปรากฏการณ์ที่ทำให้โลกอุ่นขึ้นที่มีมาตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ทำให้อุณหภูมิของผิวโลกเหมาะสมกับการกำเนิดสิ่งมีชีวิต เกิดจากแก๊สเรือนกระจก (ดู greenhouse gas (GHG)) ที่อยู่ในบรรยากาศของโลกเก็บความร้อนจากดวงอาทิตย์ และความร้อนที่สะท้อนจากผิวโลกไว้ ความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกมีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิของผิวโลก หลังการปฏิวัติอุตสาหกรรม มนุษย์เผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (ดู fossil fuel) ในกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดินทางการขนส่ง และการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming)



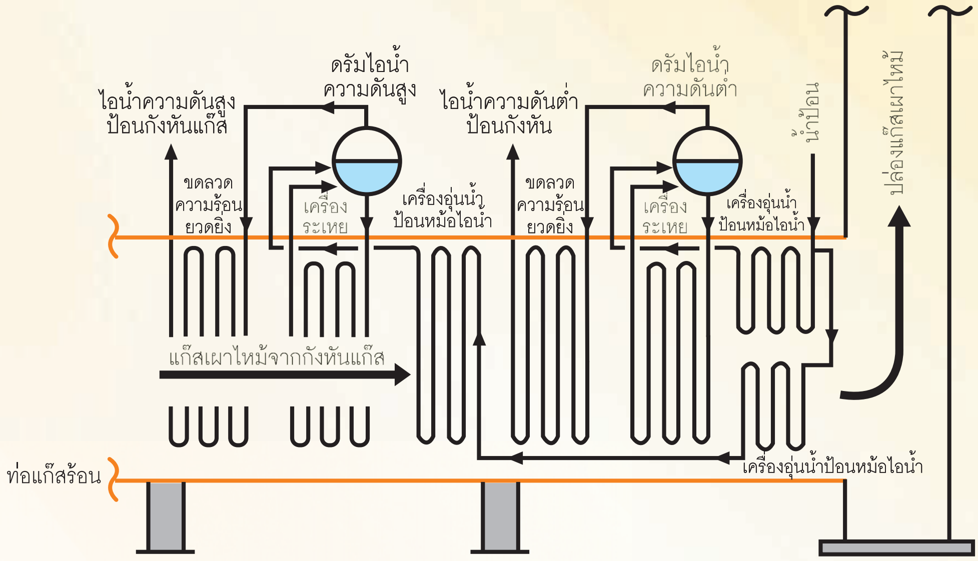
ปรากฏการณ์เรือนกระจก

greenhouse gases (GHG) แก๊สเรือนกระจก

แก๊สหลายชนิดที่สามารถดูดกลืนพลังงานจากรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากพื้นโลก และแผ่รังสีนั้นกลับสู่พื้นโลกส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (ดู greenhouse effect) แก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และมีเทน (ดู methane) ไอน้ำเป็นแก๊สเรือนกระจกที่สามารถกักเก็บ และแผ่รังสีความร้อนได้ดีที่สุด แต่ความเข้มข้นของไอน้ำในบรรยากาศเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์น้อยมาก เมื่อเทียบกับแก๊สเรือนกระจกชนิดอื่น คาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับมีเทน

heat recovery steam generator (HRSG) หน่วยผลิตไอน้ำจากการนำกลับความร้อน

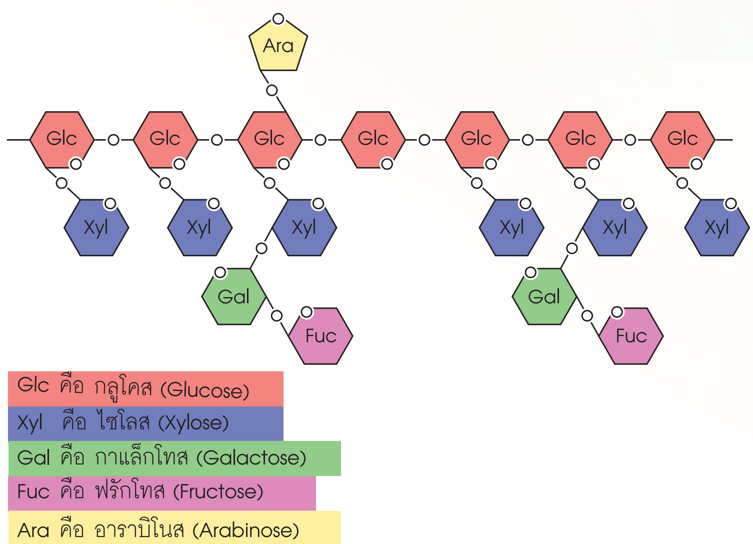
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนที่ออกจากกังหันแก๊ส (ดู gas turbine) กับน้ำ (ดู water) เพื่อผลิตเป็นไอน้ำยิ่งยวดความดันสูงสำหรับป้อนเข้ากังหันไอน้ำ (ดู steam turbine) โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนกับน้ำ (economizer) ส่วนระเหย (evaporator) ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผลิตไอน้ำยิ่งยวด (superheater) และส่วนอุ่นน้ำ (water preheater) เป็นหน่วยปฏิบัติการสำคัญที่มีผลเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบพลังความร้อนร่วม



เครื่องผลิตไอน้ำที่ใช้ความร้อนจากแก๊สที่ออกจากกังหันแก๊ส

hemicellulose เฮมิเซลลูโลส

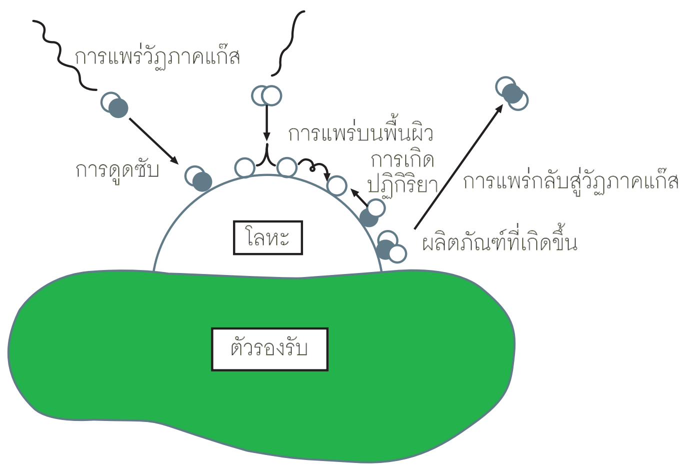
สารประกอบเฮเทอโรพอลิเมอร์ (heteropolymer) ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose) อาราบิโนส (arabinose) แมนโนส (mannose) และกาแล็กโทส (galactose) เป็นต้น โครงสร้างเป็นแบบสุ่มประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวประมาณ 500-3,000 โมเลกุล โดยทั่วไปพบที่ผนังเซลล์พืช เฮมิเซลลูโลสช่วยเชื่อมกลุ่มของเส้นใยเซลลูโลส (ดู cellulose) เข้าด้วยกันตามแนวขวาง มีความต้านทานต่อสารเคมีน้อยกว่าเซลลูโลส สามารถสลายตัวได้ง่ายในกรด และเบสเจือจาง



โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

heterogeneous catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

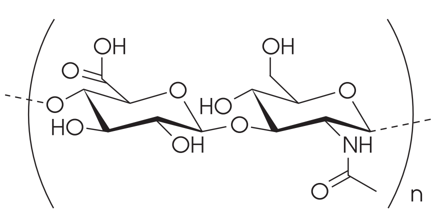
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายในวัฏภาคของสารตั้งต้นและผลผลิต ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของแข็ง เช่น โลหะ โลหะออกไซด์ คาร์บอน และพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน และพื้นที่ผิว (surface area) สูง การเร่งปฏิกิริยาเริ่มจากโมเลกุลของสารตั้งต้นแพร่เข้าไปภายในรูพรุนและเกิดการดูดซับ (adsorption) บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีตำแหน่งกัมมันต์ (active sites) ทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นผลผลิตที่ต้องการอย่างจำเพาะเจาะจง (selectivity) โมเลกุลของผลผลิตคายจากตำแหน่งกัมมันต์ และแพร่ออกจากรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ออกจากผลผลิตทำได้ง่าย ลดการปนเปื้อนผลผลิต ลดขั้นตอนการทำผลผลิตให้บริสุทธิ์ ลดของเสียจากกระบวนการผลิต และสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำได้ ข้อเสีย คือ การเร่งปฏิกิริยาในระบบนี้เกิดช้ากว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ (ดู homogeneous catalyst) เนื่องจากข้อจำกัดการถ่ายโอนมวลทำให้ต้องใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น หรือทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น

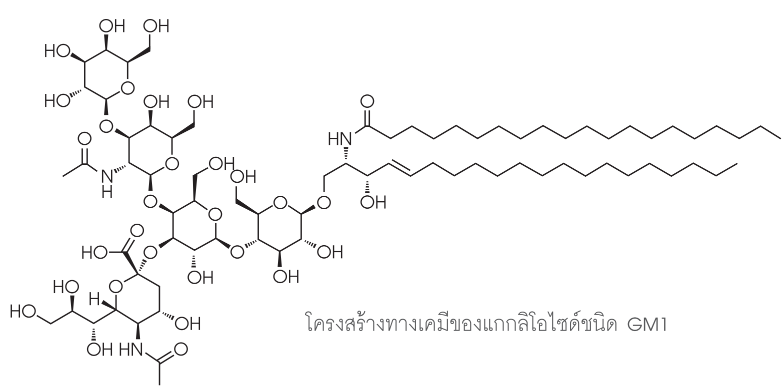


การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์บนโลหะ

heteropolysaccharide, heteroglycans เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์, เฮเทอโรไกลแคน

พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรืออนุพันธ์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า 1 ชนิดเป็นมอนอเมอร์ (monomer) ส่วนใหญ่มีหน่วยซ้ำ (repeating unit) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (ดู disaccharide) และสารเคมีอื่น เช่น โปรตีนและลิพิด ส่วนใหญ่พบในเนื้อเยื่อเซลล์สัตว์ เช่น โกลบูลิน (globulin) ในพลาสมา (blood plasma) แกงกลิโอไซด์ (gangliosides) ในระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) และกรดไฮยาลูโรนิก หรือไฮยาลูโรแนน (hyaluronic acidor hyaluronan) ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เป็นต้น เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในเซลล์พืช คือ เฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose)


โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮยาลูโรนิกหรือไฮยาลูโรแนน

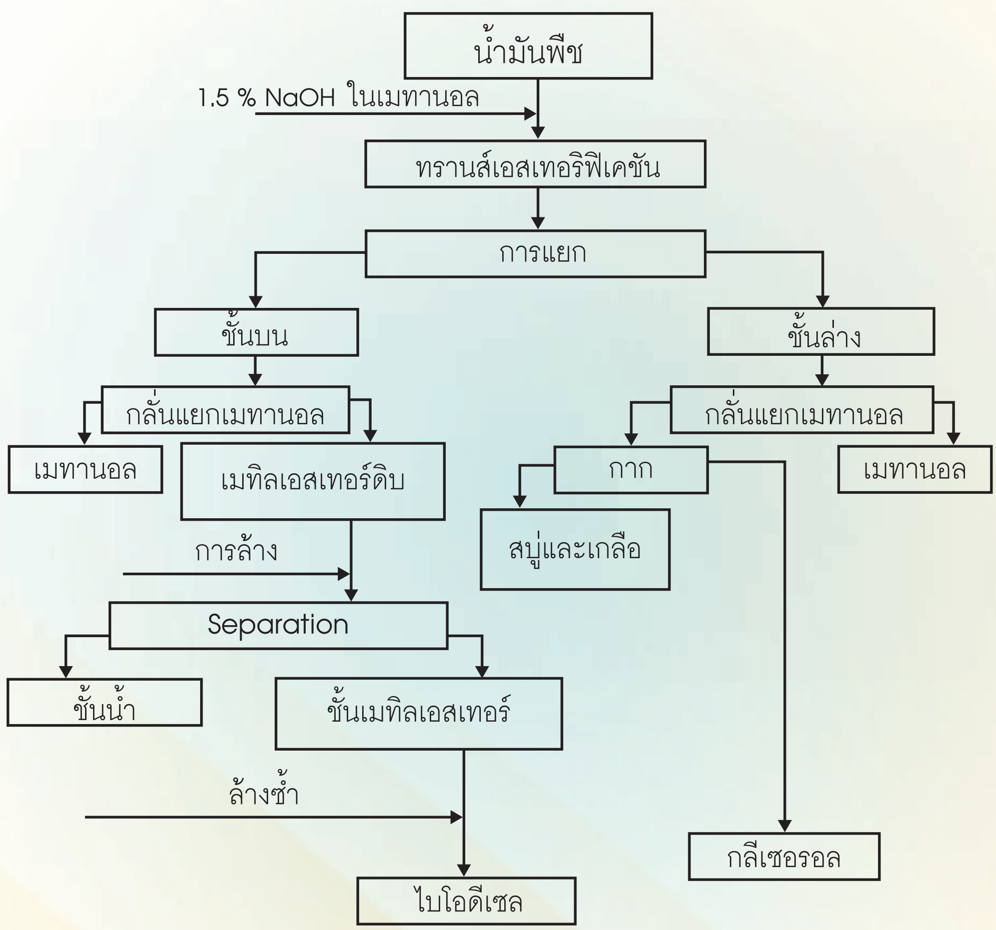

โครงสร้างทางเคมีของแกกลิโอไซด์ชนิด GM1

holocellulose โฮโลเซลลูโลส

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยเซลลูโลส (ดู cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose)

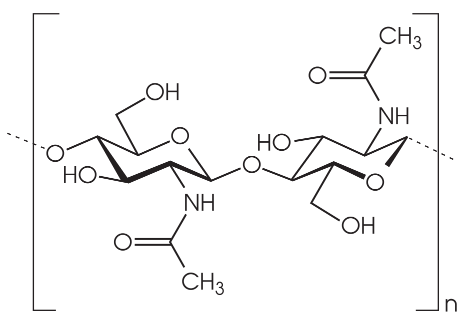
homogeneous catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้นและผลผลิต เช่น กรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการทำเอสเทอริฟิเคชัน (ดู esterification) ของกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) กับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดู alkaline catalyst, sodium hydroxide) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น การละลายเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้น ทำให้การถ่ายโอนมวลของปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว และใช้อุณหภูมิไม่สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ส่วนใหญ่มีราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย ข้อเสีย คือ กรดหรือเบสมีฤทธิ์กัดกร่อน เป็นพิษ ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำ ปนเปื้อนในผลผลิต กระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์จึงมีขั้นตอนการแยก และการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์หลายขั้นตอน



ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

homopolysaccharide, homoglycans โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์, โฮโมไกลแคน
พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรืออนุพันธ์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพียง 1 ชนิดเป็นมอนอเมอร์ (monomer) เช่น เซลลูโลส (ดู cellulose) แป้ง และไกลโคเจน (glycogen) ประกอบด้วยกลูโคสเพียงชนิดเดียว เพนโทแซน (pentosans) ที่ประกอบด้วยฟรักโทส (fructose) เพียงชนิดเดียว เพกทิน (pectin) ประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกาแล็กโทสเพียงชนิดเดียว และไคทิน (chitin) ประกอบด้วยแอซีทิลกลูโคซามีน (*n*-acetyl-D-glucosamine) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคสเพียงชนิดเดียว เป็นต้น



โครงสร้างทางเคมีของไคทิน

เพกทินพบมากในผลไม้และผลเบอร์รี

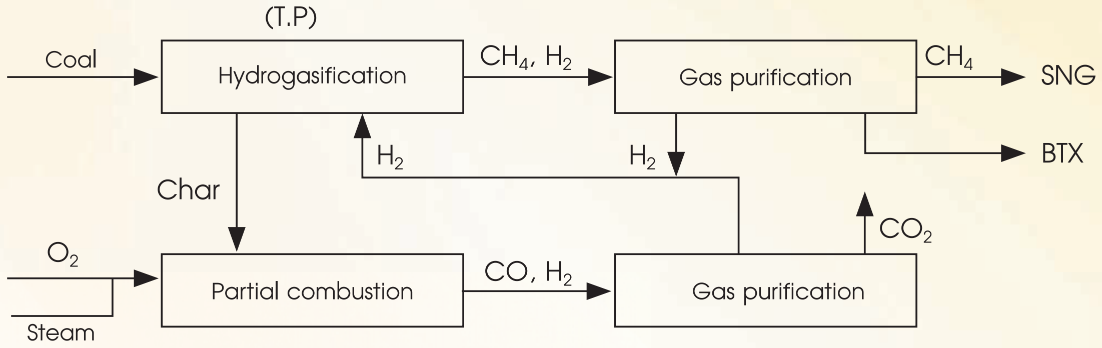
hot-compressed water, liquid-hot water, autohydrolysis ออโตไฮโดรไลซิสด้วยน้ำร้อนอัดความดัน
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) (ดู solvolysis) ที่เกิดโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยน้ำร้อนอัดความดัน ตัวทำละลาย คือ น้ำ (ดู water) บริสุทธิ์ ที่ความดันสูงกว่าความดันอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมิคงที่ ยังคงมีสถานะเป็นของเหลวแม้ว่าอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดปกติ มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ไม้กระถินยักษ์ ก่อนและหลังผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนอัดความดัน

hydrogasification การแกซิฟายด้วยไฮโดรเจน

การแกซิฟาย (ดู gasification) ในบรรยากาศไฮโดรเจนเข้มข้น ช่วยเพิ่มผลได้ของมีเทน (ดู methane) ในแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) จากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอน และปฏิกิริยามีเทเนชัน แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนสูงขึ้น ดำเนินการภายใต้ภาวะความดันสูงกว่าบรรยากาศ ประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตแก๊สธรรมชาติสังเคราะห์จากถ่านหินหรือชีวมวล (ดู biomass) ได้

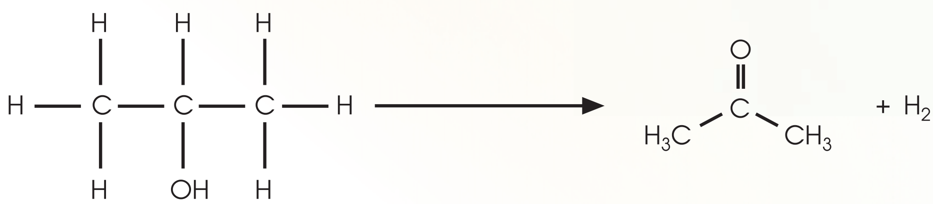
$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$$



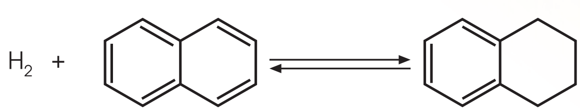
กระบวนการการแกซิฟายด้วยไฮโดรเจน

hydrogen donor ตัวให้ไฮโดรเจน

สารประกอบอินทรีย์ที่สามารถให้ไฮโดรเจน (H) แก่สารอื่น เช่น ไอโซโพรพานอล ซึ่งเมื่อให้ไฮโดรเจนแล้วจะเปลี่ยนเป็นแอซีโทนเททระลิน สามารถทั้งให้และรับไฮโดรเจน เป็นต้น



ไอโซโพรพานอลที่ให้ไฮโดรเจน และเปลี่ยนเป็นแอซีโทน



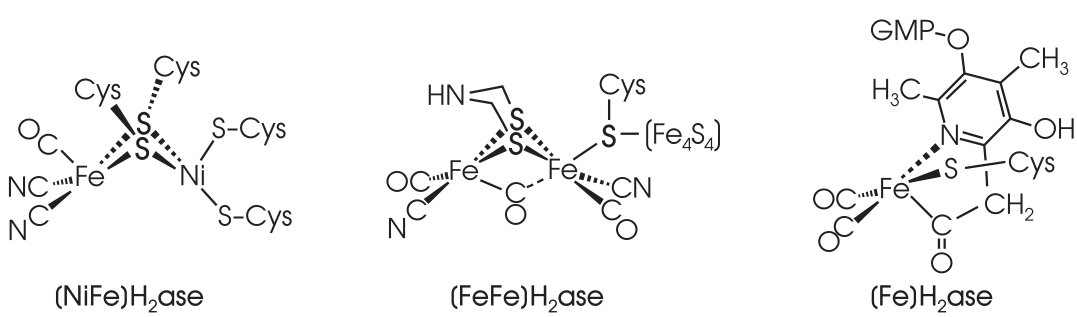
เททระลิน (tetralin) ทั้งรับ และให้ไฮโดรเจน

hydrogen sulfide ไฮโดรเจนซัลไฟด์, แก๊สไข่เน่า

แก๊สพิษชนิดหนึ่ง สูตรโมเลกุล H_2S ไม่มีสี มีฤทธิ์กัดกร่อน กลิ่นคล้ายไข่เน่า หนักกว่าอากาศเล็กน้อย ติดไฟ และสามารถระเบิดได้ ไฟสีฟ้าของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อน และไอน้ำเกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของกำมะถันโดยแบคทีเรียในภาวะปราศจากอากาศ (anaerobic) พบในแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) แก๊สจากปล่องภูเขาไฟ (volcanic gases) และแก๊สธรรมชาติ มนุษย์ได้กลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เป็นแก๊สอันตรายมากที่ความเข้มข้นในอากาศ 10-20 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ทำให้ตาระคายเคือง ที่ความเข้มข้น 50-100 ส่วนในล้านส่วนทำให้ตาบอด ที่ความเข้มข้น 320-530 ส่วนในล้านส่วนทำให้หายใจไม่ออกจนอาจเสียชีวิต ที่ความเข้มข้น 530-1,000 ส่วนในล้านส่วนทำให้ระบบประสาทส่วนกลางหยุดทำงาน และที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 ส่วนในล้านส่วนทำให้เสียชีวิตทันที

hydrogenase ไฮโดรจีเนส

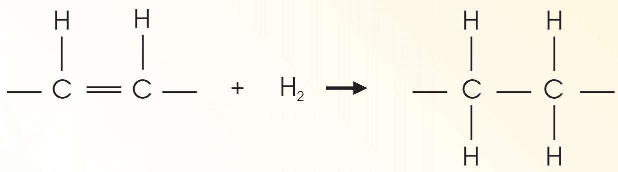
เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบผันกลับได้ (reversible oxidation) เพื่อผลิตไฮโดรเจน มีความสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว (green algae) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) โครงสร้างทั่วไปประกอบด้วยกลุ่มของเหล็ก-กำมะถัน (Fe-S cluster) ที่เชื่อมพันธะกับกรดแอมิโน เช่น ซีสเตอีน (cysteine) และลิแกนด์ (ligand) อื่นๆ แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามชนิดของโลหะแกน (core metal) ได้แก่ (NiFe) (FeFe) และ (Fe) ไฮโดรจีเนสสามารถรีดิวซ์โปรตอน (proton, H^+) เป็นโมเลกุลไฮโดรเจน (H_2)



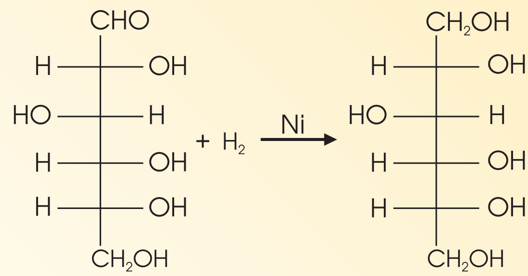
โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรจีเนสแต่ละชนิด

hydrogenation การเติมไฮโดรเจน, ไฮโดรจิเนชัน

ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้โมเลกุลของทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การเติมไฮโดรเจนของไขมันทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัว (ดู unsaturated fatty acid) เปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (ดู saturated fatty acid) เป็นเนยขาวหรือเนยเทียม การผลิตน้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น ซอร์บิทอล (sorbitol) จากกลูโคส (glucose) การผลิตดีเซลชีวภาพไฮโดรจิเนต (ดู bio-hydrogenated diesel (BHDD)) หรือจากน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) เป็นต้น

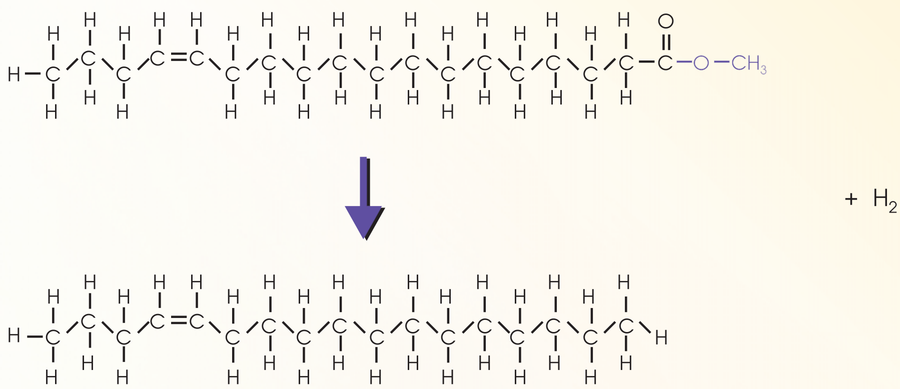


ปฏิกิริยาการผลิตกรดไขมันอิ่มตัวจากการเติมไฮโดรเจน
ของกรดไขมันอิ่มตัว



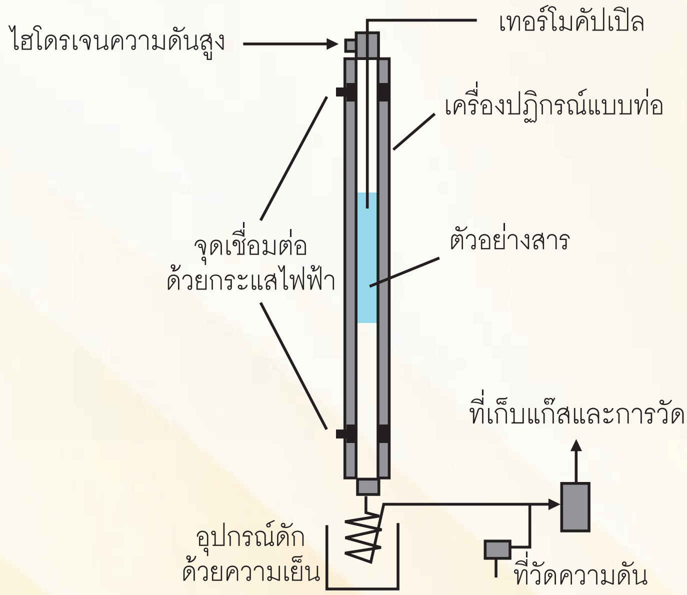
กลูโคส ซอร์บิทอล

ปฏิกิริยาการผลิตซอร์บิทอลจากการเติมไฮโดรเจนของกลูโคส



hydropyrolysis การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน

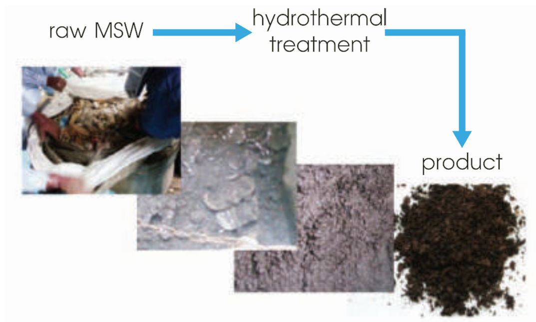
การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ภายใต้บรรยากาศของไฮโดรเจนที่ความดันสูง สามารถเพิ่มผลได้ของสารระเหย และสัดส่วนของไฮโดรคาร์บอนโดยลดการเกิดถ่านชาร์ แตกต่างจากการแกซิฟายภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน (hydrogasification) ของถ่านชาร์ ผลได้สารระเหยที่สูงขึ้นมาจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ของอนุมูลอิสระได้ผลผลิตที่เสถียรมาก



เครื่องปฏิกรณ์การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน

hydrothermal process กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

กระบวนการที่ใช้น้ำในระดับอุณหภูมิและความดันสูงเป็นตัวพาความร้อน กระบวนการประกอบด้วย ตัวทำละลาย สารตั้งต้น และ/หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยานำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การสังเคราะห์สาร/ตัวเร่งปฏิกิริยา บำบัดน้ำเสีย ได้รับการพัฒนาเป็นกระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล (ดู biomass) และขยะที่มีความชื้นสูงโดยไม่ต้องผ่านการทำให้แห้ง ซึ่งจะสิ้นเปลืองพลังงานมาก



การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงแข็งผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

hydraulic residence time (HRT) เวลากักเก็บน้ำ

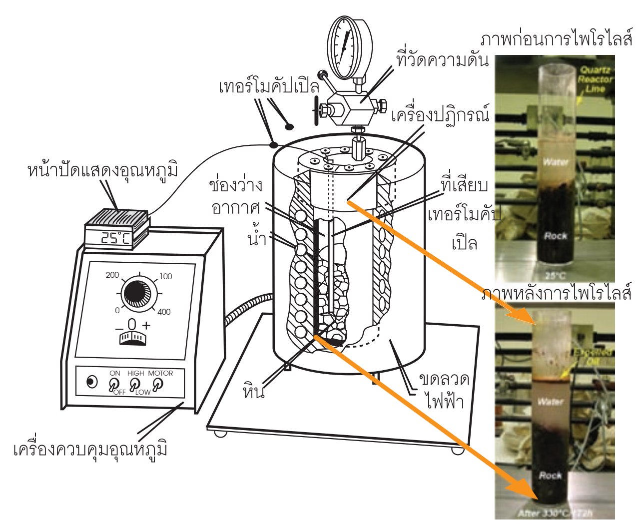
อัตราส่วนระหว่าง ปริมาตรของถัง หรือบ่อบำบัดน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร) ต่ออัตราการไหลของน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$$\text{HRT} = \frac{\text{Volume of tank } (\text{m}^3)}{\text{Volumetric flow rate of waste water } (\text{m}^3/\text{day})}$$

แสดงถึงระยะเวลาที่น้ำเสียได้รับการบำบัด ขึ้นกับอุณหภูมิ สมบัติของน้ำเสีย และกระบวนการบำบัด เช่น ในระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี (ดู up-flow anaerobic sludge blanket) สูง 4 เมตร น้ำเสียความสกปรกปานกลาง มีค่าซีโอดี (chemical oxygen demand (COD)) อยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลากักเก็บประมาณ 3-8 ชั่วโมง น้ำเสียความสกปรกสูงมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 10,000-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลากักเก็บนานกว่า 1 วัน เป็นต้น

hydrous pyrolysis การไพโรไลส์ด้วยน้ำ

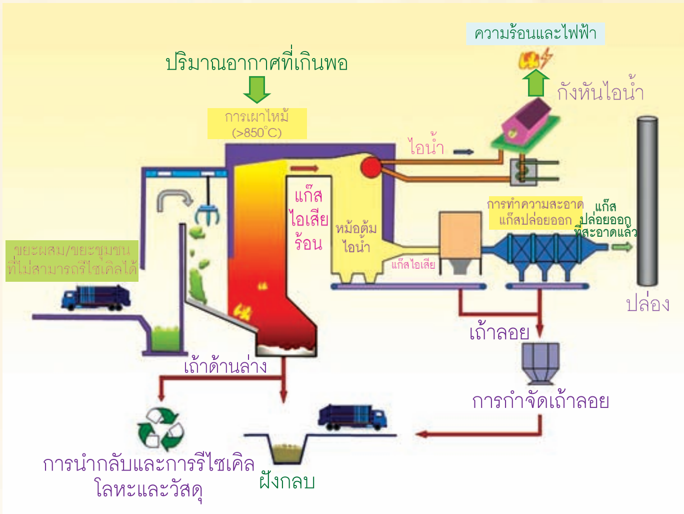
การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาในน้ำที่อุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน และขั้นตอนการแตกโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดในขั้นตอนแรกให้กลายเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กลงที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส สามารถใช้น้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ที่มีปริมาณออกซิเจนสูงเป็นสารตั้งต้นผลิตน้ำมันชีวภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ แต่เมื่อเทียบกับน้ำมันที่ไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน (ดู hydropyrolysis) แล้ว ยังมีออกซิเจนสูงกว่า ใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว โดยบริษัท Changing World Technology สหรัฐอเมริกา ในการแปรรูปเศษเนื้อหรือเครื่องในของไก่งวงให้กลายเป็นน้ำมันชีวภาพที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง ปุ๋ย หรือสารเคมีอื่นๆ



อุปกรณ์ที่ใช้ในการไพโรไลส์ด้วยน้ำ

incineration การเผาเป็นเถ้า

การเผาของเสียอินทรีย์ในวัสดุเหลือทิ้ง ขยะ โดยเฉพาะของเสียอันตราย ที่อุณหภูมิสูงในเตาเผาระบบปิดที่ออกแบบเป็นพิเศษและมีระบบควบคุมภาวะปฏิบัติการต่างๆ ไม่ให้ปล่อยมลพิษ เช่น แก๊สพิษ เขม่า และกลิ่น สู่สิ่งแวดล้อม ช่วยลดมวลขยะของเสียและนำความร้อนที่ได้มาใช้ผลิตไอน้ำ และกระแสไฟฟ้าได้ นิยมใช้ในบริเวณที่มีปัญหาเรื่องพื้นที่ เช่น ญี่ปุ่น ฮ่องกง เป็นต้น

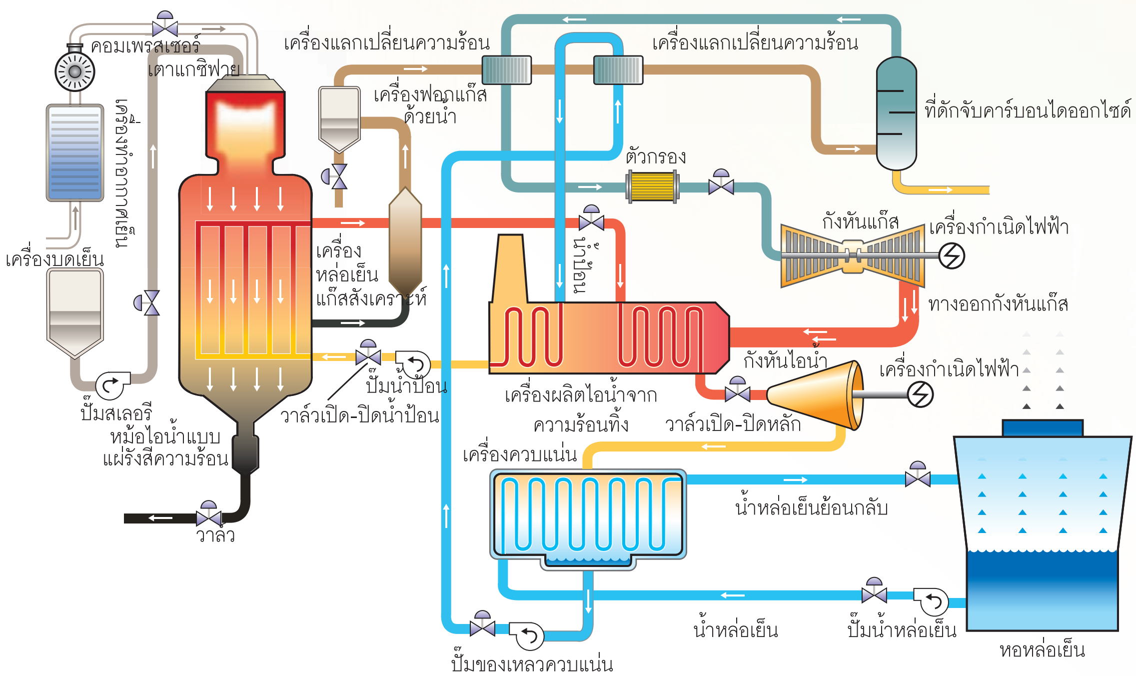


แผนผังโรงงานผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากขยะ

เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต

integrated gasification combined cycle (IGCC) กระบวนการความร้อนร่วมการแกซิฟาย

ระบบที่มีการเชื่อมต่อหน่วยปฏิบัติการแกซิฟาย (ดู gasification) เข้ากับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (combined cycle power plant) (ดู combined cycle) หลักการ คือ ใช้การแกซิฟายถ่านหินหรือเชื้อเพลิงแข็งอื่นๆ แทนการเผาไหม้โดยตรง แก๊สที่ได้จากการแกซิฟายหลังผ่านกระบวนการทำความสะอาดเป็นเชื้อเพลิงป้อนระบบพลังความร้อนร่วม (combined cycle) ได้ การใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากการแกซิฟายทำให้สามารถใช้เชื้อเพลิงแข็งคุณภาพต่ำที่มีความชื้นสูง ปริมาณเถ้าสูง และปริมาณกำมะถันสูง ในการผลิตไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงได้



กระบวนการความร้อนร่วมการแกซิฟาย

jatropha, physic nut สบู่ดำ

พืชในวงศ์ *Euphorbiaceae* ชื่อวิทยาศาสตร์ *Jatropha curcas* L. วงศ์เดียวกับมันสำปะหลัง ยางพารา เป็นไม้ยืนต้น ความสูง 2-7 เมตร พุ่มขนาด 2-3 เมตร อายุยืนไม่น้อยกว่า 20 ปี ลำต้นและยอดคล้ายละหุ่งแต่ไม่มีขน มีน้ำยางสีขาวคล้ายสบู่บริเวณลำต้นและกิ่ง ปรับตัวเข้ากับสภาพแห้งแล้งได้ดี เจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ออกผลเป็นพวง มีหลายผล ผลอ่อนมีสีเขียวผิวเกลี้ยง ผลแก่มีสีเหลืองคล้ายลูกจันทร์ ค่อนข้างกลม ขนาด 2-4 เซนติเมตร เปลือกหนาปานกลาง แต่ละผลมีสามพูห่อหุ้มเมล็ดสบู่ดำไว้ เมล็ดมีสีดำส่วนปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็ก ๆ ขนาดกว้าง 0.8-0.9 เซนติเมตร ยาว 1.7-1.9 เซนติเมตร เนื้อในของเมล็ดมีสีขาว มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยกรดไขมันสายยาวหลายชนิด เช่น กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก กรดสเตียริก เป็นต้น มีสรรพคุณทางยาแต่ทุกส่วนของพืชมีความเป็นพิษ ให้ผลผลิตน้อยตลอดทั้งปี เก็บเกี่ยวไม่เป็นฤดูกาล ทำให้ต้นทุนสูง และมีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับความคุ้มทุน

ต้นสบู่ดำ

ผลและเมล็ดสบู่ดำ

Krathin Tepa, brown salwood กระถินเทพา

ไม้ยืนต้นตระกูลถั่วในวงศ์ *Mimosoideae* ชื่อวิทยาศาตร์ *Acacia mangium* Willd. กำเนิดทางตอนเหนือของรัฐควีนส์แลนด์ในประเทศออสเตรเลีย และปาปัวนิวกินี เติบโตเร็วในเขตร้อนชื้น มีความสูง 15-30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 40 เซนติเมตร ช่วงล่างของลำต้นไม่มีกิ่งก้าน ยอดแคบและยาว เมื่ออายุมากมีเปลือกแข็ง หนา ขรุขระ แตกเป็นร่องตามยาว สีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ใบเดี่ยวมีเส้นขนานกัน ขนาดใหญ่ ออกดอกเป็นรวงยาวประมาณ 10 เซนติเมตร แต่ละช่อดอกประกอบด้วยดอกเล็ก ๆ จำนวนมาก สีขาวหรือสีครีมฝักแบนขดตัวเป็นกลุ่ม ภายในมีเมล็ดเรียงตามแนวยาวและยึดติดกับฝักด้วยก้านเมล็ด (funicle) สีส้มจัด ฝักแก่เต็มที่มีสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดแก่มีสีดำเปลือกแข็งขนาด 3-5 มิลลิเมตร เป็นไม้โตเร็ว เนื้อไม้มีความแข็งแรงปานกลาง ใช้ทำเครื่องเรือน วงกบประตู หน้าต่าง ไม้แบบก่อสร้าง และงานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก เป็นไม้ฟืนที่ดี มีค่าความร้อน 4,800-4,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ต้นกระถินเทพา

ดอกกระถินเทพา

ฝักกระถินเทพา

leucaena กระถินยักษ์

ไม้ตระกูลถั่ว ชื่อวิทยาศาสตร์ *Leucaena leucocephala* มีถิ่นกำเนิดทางตอนใต้ของประเทศเม็กซิโก และแถบอเมริกากลางตอนเหนือ มีมากกว่า 100 สายพันธุ์ บางสายพันธุ์เป็นไม้ยืนต้นสูง 15-20 เมตร บางสายพันธุ์เป็นไม้พุ่มสูงประมาณ 5 เมตร มีใบประกอบแบบขนนกสองชั้นเรียงสลับ 5-20 คู่ ออกดอกสีขาว กระจุกเป็นช่ออยู่ตามง่ามใบ แต่ละช่อดอกให้ฝัก 15-20 ฝัก ฝักอ่อนมีสีเขียว และกลายเป็นสีแดงหรือสีน้ำตาลเมื่อแก่เต็มที่ มีลักษณะแบน ตรง ปลายแหลม โคนสอบ กว้างประมาณ 2 เซนติเมตร ยาว 12-18 เซนติเมตร ภายในมีเมล็ดแบน รี สีน้ำตาลมัน 15-30 เมล็ด ขนาด 3-4 มิลลิเมตร เป็นไม้โตเร็ว จัดเป็นวัชพืชใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ พืชปรับปรุงดิน มีศักยภาพเป็นพืชพลังงาน ใช้ทำฟืนและถ่านให้ค่าความร้อน 4,000-5,000 แคลอรีต่อกรัม

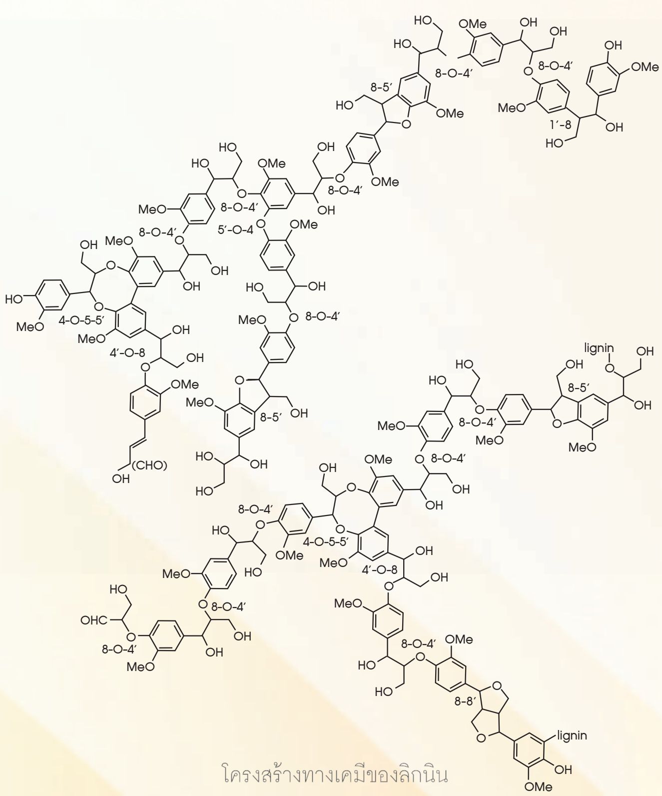

ต้นกระถินยักษ์


ช่อดอก


ฝัก

lignin ลิกนิน

สารอินทรีย์ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีสูตรโครงสร้างไม่แน่นอน มวลโมเลกุลเฉลี่ยของลิกนินมีค่ามากกว่า 10,000 เป็นตัวประสานระหว่างกลุ่มเส้นใยเซลลูโลสที่ห่อหุ้มด้วยเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์พืช พบในเซลล์พืชทุกชนิด (โดยทั่วไปไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 24-35 และ 17-25 ตามลำดับ) แบล็คลิกเคอร์ (ดู black liquor) เป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำ ใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ตัวประสาน (binder) ในการผลิตไม้อัดหรือกระดาษอัด สารปรับสภาพดิน (soil conditioner) ตัวเติม (filler) ในการผลิตเรซิน กาวในการผลิตพรมน้ำมัน (linoleum) และกลิ่นวานิลลาสังเคราะห์ เป็นต้น


โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

lignocellulosic biomass ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส

ชีวมวลที่ประกอบด้วยเซลลูโลส (ดู cellulose) เฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) และลิกนิน (ดู lignin) ได้จากพืช เช่น พืชโตเร็ว ของเหลือจากการเกษตร ของเหลือจากอุตสาหกรรมป่าไม้ ของเหลือจากอุตสาหกรรมกระดาษ ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เพื่อผลิตพลังงานความร้อน หรือไอน้ำ มีงานวิจัยที่ใช้ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน ด้วยกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการเผาไหม้ เช่น กระบวนการแกซิฟาย (ดู gasification) หรือใช้ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน เช่น แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) เอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) และน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ

ฟางข้าวเป็นชีวมวลลิกโนเซลลูโลสที่สำคัญในประเทศไทย

lipase ไลเพส, ลิเพส

เอนไซม์ในกลุ่มไฮโดรเลส (hydrolase) มีชื่อตามระบบ (systematic name) ว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอล เอสเทอร์ไฮโดรเลส (triacylglycerol ester hydrolase) พบในระบบการย่อยของมนุษย์และสัตว์ เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์หรือไฮโดรไลซิสของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมัน และไขมันได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล (ดู glycerol) เร่งการสร้างพันธะเอสเทอร์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของกรดไขมัน ผลิตได้จากรา แบคทีเรีย และยีสต์ มีความสำคัญในอุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องสำอาง การผลิตสารลดแรงตึงผิว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทหนึ่ง (ดู enzyme catalyst) ในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) มีความจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์สูง ไม่ทำให้เกิดสบู่ แต่มีราคาแพง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อใช้เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) เป็นสารตั้งต้น

livestock unit (LU) หน่วยปศุสัตว์

น้ำหนักสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ 500 กิโลกรัม เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและเลือกระบบผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ได้จากการสำรวจจริง หรือคำนวณจากน้ำหนักเฉลี่ยของสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ เช่น ฟาร์มสุกรแห่งหนึ่งมีสุกรน้ำหนักรวม 5,000 กิโลกรัม ฟาร์มดังกล่าวมี 10 หน่วยปศุสัตว์ เป็นต้น

mesophilic digestion การย่อยที่อุณหภูมิปานกลาง

กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิกชนิดใช้และไม่ใช้อากาศ ที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง คือ ประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส นิยมใช้ผลิตปุ๋ยหรือกำจัดขยะอินทรีย์แบบมีอากาศ และใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ในการหมักแบบไร้อากาศจากมูลสัตว์ น้ำเสียอุตสาหกรรม และขยะอินทรีย์ ในประเทศไทยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการวิจัย พัฒนาและส่งเสริมการนำมูลสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรและแปรรูปอาหาร ตลอดจนของเสีย ของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน

กองหมักปุ๋ยระบบไม่พลิกกลับกอง เติมอากาศที่ใช้พลังงานน้อยและประสิทธิภาพสูงกว่าการพลิกกอง

methanation เมเทเนชัน, การเปลี่ยนเป็นมีเทน

การแปรรูปแก๊สสังเคราะห์ หรือแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) เป็นมีเทน (methane)

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$$
$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดำเนินการที่ช่วงอุณหภูมิต่ำ มักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม เช่น รูทีเนียม (Ru) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) และเหล็ก (Fe) บนตัวรองรับต่างๆ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) ไทเทเนีย (TiO_2)

เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับผลิตแก๊สธรรมชาติสังเคราะห์ (synthetic natural gas (SNG)) จากการแกซิฟาย (ดู gasification) ถ่านหิน หรือชีวมวล (ดู biomass)

methane-forming bacteria, methanogenic bacteria แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน

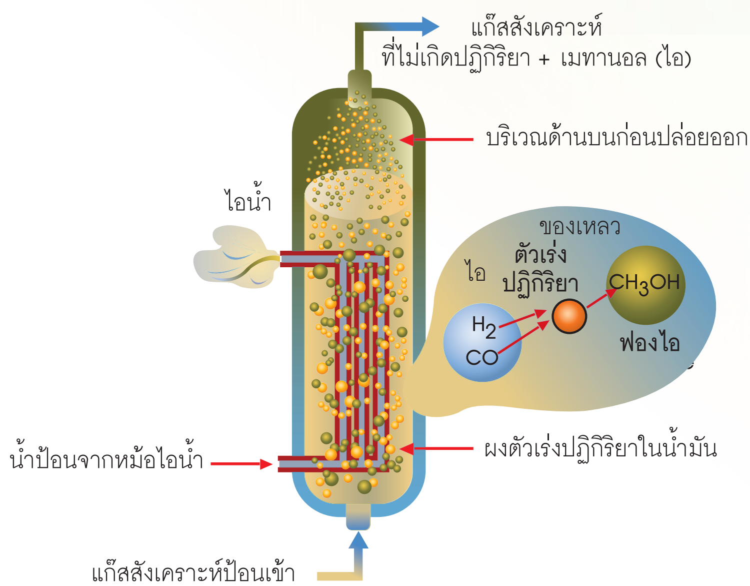
กลุ่มแบคทีเรียซึ่งย่อยกรดอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่เกิดในขั้นตอนแรกให้เป็นมีเทน (ดู methane) และคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ประกอบด้วยสกุล (genus) *Methanobacterium, Methanosarcina, Methanococcus* และ *Methanobacillus* เป็นแบคทีเรียสำคัญในการย่อยเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) และวัฏจักรคาร์บอน (ดู carbon cycle)

methanol synthesis การสังเคราะห์เมทานอล

ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากการกลั่นไม้ (wood spirit) ได้ปริมาณน้อยมาก การผลิตเมทานอลในอุตสาหกรรมเริ่มต้นในประเทศเยอรมัน โดยบริษัท BASF ใช้แก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) เป็นสารตั้งต้น ผ่านปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ที่อุณหภูมิ 320-380 องศาเซลเซียส และความดัน 350 บาร์ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมคอปเปอร์ซิงก์ออกไซด์ ปัจจุบันการผลิตในอุตสาหกรรมใช้เทคโนโลยีของบริษัท ICI (Imperial Chemical Industries) ซึ่งเป็นกระบวนการความดันต่ำ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมคอปเปอร์ซิงก์ออกไซด์ที่ความดัน 50-80 บาร์ และอุณหภูมิ 250-280 องศาเซลเซียส โดยมีปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์เป็นปฏิกิริยาข้างเคียง

$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$ $\Delta H = -91.15$ kJ/mol ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทานอล

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ $\Delta H = -41$ kJ/mol ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์



เครื่องปฏิกรณ์สังเคราะห์เมทานอล

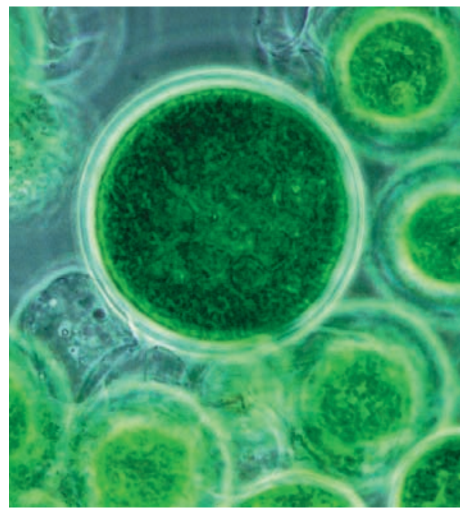
microalgae จุลสาหร่าย

สาหร่ายขนาดเล็ก ต้องมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ เป็นคนละชนิดกับที่ใช้เป็นอาหาร ลอยน้ำได้ ไม่มีใบ ราก และลำต้น มีผนังเซลล์ที่ไม่แข็งแรง จึงย่อยสลายได้ง่ายกว่าพืชที่ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล (ดู biomass) อื่นๆ โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (ดู hydrothermal process) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 30-60 นาที ช่วยเร่งการเกิดน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ดิบ

ชนิดของพืช	ผลผลิต (ลิตร/เฮกตาร์)	พื้นที่ที่ต้องการ (ล้านเฮกตาร์)[a]	เปอร์เซนต์การใช้ที่ดินเพื่อการปลูกพืชใน US[a]
ข้าวโพด	172	1,540	846
ถั่วเหลือง	446	594	326
น้ำมัน	1,190	223	122
สบู่ดำ	1,892	140	77
มะพร้าว	2,689	99	54
ปาล์มน้ำมัน	5,950	45	24
จุลสาหร่าย[b]	136,900	2	1.1
จุลสาหร่าย[c]	58,700	4.5	2.5

[a] for meeting 50% of all transport fuel needs of the United States
[b] 70% oil (by wt) in biomass
[c] 30% oil (by wt) in biomass

เปรียบเทียบแหล่งผลิตไบโอดีเซลจากพืชและสาหร่ายกับพื้นที่ที่ต้องการในการเพาะปลูก



จุลสาหร่าย

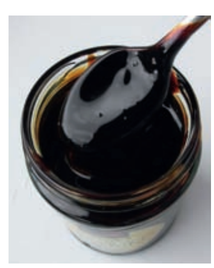
micro-emulsion ไมโครอิมัลชัน

การผสมของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิดซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำมันและน้ำ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดอนุภาคแขวนลอยขนาด 10-150 นาโนเมตร เล็กกว่าความยาวของคลื่นแสง ไม่เกิดการหักเหของแสง มองด้วยตาเปล่าเห็นเป็นของเหลวใสเนื้อเดียว เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการลดความหนืดของน้ำมันพืชหรือไขสัตว์เพื่อผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) โดยผสมกับเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) และใช้ 1-บิวทานอล (1-butanol) 1-ออกทานอล (1-octanol) และ/หรือ ไตรเอทิลเอมีน (triethylamine) เป็นสารลดแรงตึงผิว

(ซ้าย) ไมโครอิมัลชัน เทียบกับ (ขวา) อิมัลชันทั่วไป

molasses กากน้ำตาล

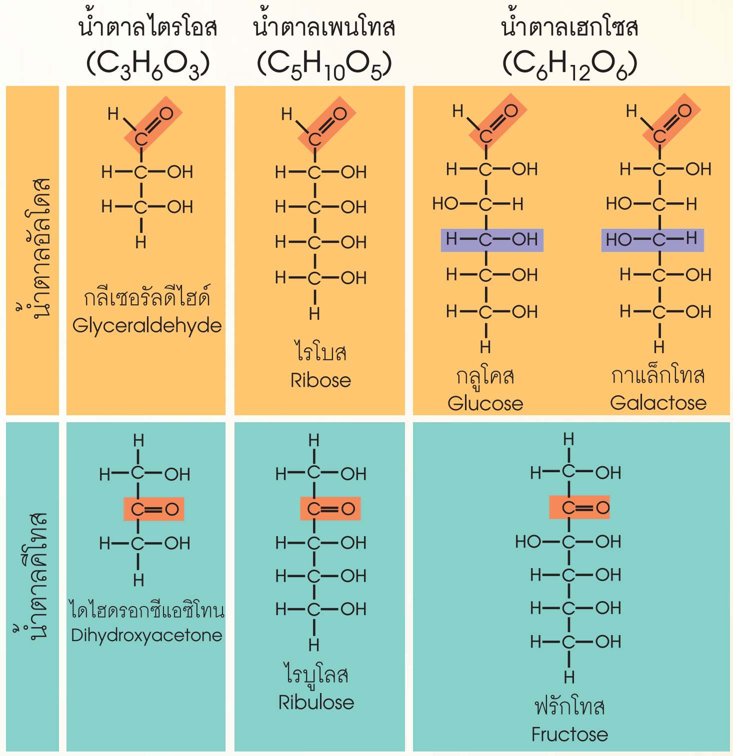
ของเหลวหนืดข้น สีน้ำตาลดำ ส่วนที่เหลือจากการตกผลึกน้ำตาลทรายจากอ้อย องุ่น ข้าวโพด หรือหัวบีต (sugar beet) ประกอบด้วยน้ำ (ดู water) ซูโครส น้ำตาลแปร (invert sugar) และสารเคมี เช่น ปูนขาว โพแทสเซียม มีค่าความร้อนต่ำถึงปานกลาง ขึ้นกับชนิดของพืชวัตถุดิบ ปริมาณของน้ำตาลที่สกัดแยกได้ และกรรมวิธีที่ใช้ เป็นวัตถุดิบในการหมักเพื่อผลิตสุรา แอลกอฮอล์ และกรดน้ำส้ม (acetic acid) ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกากน้ำตาลได้แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ที่มีมีเทน (ดู methane) เป็นองค์ประกอบร้อยละ 65 ให้ค่าความร้อน 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร



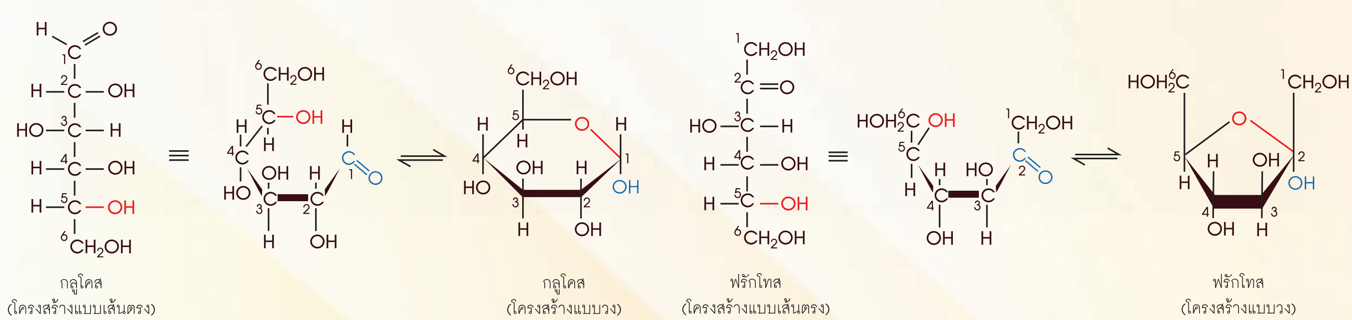
กากน้ำตาล

monosaccharide น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่า 1 หมู่ และหมู่คีโทน (ketone group) หรือหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) อย่างน้อย 1 หมู่ในโครงสร้าง ทำให้แบ่งกลุ่มตามหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ได้ 2 ชนิด คือ คีโทส (ketoses) และอัลโดส (aldoses) ซึ่งมีหมู่คีโตน และหมู่แอลดีไฮด์ในโครงสร้างตามลำดับ เป็นมอนอเมอร์ (monomer) พื้นฐานของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตทุกชนิด ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 5 และ 6 อะตอม เรียกว่า เพนโทส (pentose) และเฮกโซส (hexose) ตามลำดับ ลักษณะทางกายภาพเป็นผลึกละเอียด สีขาว ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ดี เพนโทสที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ ไรโบส (ribose) และดีออกซีไรโบส (deoxyribose) ซึ่งพบในสารเก็บข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ไซโลส (xylose) และอาราบิโนส (arabinose) ซึ่งพบในเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) เฮกโซสที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ กลูโคส (glucose) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งและเซลลูโลส กาแล็กโทส (galactose) ซึ่งพบในน้ำนม และฟรักโทส (fructose) ซึ่งพบในผลไม้สุกและน้ำผึ้ง เป็นต้น เพนโทสและเฮกโซสมีโครงสร้างเป็นวงเมื่ออยู่ในสารละลาย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่ปลายโมเลกุลทั้งสองข้าง



โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวบางชนิด



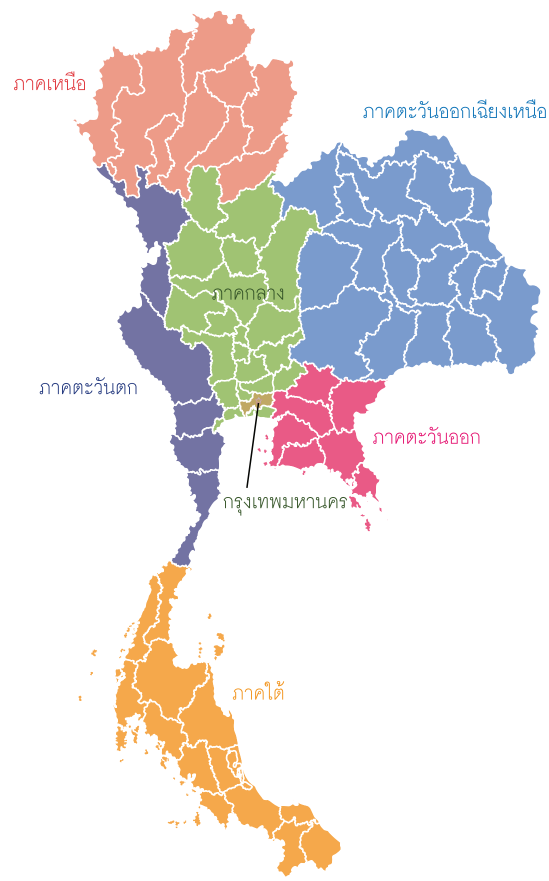
การปิดวงของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

municipal solid waste (MSW) ขยะชุมชน

ขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน เช่น ตลาดสด บ้านพักอาศัย ธุรกิจร้านค้าสถานประกอบการ สถานบริการ สถาบันต่างๆ รวมทั้งเศษวัสดุ ขยะสด (garbage) ขยะย่อยสลายได้ และขยะที่ย่อยสลายยากหรือย่อยสลายไม่ได้ ไม่รวมของเสียอันตรายและมูลฝอยติดเชื้อ ประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก เส้นใย ยาง หนัง ไม้ และสารอนินทรีย์ เช่น แก้ว อะลูมิเนียม โลหะ ประเทศไทยมีปริมาณขยะทั่วประเทศมากกว่า 40,000 ตันต่อวัน ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน ได้แก่ การฝังกลบ (landfill) การย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) การเผา (ดู incineration) และการแกซิฟาย (ดู gasification) การแปรรูปเป็นแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) การแปรรูปเป็นน้ำมัน (ดู pyrolysis) การฝังกลบ หรือการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการแปรรูปขยะเป็นพลังงานในระดับชุมชนโดยทั่วไป โดยใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มได้ และใช้ในโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตต่ำกว่า 1 เมกะวัตต์ สำหรับโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่ามักใช้การเปลี่ยนทางอุณหเคมี (ดู thermochemical conversion) รูปแบบอื่น เช่น การเผาไหม้หรือการแกซิฟาย กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มีโครงการรณรงค์สร้างความรู้ และส่งเสริมการนำขยะมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนและไฟฟ้าแก่เทศบาล อบต. ชุมชน และประชาชน โดยนำขยะจากแหล่งที่มีศักยภาพมาผลิตความร้อนและไฟฟ้าแล้วทั่วประเทศ

ปริมาณขยะชุมชนรวมแต่ละภูมิภาคปี 2555

ภาคเหนือ ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 3,898 ตัน/วัน	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 10,800 ตัน/วัน
ภาคกลาง ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 8,687 ตัน/วัน	กรุงเทพมหานคร ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 9,750 ตัน/วัน
ภาคตะวันตก ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 1,788 ตัน/วัน	ภาคตะวันออก ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 3,109 ตัน/วัน
ภาคใต้ ปริมาณขยะรวมทั้งหมด 5,403 ตัน/วัน	



หมายเหตุ : ปริมาณขยะ 100 ตัน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1 MW
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม 2556)

ที่	โครงการ/หน่วยงาน	เทคโนโลยี	ที่ตั้งโรงไฟฟ้า	กำลังผลิต (MW)	วันเริ่มต้นขายไฟฟ้า (COD)
1	โรงเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต	เตาเผา	อ.เมือง จ.ภูเก็ต	2.500	1 กรกฎาคม 2552
2	โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง	ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	อ.เมือง จ.ระยอง	1.000	1 มกราคม 2550
3	โครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะราชาเทวะ	ระบบวางท่อรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	1.040	3 สิงหาคม 2550
4	โครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน โดยบริษัท แอคทีฟซินเนอร์ยี่ จำกัด	ระบบวางท่อรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	2.080	4 เมษายน 2552
5	โครงการผลิตไฟฟ้าในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร โดยบริษัท พีเจที เทคโนโลยี จำกัด	การเผา	อ.เมือง จ.ชลบุรี	1.500	5 มิถุนายน 2552
6	โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซตามแนวพระราชดำริหลุมขยะกำแพงแสน	ฝังกลบ	อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	0.230	9 มกราคม 2552
7	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท โรงไฟฟ้าบ้านดาล จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.ฮอด จ.เชียงใหม่	1.051	1 สิงหาคม 2555
8	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท รักษ์บ้านเรา จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบหมักไม่ใช้ออกซิเจน	อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี	1.000	15 ธันวาคม 2552
9	โครงการผลิตไฟฟ้ากำแพงแสน โดยบริษัท ซีนิท กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	8.515	มีนาคม 2553
10	โครงการผลิตไฟฟ้ากำแพงแสน โดยบริษัท บางกอก กรีน พาวเวอร์ จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	8.150	มีนาคม 2554
11	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	2.400	พฤษภาคม 2553
12	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท ท่าเชียงทอง จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	อ.ฮอด จ.เชียงใหม่	1.051	4 พฤษภาคม 2553
13	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนทุ่งสง จำกัด	ใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบหมักไม่ใช้ออกซิเจน	อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	0.320	9 เมษายน 2553
14	โครงการผลิตไฟฟ้าจากเตาเผาขยะ โดยบริษัท พีเจทีเทคโนโลยี จำกัด	เตาเผา	อ.เมือง จ.ภูเก็ต	14.000	กรกฎาคม 2555
15	โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะ โดยบริษัท เกาะแก้วกรีน เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเมนท์ จำกัด	ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น	อ.สากเหล็ก จ.พิจิตร	0.240	1 สิงหาคม 2555
16	โครงการผลิตไฟฟ้า โดยบริษัท บางปู เอนไวรอนเมนทอล คอมเพล็กซ์ จำกัด	เตาเผา	อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	1.600	1 ธันวาคม 2555
17	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา	ใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบหมักไม่ใช้ออกซิเจน	อ.เมือง จ.นครราชสีมา	0.800	15 กรกฎาคม 2556
	รวมกำลังการผลิต			47.477	

รวบรวมข้อมูลโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

ที่มา : 1. ลำดับที่ 1-8, 12-13, 15-17 จาก www.erc.or.th (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน)

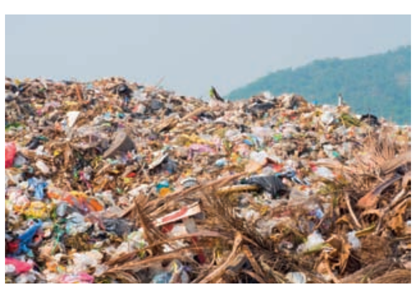
2. ลำดับที่ 9-11, 14 จากการสอบถามผู้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง

โครงการผลิตความร้อนจากพลังงานขยะที่ดำเนินการแล้ว (ข้อมูล ณ เดือนกรกฎาคม 2556)				
ที่	โครงการ/หน่วยงาน	แก๊สชีวภาพ (ลบ.ม./ปี)	RDF (ตัน/ปี)	ความร้อน (toe)
1	การผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะเศษอาหาร 3 แห่ง ติดตั้ง ณ โรงแรมคำแสด จ.กาญจนบุรี โรงแรมชุมพรคาบานา และ โรงเรียนท่าแซะวิทยา จ.ชุมพร/สนพ.	100,000	-	47.34
2	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพเพื่อจัดการของเสียจากเศษอาหารจากโรงแรมและสถานประกอบการต่างๆ 62 แห่ง/สนพ.	1,256,400	-	594.83
3	โครงการผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะเศษอาหารในเรือนจำ 3 แห่ง ติดตั้ง ณ ทัณฑสถานวัยหนุ่มกลาง เรือนจำพิเศษธนบุรี เรือนจำกลาง จังหวัดอยุธยา/สนพ.	45,000	-	21.30
4	ต้นแบบระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะตลาดสด ติดตั้ง ณ ตลาด อตก. กทม./พพ.	36,500	-	17.28
5	ต้นแบบระบบผลิตพลังงานจากขยะ ติดตั้ง ณ เทศบาลตำบลหนองม่วง ลพบุรี/พพ.	14,600	814	199.60
6	ระบบผลิตพลังงานจากขยะชุมชน 10 แห่ง ปัจจุบันเดินระบบแล้ว 8 แห่ง ได้แก่ ทต.โคกกรวด จ.นครราชสีมา ทต.วังกระพี้ จ.อุตรดิตถ์ ทต.อิสาณ จ.บุรีรัมย์ ทม.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี ทต.สามง่าม จ.นครปฐม ทต.เมืองแกลง จ.ระยอง ทต.พิมาย จ.นครราชสีมา อบต.นาฝาย จ.ชัยภูมิ/พพ.	401,500	-	190.08
7	บริษัททีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) จ.สระบุรี	-	136,000	61,960.00
8	บริษัท จีโอไซเคิล ประเทศไทย จำกัด จ.สระบุรี	-	34,000	15,150.00
	รวม			78,180.43 (78.18 ktoe)

รวบรวมข้อมูลโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

ตารางสถานภาพการผลิตความร้อนจากขยะ

โครงการผลิตน้ำมันจากขยะที่ดำเนินการแล้ว (ข้อมูล ณ เดือนกรกฎาคม 2556)		
ที่	โครงการ/หน่วยงาน	น้ำมัน (ล้านลิตร/ปี)
1	โครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน (ทน.พิษณุโลก ทม.วารินชำราบ และ ทน.ขอนแก่น)/สนพ.	6.27



ขยะชุมชน

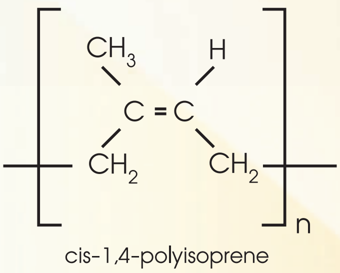
napier grass หญ้าเนเปียร์, หญ้าช้าง

พืชตระกูลหญ้า ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pennisetum* มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา พืชพลังงานที่ได้รับความสนใจในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ปัจจุบันมีการตั้งโรงงานผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์นำร่องบ้างแล้ว และมีนโยบายที่จะขยายพื้นที่การปลูกหญ้าเนเปียร์ และตั้งโรงงานผลิตแก๊สชีวภาพในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียว หรือดินลูกรัง ชอบดินที่มีการระบายน้ำดี และมีความอุดมสมบูรณ์ ทนแล้งแต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง ต้องการน้ำฝนประมาณ 1,000 มิลลิเมตร/ปี เมื่อเทียบกับอ้อยที่ต้องการน้ำฝน 1,200-1,500 มิลลิเมตร/ปี มีผลผลิตสูงถึง 70-80 ตันต่อไร่ต่อปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ราวๆ 5-6 ครั้งต่อปี และในการปลูก 1 รอบ ยังสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 5 ปี มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงถึง 100 ลบ.ม. หรือประมาณ 45 กิโลกรัมต่อหนึ่งตันหญ้าสด

หญ้าเนเปียร์

natural rubber (NR) ยางธรรมชาติ

พอลิเมอร์ธรรมชาติประเภทวัสดุยืดหยุ่น (elastomer) ผลิตได้จากน้ำยางของต้นยางพารา น้ำยางที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม เป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ มีของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่ไม่ใช่ยางร้อยละ 5 เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ที่เหลือเป็นน้ำประมาณร้อยละ 60 น้ำยางนี้ต้องนำมาตกตะกอนเพื่อแยกน้ำและส่วนที่ไม่ใช่ยางออก ได้แผ่นยางดิบ หรือใช้สารละลายกรดฟอร์มิก (formic acid) ในการจับก้อนยางเพื่อผลิตเป็นยางแท่ง มีความทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด และการขัดสี เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ วัสดุทางการแพทย์ และบรรจุภัณฑ์หลายชนิด ทั้งแผ่นยางดิบ ยางแท่ง น้ำยาง และผลิตภัณฑ์ยางจัดเป็นสินค้าส่งออกสำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศไทย และยังเป็นผู้นำการส่งออกในระดับโลกด้วย



cis-1,4-polyisoprene

ยางดิบและผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ

N-O

nitrogen oxides แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์

สารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนและไนโตรเจน มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น และปฏิกิริยาการเกิด มีทั้ง 3 สถานะ เช่น ไนตรัสออกไซด์หรือแก๊สหัวเราะ (nitrous oxide, laughing gas, N_2O) เป็นแก๊สไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง หรือการเผาเกลือแอมโมเนียมไนเทรต (ammonium nitrate, NH_4NO_3) ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) เป็นแก๊สไม่มีสี เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและกรดไนตริก (nitric acid, HNO_3) และเกิดจากปฏิกิริยาของออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศเมื่อเกิดฟ้าผ่า ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ (dinitrogentetraoxide, N_2O_4) เป็นของเหลว ไม่มีสีเกิดจากการรวมตัวของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, NO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้ ไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (dinitrogenpentaoxide, N_2O_5) เป็นของแข็งสีขาวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอสฟอรัส (V) ออกไซด์ (phosphorus (V) oxide, P_4O_{10}) และกรดไนตริก แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์และไนตรัสออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีไนโตรเจนในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine) เกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 950 องศาเซลเซียส จัดเป็นแก๊สเรือนกระจก (ดู greenhouse gases) ชนิดหนึ่ง

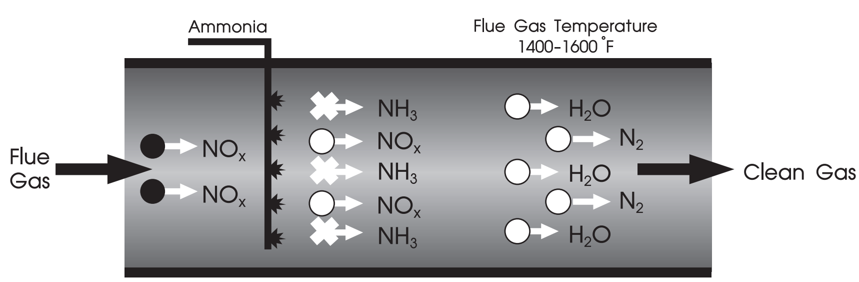
NO_X reduction การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์

การลดความเข้มข้นของแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงหรือแก๊สเผาไหม้ มีหลายวิธีแต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ ปฏิกิริยาการรีดิวซ์ (reduction reaction) ของไนโตรเจนออกไซด์ กับแอมโมเนีย เป็นไนโตรเจนและน้ำ (ดู water) ดังสมการ

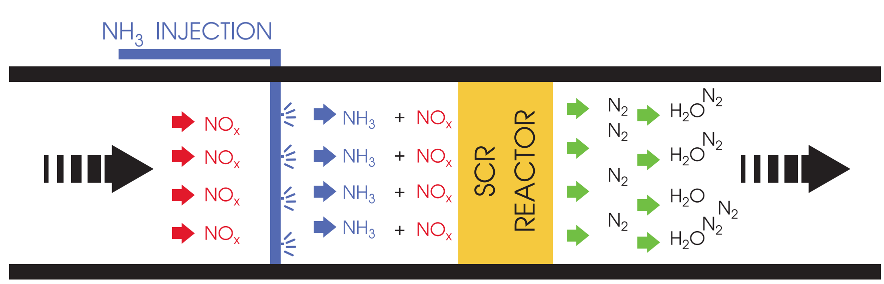
$$4NH_3 + 6NO \longrightarrow 5N_2 + 6H_2O \quad \text{และ} \quad 8NH_3 + 6NO_2 \longrightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

มีทั้งแบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (selective non-catalytic reduction (SNCR)) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (selective catalytic reduction (SCR)) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถลดอุณหภูมิของกระบวนการลงได้ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)



การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

oil palm ปาล์มน้ำมัน

พืชยืนต้น ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis guineensis* อยู่ในวงศ์ *Arecaceae* เช่นเดียวกับมะพร้าว เติบโตได้ดีในป่าฝนเขตร้อนชื้น มีระบบรากฝอยแตกออกจากโคนต้น ใบแตกเป็นเกลียว ปาล์มหนึ่งต้นมีใบติดประมาณ 40 ใบ ผลปาล์มออกรวมกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ทะลาย ทะลายปาล์มหนึ่งทะลายมีน้ำหนัก 10-90 กิโลกรัม ผลปาล์มมีลักษณะคล้ายลูกมะพร้าวแต่เล็กกว่ามาก เมื่อสุกเต็มที่มีสีแดงจัดหรือสีส้ม น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มมี 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) มีลักษณะเป็นของเหลวปนของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สีส้มเข้ม พบในเปลือกนอกของผลปาล์ม มีกรดไขมันชนิดกรดปาล์มิติก (palmitic acid) และกรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นองค์ประกอบสำคัญ นิยมนำมาผ่านกรรมวิธีเพื่อใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหาร และเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยเทียม ครีมเทียม และสบู่ อีกชนิด คือ น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (crude palm kernel oil) มีลักษณะใส ไม่มีสี ได้จากเมล็ดในของผลปาล์ม มีกรดไขมันชนิดกรดลอริก (lauric acid) เป็นองค์ประกอบหลัก ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และสารซักล้าง ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ปริมาณน้ำมันสูง 0.6-0.8 ตันต่อไร่ต่อปี เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ในประเทศไทย


ต้นปาล์มน้ำมัน


ทะลายปาล์มน้ำมัน


ผลปาล์มน้ำมัน

oligosaccharide โอลิโกแซ็กคาไรด์, น้ำตาลโมเลกุลสั้น

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ถึง 6 โมเลกุล ในโครงสร้าง ส่วนใหญ่ได้จากการย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยกระบวนการทางความร้อนหรือทางเคมี ทำให้สายโซ่ของพอลิแซ็กคาไรด์ถูกตัดแบบสุ่ม ได้โครงสร้างและความยาวสายโซ่ของโอลิโกแซ็กคาไรด์ไม่แน่นอน ในธรรมชาติพบน้อยมาก เช่น ราฟฟิโนส (raffinose) พบในพืชบางชนิด ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) กาแล็กโทส (galactose) และฟรักโทส (fructose) อย่างละ 1 โมเลกุล และมอลโทไทรโอส ซึ่งพบในพืชและสัตว์ขาปล้อง (arthropod) บางชนิดประกอบด้วยกลูโคส 3 โมเลกุล เป็นต้น


น้ำเชื่อมไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (xylooligosacchardie syrup)

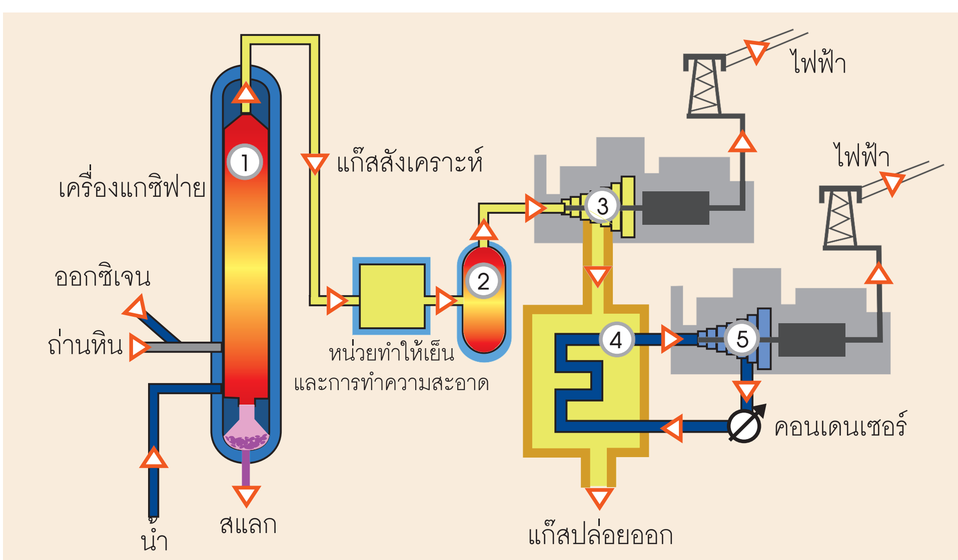
organic matter อินทรียวัตถุ

สสารที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในดินมีอินทรียวัตถุประมาณร้อยละ 5 ทำให้ดินร่วนซุย พื้นที่ผิวสัมผัสสูง อุ้มน้ำได้ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสูง ดูดยึดธาตุอาหารไว้ได้สูง ธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมถูกปลดปล่อยออกมาสะสมอยู่ในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

อินทรียวัตถุ

oxygen-blown gasification การแกซิฟายแบบเป่าออกซิเจน

การแกซิฟาย (ดู gasification) โดยป้อนออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ได้จากหน่วยแยกอากาศ (air separation unit (ASU)) มักใช้กับการแกซิฟายถ่านหินในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ได้แก๊สที่มีค่าความร้อนสูง ส่งไปเผาไหม้ในกังหันแก๊ส (ดู gas turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



การผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากการแกซิฟายแบบเป่าออกซิเจน

para rubber ยางพารา

ไม้ยืนต้น ชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis* ถิ่นกำเนิดที่อเมริกาใต้ สูง 30-40 เมตร ขณะมีอายุน้อยเปลือกสีเขียว แต่เมื่ออายุมากขึ้นสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเทาอ่อน เทาดำ หรือน้ำตาล เปลือกของลำต้นยางพาราแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ เปลือกแข็งชั้นนอกสุด (cork) เปลือกแข็งชั้นรอง (hard bark) มีท่อน้ำยาง (latex vessel) และเปลือกในสุด (soft bark) ที่อยู่ติดกับเนื้อเยื่อ เปลือกของลำต้นที่ให้น้ำยาง คือ เปลือกแข็งชั้นรองและเปลือกในสุด มีความหนารวมกัน 10-11 มิลลิเมตร หลังจากกรีดแล้วเปลือกจะเจริญได้เหมือนเดิมโดยใช้เวลา 7-8 ปีผลัดใบในช่วงต้นฤดูแล้ง ยางพารามีช่อดอกเกิดตามปลายกิ่ง มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน แต่อยู่บนช่อเดียวกัน ผลเป็นแบบแคปซูล (capsule) โดยทั่วไปมี 3 เมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดมีลาย เมล็ดมีทั้งเอนโดสเปิร์มและใบ น้ำยาง (latex) ที่เก็บรวบรวมได้ต้องนำมาตกตะกอน และรีดเป็นแผ่นยางดิบก่อนส่งจำหน่าย พระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี้ ณ ระนอง) ได้นำต้นยางพาราต้นแรกของประเทศมาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เมื่อปี พ.ศ. 2442 จึงได้รับเกียรติว่าเป็น "บิดาแห่งยาง" (องค์การสวนยาง, 2013)

ต้น ผล และเมล็ดยางพารา

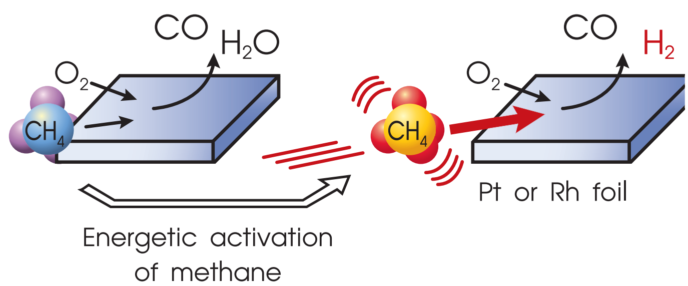
para timber ไม้ยางพารา

ไม้จากต้นยางพาราที่มีอายุมากกว่า 25 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 30-50 เซนติเมตร และมีน้ำยางปริมาณน้อยมากจนไม่คุ้มกับการกรีดแล้ว ในอดีตต้นยางที่ถูกตัดโค่นจะถูกนำไปเผาเป็นถ่านไม้เท่านั้น ต่อมามีเทคโนโลยีการบำบัดไม้ให้คงรูป ไม่บิดงอ และทนการเจาะทำลายของแมลง จึงเกิดเป็นอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราที่มีมูลค่าสูง และช่วยเพิ่มมูลค่าให้อุตสาหกรรมการทำยางพาราได้มาก ปริมาณเหลือทิ้งไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้แปรรูปเป็นพลังงาน ยกเว้นเศษไม้หรือขี้เลื่อย (ดู sawdust) ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานได้บางส่วน

ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

partial oxidation ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน

ปฏิกิริยาการออกซิไดส์ที่จำกัดปริมาณออกซิเจนเพื่อไม่ให้เกิดการออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบในการแกซิฟาย (ดู gasification) และการรีฟอร์ม (reforming) เป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนกับปฏิกิริยาดูดความร้อนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ นำมาพัฒนาเพื่อผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนจากมีเทน (ดู methane) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม



ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนแบบทั่วไปและแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

particulate matter ฝุ่นละออง

อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ มีสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบที่หลากหลาย เป็นของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.002-500 ไมครอน แบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศโดยตรง เช่น ฝุ่นดิน ทราย ควันดำจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม และการก่อสร้างและฝุ่นละอองที่เกิดจากการรวมตัวในบรรยากาศผ่านปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ควัน (smoke) ไอระเหย (fume) หมอก น้ำค้าง ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในไอเสียจากการเผาไหม้ (ดู combustion) ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ก่อให้เกิดการระคายเคือง และทำลายเนื้อเยื่อปอด หลอดลมอักเสบ โรคหอบหืด ถุงลมโป่งพอง มะเร็งปอด

ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล

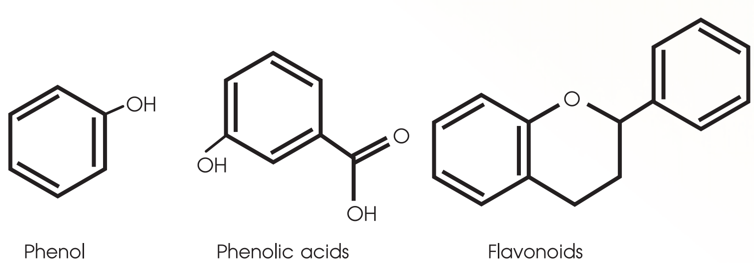
pelletization การอัดแท่ง

กระบวนการขึ้นรูปภายใต้ความดันเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 6-25 มิลลิเมตร ความยาวระหว่าง 5-50 มิลลิเมตร ใช้กับชีวมวล (ดู biomass) ที่ผ่านการบดและอบแห้งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก หรือวัสดุอื่นที่มีลักษณะเป็นผง หรือชิ้นเล็ก เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ผงถ่าน กากตะกอนน้ำเสีย ช่วยให้มีความหนาแน่นเชิงพลังงานสูงขึ้น ช่วยลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ และการขนส่ง เป็นขั้นตอนสุดท้ายของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (refuse derived fuel (RDF))

ชีวมวลอัดแท่ง

phenolic compounds สารประกอบฟีนอลิก

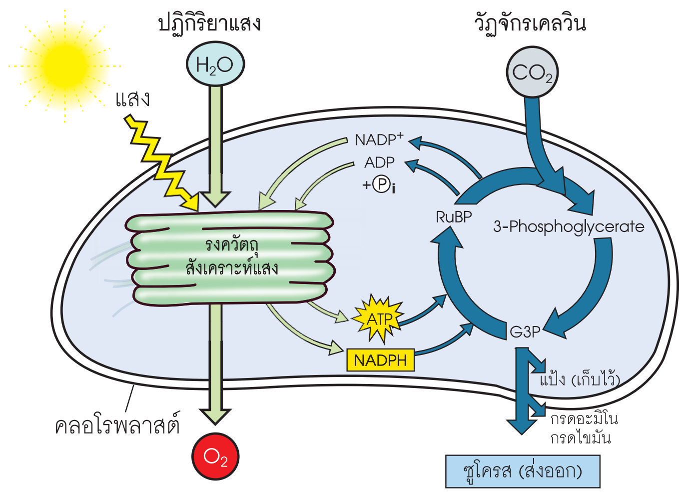
สารอินทรีย์กลุ่มหนึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซินมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH-group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่กับฟีนอล (phenol) ใช้กันมากในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น นำมาใช้เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) สำหรับการผลิตพลาสติก ยา สีเรซิน และอุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา เป็นต้น พบได้ตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ละลายน้ำได้ ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ลิกนิน (ดู lignin) และสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชส่วนมากอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) อาจรวมตัวกันเองหรือรวมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนแอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลิกที่พบตามธรรมชาติในพืช ได้แก่ จินเจอรอล (gingerol) ในขิง ยูจินอล (eugenol) ในกานพลู ตะไคร้และใบกระเพรา แคปไซซิน (capsaicin) ในพริก เคอคิวมิน (curcumin) ในขมิ้น และแคทีชิน (catechin) ในชา



โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก

photosynthesis การสังเคราะห์ด้วยแสง

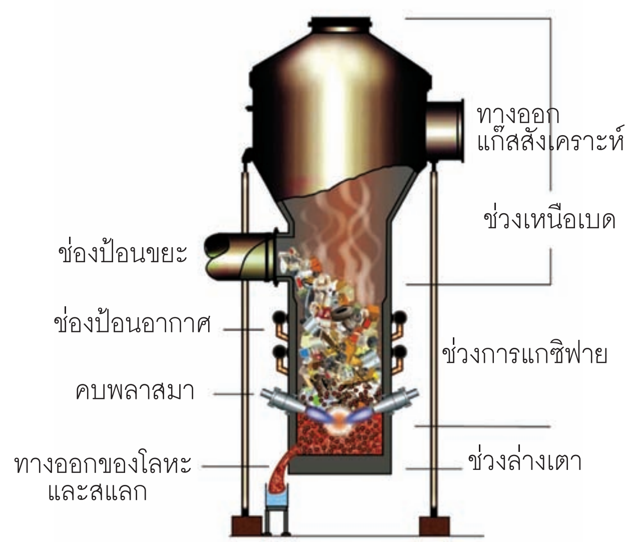
กระบวนการที่พืชหรือสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีในรูปโมเลกุลสารอินทรีย์ เป็นกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาแสง (light reaction) มีรงควัตถุสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigment) ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) ไฟโคบิลิน (phycobilins) หรือแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ใช้น้ำร่วมในปฏิกิริยา สร้างสารพลังงานสูง ATP และ NADPH และปลดปล่อยออกซิเจน อีกขั้นตอนหนึ่ง คือ ปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation reaction) หรือวัฏจักรแคลวิน (Calvin cycle) ที่รับสาร ATP และ NADPH เข้าสู่วัฏจักรแล้วเปลี่ยนคาร์บอนอนินทรีย์ของคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) เป็นแป้งสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชเป็นกรดอะมิโน กรดไขมัน หรือน้ำตาล เพื่อเป็นพลังงานให้พืช ส่วนสาร ATP และ NADPH เปลี่ยนไปเป็น $NADP^+$ และ ATP กลับเข้าสู่ปฏิกิริยาแสงต่อไป



กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

plasma gasification การแกซิฟายด้วยพลาสมา

กระบวนการทำลายขยะมูลฝอยด้วยความร้อนอุณหภูมิสูง ขยะมูลฝอยจะถูกป้อนเข้าไปในสนามพลาสมาอาร์ค (plasma arc field) ซึ่งเกิดจากการเร่งแก๊สเฉื่อยด้วยกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์สูงให้กลายเป็นภาวะที่สี่ของสสารในรูปของพลาสมา และใช้ความร้อนนี้ในการทำลายขยะมูลฝอย สามารถเผาทำลายสารไดออกซิน ซึ่งเป็นมลพิษร้ายแรงที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะได้ ความร้อนหรือแก๊สเชื้อเพลิง (ดู gasification) ที่ได้จากการเผาไหม้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้ มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดขยะได้ทุกประเภท ทำให้ของแข็งทุกชนิดกลายเป็นกาก (slag) ซึ่งนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ ไม่ต้องใช้พื้นที่สำหรับฝังกลบเถ้า และได้พลังงานจากแก๊สร้อน กระบวนการนี้มักนำไปใช้ในการกำจัดกากของเสีย ขยะติดเชื้อ หรือขยะอันตราย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีระบบนี้



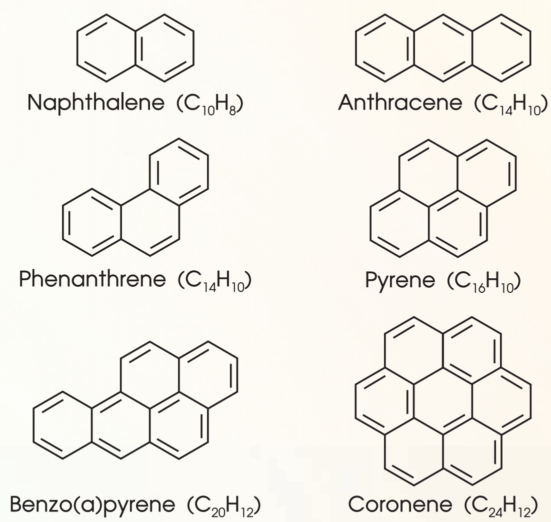
เตาปฏิกรณ์แบบพลาสมาอาร์ค

plug flow anaerobic digester, channel digester บ่อหมักราง

บ่อบำบัดที่บังคับให้น้ำเสียไหลตามราง ซึ่งคลุมด้วยแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene (HDPE)) หรือพีวีซี (polyvinyl chloride (PVC)) การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) และการสะสมของแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) เกิดขึ้นภายใต้แผ่นพลาสติก พัฒนามาจากบ่อบำบัดแบบคลุมบ่อ (ดู anaerobic covered lagoon) ไม่จำเป็นต้องขุดลอกเนื่องจากตะกอนถูกดึงออกประมาณร้อยละ 1 ของปริมาตรบ่อบำบัดทุกวัน ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังลานตากตะกอน อีกส่วนหนึ่งถูกป้อนกลับไปยังบ่อรวบรวมน้ำเสีย เพื่อเพิ่มปริมาณแบคทีเรียและประสิทธิภาพของบ่อบำบัด

polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอโรแมติกหลายวง

กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงในรูปแบบต่าง ๆ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จุดเดือดสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในตัวทำละลายแอโรแมติกส์ เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ (ดู combustion) ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน ขยะ และสารอินทรีย์อื่น ๆ ไฟป่า ควันบุหรี่ ควันจากไอเสียรถยนต์ การปรุงอาหาร และการแปรรูปอาหารที่ใช้ความร้อนสูง พบปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ดิน ดินตะกอน อากาศ สะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ บางชนิดใช้ประโยชน์ในการผลิตยา สีย้อม พลาสติก และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช



ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอโรแมติกหลายวง

polysaccharide, glycans พอลิแซ็กคาไรด์, ไกลแคน

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือมอนอแซ็กคาไรด์ (ดู monosaccharide) มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง เช่น เซลลูโลส (ดู cellulose) หรือเป็นกิ่ง เช่น แป้ง เซลลูโลส เป็นต้น

แป้งและน้ำตาลเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มนุษย์ใช้บริโภค

proximate analysis การวิเคราะห์แบบประมาณ

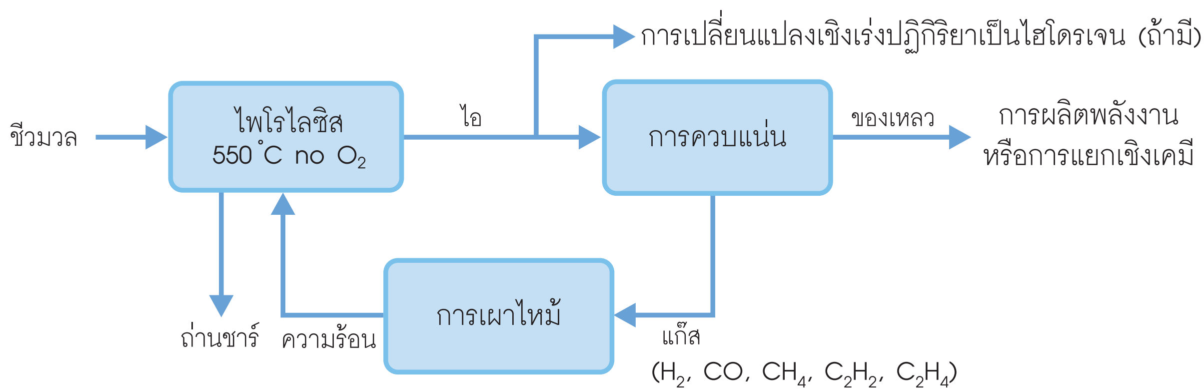
การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิง โดยจำแนกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย ความชื้น (moisture) สารระเหย (volatile matter) เถ้า (ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ค่าที่ได้บ่งบอก โดยประมาณถึงคุณภาพด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและความเหมาะสมที่จะนำเชื้อเพลิงไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่ามากขึ้น เช่น อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนคงตัวกับสารระเหย บ่งชี้ในเบื้องต้นถึงความเหมาะสมในการเปลี่ยนถ่านหินเป็นถ่านโค้ก เป็นต้น

psychrophilic digestion การย่อยที่อุณหภูมิต่ำ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์กลุ่มไซโครฟิลิกชนิดใช้และไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำประมาณ 5-20 องศาเซลเซียส ในต่างประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ประเทศเยอรมัน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) จากมูลสัตว์จากการย่อยสลายที่อุณหภูมิต่ำได้

pyrolysis การไพโรไลส์, ไพโรไลซิส

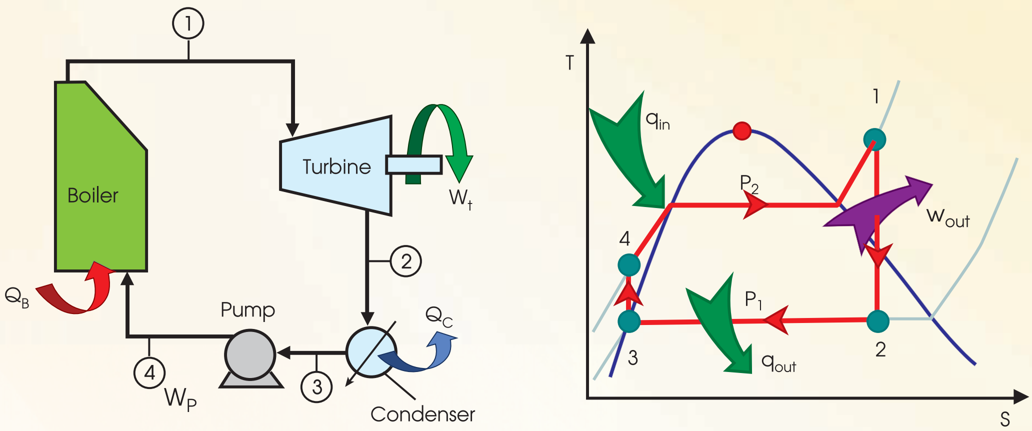
การสลายตัวด้วยความร้อนของเชื้อเพลิงในภาวะอับอากาศ หรือภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เป็นขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนแปลงเมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อน การไพโรไลส์ชีวมวล (ดู biomass) เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าการไพโรไลส์ถ่านหิน ตัวอย่างเช่น การไพโรไลส์ไม้สดเกิดที่ช่วงอุณหภูมิ 160-430 องศาเซลเซียส ได้เชื้อเพลิงทั้งของเหลวและแก๊ส และได้ผลผลิตที่เป็นของแข็ง คือ ถ่านไม้หรือถ่านชาร์ ผลผลิตที่เป็นของเหลวและแก๊ส ได้แก่ กรดน้ำส้ม (acetic acid) เมทานอล (methanol) แอซีโทน (acetone) และเอสเทอร์ (ester) เป็นต้น ในขั้นการไพโรไลส์ปฐมภูมิ (primary pyrolysis) สารระเหยถูกปลดปล่อยและเริ่มเกิดถ่านชาร์ สารระเหยบางส่วนที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์อาจเกิดการควบแน่น (condensation) ตามด้วยปฏิกิริยาทุติยภูมิ (secondary reaction) ของอนุมูลอิสระทั้งในวัฏภาคไอและบนพื้นผิวของของแข็งได้ผลผลิตทั้งที่เป็นของแข็ง ได้แก่ ถ่านชาร์หรือคาร์บอน ผลผลิตของเหลว ได้แก่ ทาร์ ไฮโดรคาร์บอนหนักและน้ำ และผลผลิตแก๊ส ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนเบา เช่น เอทิลีน อีเทน เบนซีน เป็นต้น ปริมาณและสมบัติของผลผลิตขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ และระยะเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ เทคโนโลยีในระยะต้นประยุกต์กับถ่านหิน ในปัจจุบันพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับชีวมวล น้ำมันหนัก และน้ำมันใช้แล้วด้วย การไพโรไลส์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ การไพโรไลส์แบบช้า (ดู slow pyrolysis ประกอบ) และการไพโรไลส์แบบเร็ว (ดู fast pyrolysis ประกอบ) ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาในการให้ความร้อน ($t_{heating}$) และอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการไพโรไลส์ ถ้า $t_{heating}$ มากกว่าเวลาที่ใช้สำหรับการไพโรไลส์ (t_r) จะจัดเป็นการไพโรไลส์แบบช้า ในทางกลับกันจัดเป็นการไพโรไลส์แบบเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งได้ตามบรรยากาศที่ใช้ในการไพโรไลส์ได้อีกด้วย เช่น การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน (ดู hydropyrolysis) หรือด้วยน้ำ (ดู hydrous pyrolysis) เป็นต้น



กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยการไพโรไลส์

Rankine cycle วัฏจักรแรงคิน

วัฏจักรพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ของระบบที่ใช้ไอ-ของเหลว เช่น เครื่องจักรกังหันไอน้ำ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การอัดแบบแอเดียแบติกผันกลับได้ (reversible adiabatic compression) การให้ความร้อนแบบความดันคงที่ผันกลับได้ (reversible constant pressure heat addition) การขยายตัวแบบแอเดียแบติกแบบผันกลับได้ และการปล่อยความร้อนที่ความดันคงที่แบบผันกลับได้



วัฏจักรแรงคิน

rapeseed เมล็ดเรพ

พืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ *Brassicaceae* เช่นเดียวกับต้นมัสตาร์ด (mustard) ผักกาด กะหล่ำปลี บร็อกโคลี กะหล่ำดอก และหัวผักกาดเทอร์นิป (turnip) สายพันธุ์ที่นิยมมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica napus* L. ปลูกมากในเขตอบอุ่นแถบยุโรป อเมริกาเหนือ ออสเตรเลีย จีน และอินเดีย มีลำต้นอวบ สูง 90-150 เซนติเมตร ใบเดี่ยวเรียงตัวแบบสลับแผ่นใบเกลี้ยงหรือมีขนเล็กน้อย มีนวลปกคลุมแผ่นใบ ใบล่างมีลักษณะขอบใบจักแบบขนนก ก้านใบยาว 10-30 เซนติเมตร ออกดอกเป็นช่อหลายแขนง สีเหลืองสด ขนาด 1.2-1.5 เซนติเมตร ผลเป็นฝักขนาด 2.5-4.0 เซนติเมตร ภายในมีเมล็ดขนาดเล็กกลม สีน้ำตาลถึงดำ มีน้ำมันร้อยละ 40-44 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (ดู saturated fatty acid) เพียงร้อยละ 6 กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (ดู unsaturated fatty acid) เช่น กรดโอเลอิก ร้อยละ 60-62 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (ดู unsaturated fatty acid) เช่น กรดลิโนเลนิก ร้อยละ 30 น้ำมันเมล็ดเรพมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ในทวีปยุโรป และมีการดัดแปรสายพันธุ์เพื่อใช้บริโภค รู้จักในชื่อ น้ำมันคาโนลา (canola oil)


ต้นเรพ


ดอกเรพ


เมล็ดเรพ

refined bleached deodorized palm oil น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil (CPO)) ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical refining) ได้แก่ การกำจัดยางเหนียว (degumming) ด้วยกรดฟอสฟอริก การฟอกสี (bleaching) ด้วยดินฟอกสี (bleaching earth) การปรับสภาพน้ำมันให้เป็นกลางด้วยการไล่ด้วยไอน้ำ (steam stripping) และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) และสารให้กลิ่นด้วยการกลั่นภายใต้สุญญากาศ มีลักษณะกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สีเหลืองอ่อน เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เนยเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน สบู่ เป็นต้น

refined vegetable oil น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธี

น้ำมันพืชสำหรับบริโภคที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์หลายขั้นตอน เริ่มจากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชด้วยตัวทำละลายเฮกเซน กำจัดยางเหนียว (degumming) ด้วยกรดฟอสฟอริก กำจัดกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) บางชนิดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดู alkaline catalyst, sodium hydroxide) ล้างด้วยน้ำ กลั่นไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 220-230 องศาเซลเซียสภายใต้ภาวะสุญญากาศ ฟอกสี (bleaching) ด้วยดินฟอกสี (bleaching earth) ที่อุณหภูมิ 175-225 องศาเซลเซียสเพื่อให้น้ำมันใส เติมไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเหม็นหืน เติมวิตามินอีสังเคราะห์ทดแทนส่วนที่สูญเสียไปในกระบวนการผลิต บรรจุขวด จำหน่ายในร้านค้าและซุปเปอร์มาร์เกตทั่วไป

น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธีที่จำหน่ายในซุปเปอร์มาร์เกต

reforestation การฟื้นฟูป่า

การสร้างป่าในพื้นที่ที่เคยเป็นป่าแต่ถูกทำลายจนหมดสภาพความเป็นป่า ทำให้คุณภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ดีขึ้นโดยที่ป่าสามารถดูดซับมลพิษทางอากาศ ฟื้นฟูสภาพนิเวศวิทยา เพิ่มพื้นที่ดูดซับคาร์บอนและแหล่งผลิตออกซิเจน และเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนด้วย ตัวอย่างเช่น โครงการปลูกป่าชายเลนตามพื้นที่ชายฝั่งต่าง ๆ เป็นต้น

โครงการปลูกป่าชุมชนเพื่อลดภาวะโลกร้อน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

กิจกรรมปลูกป่าชายเลนทดแทนพื้นที่ป่าที่ถูกทำลาย

refused derived fuel (RDF) เชื้อเพลิงขยะ

เชื้อเพลิงจากกระบวนการจัดการขยะที่มีเทคโนโลยีสูงและได้มาตรฐาน เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการขยะโดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง กระบวนการประกอบด้วยการคัดแยก (ดู sorting) การลดขนาด การลดความชื้นให้น้อยกว่าร้อยละ 15 และการอัดเม็ด (ดู pelletization) อาจเติมปูนขาว (CaO) ในระหว่างการอัดเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณแก๊สพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ สามารถจำแนกออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75

ชนิด ลักษณะ และกระบวนการผลิตของเชื้อเพลิงขยะ

ชนิด	กระบวนการการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Sicker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบ ๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้ว และอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Sicker
RDF4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor, Pulverized fuel Combustor
RDF5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m3	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swirl Burner
RDF7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

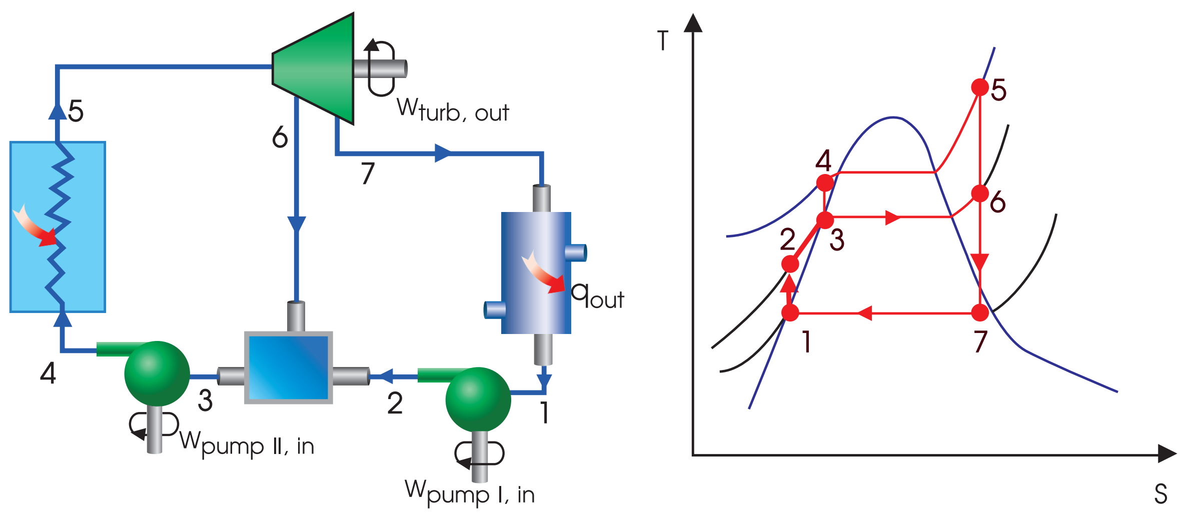
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

ลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะต้องปลอดเชื้อโรค ไม่มีกลิ่น มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผาหรือหม้อไอน้ำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร ความยาว 30-150 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 450-600 กิโลกรมต่อลูกบาศก์เมตร เหมาะสมต่อการจัดเก็บและขนส่ง ค่าความร้อนสูงประมาณ 13-18 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5-10 และการปลดปล่อยสารมลพิษจากการเผาไหม้ เช่น ไนไตรเจนออกไซด์ ไดออกซิน และฟิวแรน (ดู furan) น้อยมาก เป็นต้น สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า และความร้อน มีแนวคิดนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหิน

เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง

regenerative cycle วัฏจักรอุ่นซ้ำ

การเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักรไอน้ำโดยสูบน้ำอิ่มตัวที่ออกจากเครื่องควบแน่น (condenser) ไปยังห้องผสมหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง (feedwater heater) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำที่แยกออกมาจากกังหันไอน้ำก่อนป้อนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ ข้อดีสำหรับวัฏจักรอุ่นซ้ำ คือ สามารถแยกไอน้ำที่เปลี่ยนสภาพกลายเป็นของผสม (น้ำกับไอน้ำ) ออกไปจากกังหันได้บางส่วน ช่วยลดปัญหาการสึกหรอของอุปกรณ์ และทำให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรสูงขึ้น



การต่อเครื่องมือและไดอะแกรมอุณหภูมิ-เอนโทรปีของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินแบบอุ่นซ้ำในอุดมคติที่มีเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยงระบบเปิด

renewable energy พลังงานหมุนเวียน

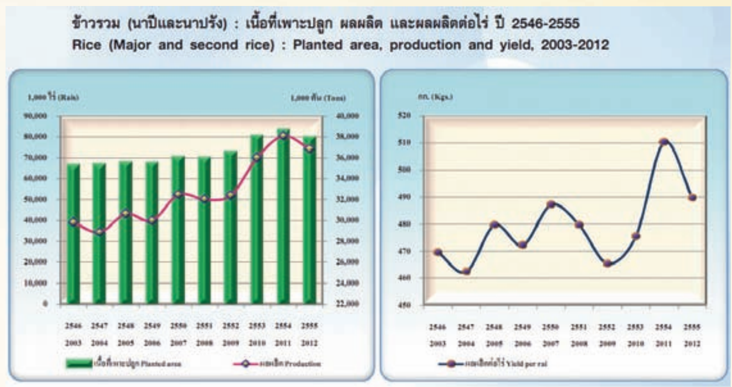
พลังงานที่ได้จากแหล่งที่สามารถผลิตหรือก่อกำเนิดพลังงานนั้นขึ้นมาเองได้เพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก เป็นพลังงานสะอาดและไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ ไฮโดรเจน พลังงานชีวมวล พลังงานชีวภาพ ไบโอดีเซล เอทานอล ได้รับความสนใจนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ความเป็นไปได้ขึ้นกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม

พลังงานหมุนเวียนรูปแบบต่างๆ

rice ข้าว

พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ปลูกเพื่อบริโภคเมล็ด จัดอยู่ในธัญพืชที่มีความสำคัญที่สุดของโลกโดยเฉพาะในทวีปแถบเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารหลัก ประกอบด้วย 2 สายพันธุ์หลัก คือ *Oryza glaberrima* ซึ่งปลูกมากในทวีปแอฟริกา และ *Oryza sativa* ซึ่งปลูกในทวีปเอเชียรวมทั้งประเทศไทย หลักฐานทางโบราณคดีแสดงว่า บริเวณแม่น้ำแยงซีมีการเพาะปลูกข้าวเป็นอาหารหลักมาประมาณหนึ่งหมื่นปีแล้ว หลังการเก็บเกี่ยวและผลิต ได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สำคัญ คือ รำข้าว และวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ฟางข้าวและแกลบ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สุดของประเทศไทยที่ปลูกกันเกือบทุกจังหวัดโดยเฉพาะภาคกลาง เป็นพืชระยะสั้นใช้เวลาปลูก 3-4 เดือน จำแนกตามลักษณะการปลูกได้ 2 แบบ คือ ข้าวนาปี เป็นข้าวที่ปลูกในฤดูฝน และข้าวนาปรังเป็นข้าวที่ปลูกนอกฤดูฝนในพื้นที่ที่มักอยู่ในเขตชลประทาน

ข้าว



rice husk, paddy husk แกลบ

วัสดุเหลือทิ้งจากการสีข้าว เป็นเปลือกแข็งของเมล็ดข้าว มีขนาดเล็ก ยาวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร สีเหลือง องค์ประกอบส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 เป็นเซลลูโลส (ดู cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) มีปริมาณเถ้า (ดู ash) สูงถึงร้อยละ 15-25 ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน หรือซิลิก้า (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ นำไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้ผสมดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก และมีโครงการส่วนพระองค์ตามแนวพระราชดำริจัดสร้างโรงบดแกลบเพื่อผลิตแกลบอัดแท่งขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 แกลบอัดแท่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ระยะต่อมามีการพัฒนาเตาเผาถ่านเพื่อผลิตถ่านแกลบ ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกับถ่านไม้ มีปริมาณการผลิตประมาณ 4.5 ล้านตันต่อปี เหมาะสำหรับเป็นเชื้อเพลิงให้โรงไฟฟ้าชีวมวล เพราะมีค่าความร้อนสูง ความชื้นต่ำและมีขนาดเหมาะสมโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการบดย่อยหรือคัดขนาด จึงถูกนำมาใช้มากจนปัจจุบันไม่มีปริมาณเหลือพอที่จะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพแล้ว นอกจากนี้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบผลิตซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งมีราคาและมูลค่าสูงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

แกลบ

rice straw ฟางข้าว

ลำต้นแห้งของต้นข้าวหลังการเก็บเกี่ยว เป็นผลิตภัณฑ์เหลือทิ้งทางการเกษตรที่สำคัญ นำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น วัสดุคลุมดิน ปุ๋ย ก้อนเชื้อเห็ด ไม้อัด และเชื้อเพลิง ฟางข้าวนับเป็นชีวมวล (ดู biomass) ที่มีศักยภาพสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสูงที่สุด จากข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2551 พบว่า จากการเก็บเกี่ยว ได้ฟางร้อยละ 49 เทียบกับผลผลิตข้าวทั้งหมด แต่นำมาใช้เพียงร้อยละ 70 ของปริมาณฟางที่ได้ สูญเปล่าร้อยละ 30 ต่างกับแกลบซึ่งถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วเกือบทั้งหมด โดยใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น

ฟางข้าว

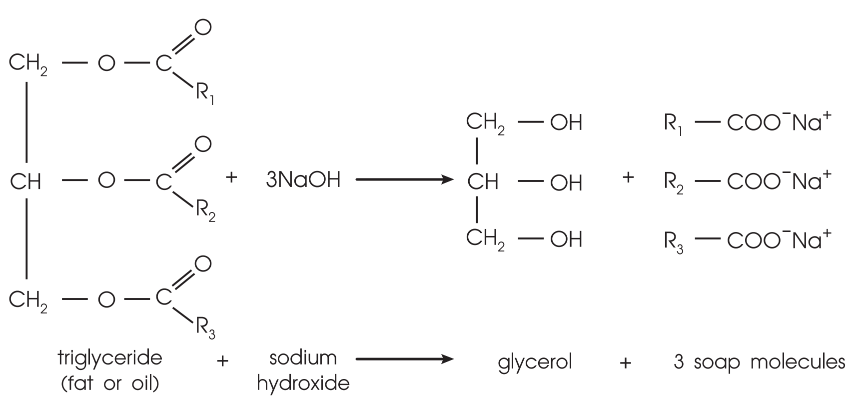
saccharification การเปลี่ยนเป็นน้ำตาล

การไฮโดรไลส์ (hydrolysis) (ดู solvolysis) คาร์โบไฮเดรต (ดู carbohydrate) โมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง หรือเซลลูโลส (ดู cellulose) โดยมีกรดหรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมัก (ดู fermentation) การไฮโดรไลส์ด้วยกรดเป็นการย่อยแบบสุ่ม ได้ทั้งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โอลิโกแซ็กคาไรด์ และผลผลิตจากการไฮโดรไลส์ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นผลผลิตร่วม ต้องทำให้ผลผลิตที่ได้เป็นกลาง (neutralization) ก่อนนำไปหมัก ส่วนการไฮโดรไลส์ด้วยเอนไซม์เป็นการตัดสายโซ่แบบจำเพาะเจาะจง โดยเริ่มจากปลายสายโซ่พอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต ทำให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพียงอย่างเดียวในสารละลายผลผลิต ใช้เวลานานกว่าการไฮโดรไลส์ด้วยกรดมาก แต่สามารถนำผลผลิตที่ได้ไปหมักได้ทันที

การเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์นิยมใช้ในการผลิตเบียร์

saponification แซพอนิฟิเคชัน

การไฮโดรไลส์ (hydrolysis) (ดู solvolysis) ไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชหรือไขสัตว์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดู alkaline catalyst, sodium hydroxide) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลผลิตที่เกิดขึ้น คือ กลีเซอรอล (ดู glycerol) และเกลือคาร์บอกซิเลต (carboxylate salt) หรือสบู่ (soap) สมบัติของสบู่ขึ้นกับชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ และชนิดของเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ที่เร่งด้วยเบส เนื่องจากน้ำที่เจือปนในวัตถุดิบน้ำมัน หรือเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) การเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

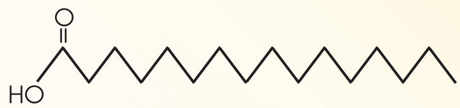


ปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

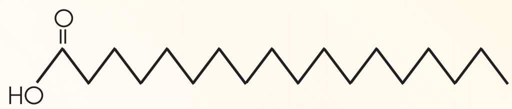
saturated fatty acid กรดไขมันอิ่มตัว

กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุองค์ประกอบ โครงสร้างทั่วไปประกอบด้วย สายไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) จำนวน 1 หมู่ สูตรโมเลกุล $C_nH_{2n}O_2$ กรดไขมันในธรรมชาติมีจำนวนอะตอมคาร์บอนระหว่าง 8-24 อะตอมอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมคาร์บอน หรือความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน มีสภาพขั้ว (polarity) ต่ำ ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) มีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 12 อะตอม ส่วนในไขสัตว์มีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม

C16:0
กรดปาล์มิติก



C18:0
กรดสเตียริก



โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันอิ่มตัว (กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก)

sawdust ขี้เลื่อย

เศษไม้หรือผงไม้ขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการเลื่อยไม้ และอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ในขั้นตอนการผลิต และการกองเก็บอาจเกิดอันตรายจากการติดไฟได้ง่าย นำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น เป็นวัสดุคลุมดิน ปุ๋ย ไม้อัด และเชื้อเพลิง ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นขี้เลื่อยไม้ยางพารา และมักใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงานแปรรูป บางส่วนนำไปจำหน่ายเพื่อเป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปทำไม้อัด เป็นแหล่งชีวมวล (ดู biomass) ที่มีศักยภาพ

กองขี้เลื่อย

ผลิตภัณฑ์ขี้เลื่อยอัดเม็ด

scrubber เครื่องฟอกแก๊ส

อุปกรณ์ควบคุมปริมาณอนุภาคแขวนลอยในแก๊สเสียหรืออากาศ โดยฉีดพ่นหยดของเหลวจากด้านบน เมื่ออนุภาคแขวนลอยสัมผัสหยดของเหลว และมีน้ำหนักมากขึ้น จะแยกออกจากแก๊สเสียหรืออากาศ มารวมกับของเหลวด้านล่างไปสู่ขั้นตอนการบำบัด สมรรถนะของเครื่องฟอกแก๊สขึ้นกับประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาค และค่าความดันสูญเสีย แบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ เครื่องฟอกแก๊สแบบสเปรย์ (spray chamber หรือ spray tower scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบไซโคลน (cyclone spray scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบถาด (impingement plate scrubber หรือ impingement tray tower scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบโอริฟิซ (orifice scrubber) เครื่องฟอกแก๊สแบบเวนจูริ (venturi scrubber) เครื่องฟอกแก๊สนี้ใช้ในการดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร

sewage sludge กากตะกอนน้ำเสีย, กากตะกอนจุลินทรีย์

ของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพ ได้จากการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียของจุลินทรีย์ ต้องผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การทำข้น (thickener) และการทำให้กากตะกอนน้ำเสียคงตัว (stabilization) ด้วยการย่อยโดยใช้อากาศ หรือไร้อากาศเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในกากตะกอน ทำให้สามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น และการปรับสภาพกากตะกอน (conditioning) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น และการรีดน้ำ (dewatering) เพื่อลดปริมาณกากตะกอน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รวมถึงการใช้ลานตากตะกอน (sludge drying bed) วิธีการในการกำจัดกากตะกอนในปัจจุบัน ได้แก่ การฝังกลบ (landfill) การหมักทำปุ๋ย (composting) เนื่องจากในกากตะกอนมีธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่าง ๆ และการเผา (incineration) เป็นการนำกากตะกอนที่เกือบแห้ง (ตั้งแต่ร้อยละ 40 ของของแข็งขึ้นไป) มาเผา หากไม่สามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือฝังกลบได้

slagging การเกิดสแลก, การเกิดกากถลุง

การพอกพูนสะสมของเถ้า (ดู ash) ที่แข็งตัวบางส่วนบนผิวโลหะบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงหรือส่วนที่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง เช่น ผนังเตา ผิวเหนียวของสแลก (slag) ช่วยดึงอนุภาคเถ้าในแก๊สเสียที่ไหลผ่านมาเกาะติด ทำให้สแลกมีความหนาเพิ่มขึ้น มีสมบัติเป็นฉนวนทำให้การถ่ายโอนความร้อนของผิวโลหะลดลง แต่มีอุณหภูมิสูง เมื่อความหนาของสแลกสะสมถึงระดับหนึ่ง ทำให้พื้นผิวโลหะอ่อนตัว ต้องมีปฏิบัติการเฉพาะเพื่อกำจัดการเกาะสะสมเป็นระยะ ๆ ส่วนการพอกพูนสะสมของเถ้าอีกรูปแบบหนึ่งเรียกว่า การเกิดปัญหาที่ผิว (fouling) เกิดบนพื้นผิวชุดท่อที่สัมผัสกับแก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่า เช่น ชุดท่อผลิตไอน้ำยิ่งยวด (superheater) และชุดท่อให้ความร้อนซ้ำ (reheater) เกิดจากสารอนินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอควบแน่นเป็นของเหลวเกาะติดบนพื้นผิว และช่วยดึงอนุภาคเถ้าในแก๊สเสียที่ไหลผ่านมาเกาะติด เป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ โดยเฉพาะโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้ถ่านหิน ซึ่งมีปริมาณเถ้าและสารอนินทรีย์ที่มีปริมาณซิลิกอน เหล็ก และกำมะถันสูง มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาสแลกเช่นเดียวกัน การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดเถ้าหลอมที่มีซิลิกาสูง ก่อให้เกิดปัญหาสแลก และการสึกกร่อนของผิวท่อภายในหม้อไอน้ำเนื่องจากซิลิกามีความคมแข็ง

กากตะกอนน้ำเสีย

สภาพสแลกที่สะสมอยู่ตามท่อภายในหม้อไอน้ำ

slow pyrolysis การไพโรไลส์แบบช้า

การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) แบบช้าที่เน้นปริมาณ และคุณภาพผลผลิตที่เป็นของแข็ง เช่น ถ่านไม้ ถ่านโค้ก ถ่านชาร์ เป็นต้น การคาร์บอไนซ์ (ดู carbonization) จัดได้ว่าเป็นการไพโรไลส์แบบช้าที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้มานับพันปี โดยนำไม้ฟืนมาให้ความร้อนอย่างช้าๆ ในภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 400 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานานหลายวันเพื่อทำให้เกิดการคาร์บอไนซ์มากที่สุด

เตาเผาถ่านแบบนอน

solvolysis reaction ปฏิกิริยาโซลโวไลซิส

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวทำละลาย (solvent) กับตัวถูกละลาย (solute) เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) เซลลูโลส (ดู cellulose) และชีวมวลลิกโนเซลลูโลส (ดู lignocellulosic biomass) ทำให้เกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวถูกละลาย เกิดขึ้นได้ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ภาวะใต้วิกฤต (subcritical conditions) หรือภาวะเหนือวิกฤต (supercritical conditions) เรียกชื่อปฏิกิริยาตามชื่อของตัวทำละลาย เช่น เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เมื่อใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายเรียกว่า ปฏิกิริยาแอลกอฮอไลซิส (ดู alcoholysis) เป็นต้น

sorting การแยกจำพวก

การแยกจำพวก หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล หรือวัสดุตามเงื่อนไขที่ต้องการ พบมากในกระบวนการจัดการขยะขั้นต้นหรือการคัดแยกขยะ ก่อนการนำขยะมาแปรรูปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ต่อไป

ระบบคัดแยกขยะชุมชนเพื่อแปรรูปเป็นพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย-สระบุรี

ตัวอย่างการคัดแยกขยะ

ตัวอย่างการคัดแยกขยะ

soybean ถั่วเหลือง

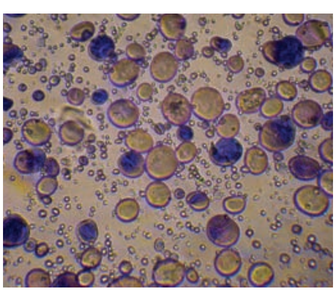
พืชเศรษฐกิจสำคัญของโลก ชื่อวิทยาศาสตร์ *Glycine max* (L.) Merrill ประเทศไทยส่วนมากปลูกในภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน ฤดูปลูกมี 2 ฤดู คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง อาจปลูกสลับกับข้าว พันธุ์ที่ใช้ปลูก เช่น พันธุ์แม่ริม พันธุ์สันป่าตอง พันธุ์ สจ.1, สจ.2, สจ.4 และ สจ.5 พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในปัจจุบัน นอกจากพันธุ์สุโขทัย 1 และเชียงใหม่ 60 แล้ว ยังมีพันธุ์ สจ.4 และ สจ.5 เมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์และสัตว์ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากพันธุ์เหล่านี้แล้ว ยังมีพันธุ์ที่เผยแพร่ใหม่ๆ คือ พันธุ์นครสวรรค์ 1 ถั่วเหลืองเป็นแหล่งไขมันและโปรตีนที่ดี มีโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 35-40 น้ำมันร้อยละ 15-25 มีหลายขนาดและหลากหลายสี อาจเป็นสีดำ สีน้ำตาล สีฟ้า สีเหลือง



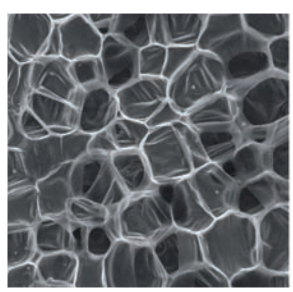
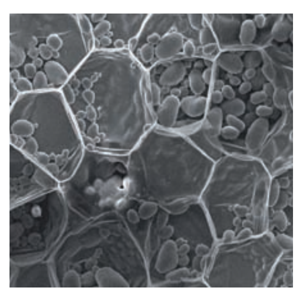
ถั่วเหลืองและการเก็บเกี่ยว

starch แป้ง

สารประกอบคาร์โบไฮเดรต (ดู carbohydrate) ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ 2 ชนิด คือ แอมิโลส (ดู amylose) และแอมิโลเพกทิน (ดู amylopectin) ร้อยละ 20-25 และร้อยละ 75-80 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายในน้ำเย็น ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สารเคมีสะสมพลังงานในพืชทุกชนิด และเป็นคาร์โบไฮเดรตพื้นฐานที่มนุษย์ใช้บริโภค พบแป้งในพืชไร่หลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และข้าว เป็นต้น ไอโอดีนเมื่อทำปฏิกิริยากับแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินและสีม่วงแดง ตามลำดับ มนุษย์สามารถย่อยแป้งให้เป็นกลูโคส และเปลี่ยนเป็นพลังงาน นอกจากใช้บริโภคแล้วยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น กระดาษ ไม้อัด และเสื้อผ้า รวมถึงใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) จากการหมัก เป็นต้น



รูปแป้งสาลีทำปฏิกิริยากับไอโอดีนส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงการสะสมของแป้งในเซลล์พืช คือ แครอต (ซ้าย) และมันฝรั่ง (ขวา)

steam explosion การระเบิดด้วยไอน้ำ

การปรับสภาพเบื้องต้นของชีวมวลลิกโนเซลลูโลส (ดู lignocellulosic biomass) ด้วยน้ำร้อนอัดความดัน และลดความดันของระบบลงอย่างรวดเร็วทำให้โครงสร้างของชีวมวลแตกออกเนื่องจากการขยายตัวของน้ำภายในเซลล์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (ดู saccharification) เพิ่มขึ้น เหมาะกับชีวมวลลิกโนเซลลูโลสทั้งที่เป็นไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง เพื่อช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดชีวมวล อย่างไรก็ตามการระเบิดด้วยไอน้ำมีการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำจึงไม่เหมาะกับชีวมวลที่ใช้พลังงานปริมาณน้อยในการลดขนาด

ฟางข้าวบาร์เลย์ ต้นคาโนลา ฟางข้าวโอ๊ต ฟางข้าวสาลี

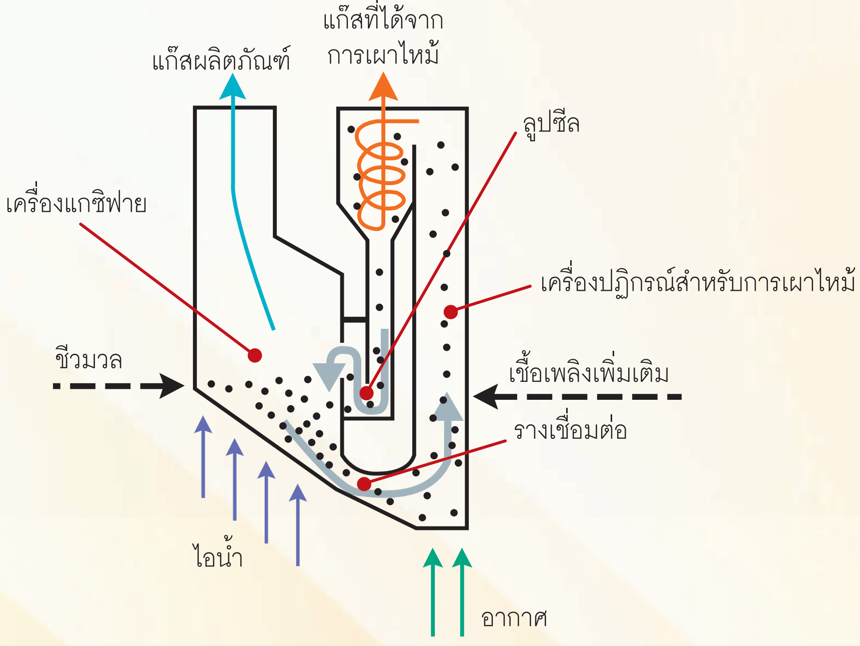
ชีวมวลดิบ

ชีวมวลที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ

ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ

steam gasification การแกซิฟายด้วยไอน้ำ

การแกซิฟาย (ดู gasification) ในบรรยากาศที่มีไอน้ำ (steam) เข้มข้นส่งเสริมปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำและคาร์บอน หรือปฏิกิริยาแก๊ส-น้ำ (ดู water-gas reaction) และปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (ดู water-gas shift reaction) เพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์



การแกซิฟายด้วยไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคู่

steam reforming การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนที่มีการศึกษาวิจัยและนำมาผลิตในทางการค้าแล้ว หลักการ คือ การป้อนไอน้ำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะแก๊ส เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) และเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) เป็นต้น ไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากไอน้ำ (H_2O) (ดู water) และสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ส่วนออกซิเจนที่เหลือจากน้ำ และคาร์บอนที่เหลือจากไฮโดรคาร์บอนจะรวมตัวกันเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

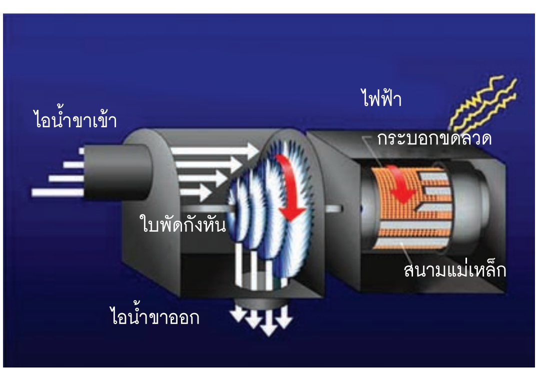
$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$ ปฏิกิริยาการรีฟอร์มมีเทนด้วยไอน้ำ

steam turbine กังหันไอน้ำ

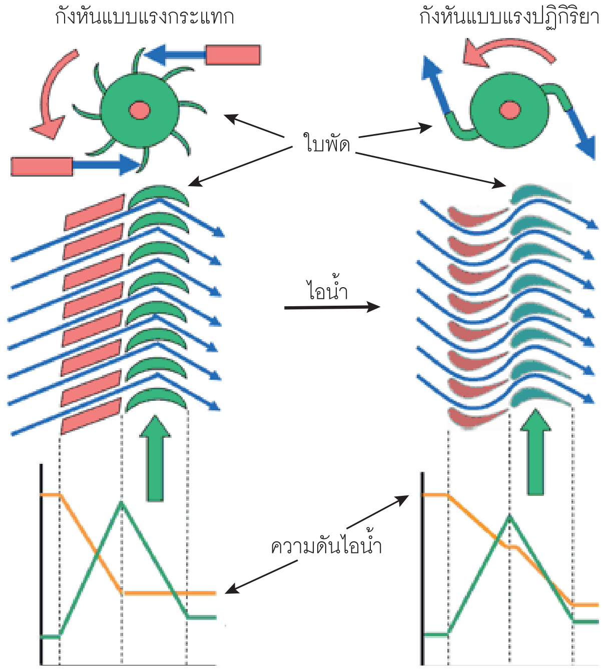
เครื่องต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ หลักการทำงานคล้ายกังหันแก๊ส (ดู gas turbine) แต่ใช้ไอน้ำยิ่งยวด (superheated steam) ความดันสูงแทน เพื่อหมุนกังหันไอน้ำเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลแล้วเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้ต่อไป แบ่งตามหลักการทำงานได้ 2 แบบคือ

กังหันแบบแรงกระแทก (impulse turbine) ทำงานโดยให้ไอน้ำที่มีพลังงานสูงไหลผ่านหัวฉีดเพื่อเพิ่มความเร็ว และปะทะกับใบกังหัน เกิดการหมุนของเพลา

กังหันแบบแรงปฏิกิริยา (reaction turbine) ทำงานโดยให้ไอน้ำไหลเข้าทางด้านในของกังหันแล้วพ่นผ่านหัวฉีดออกในแนวเส้นรอบวงของกังหัน เกิดแรงปฏิกิริยาในทิศทางตรงกันข้ามหมุนของเพลากังหัน



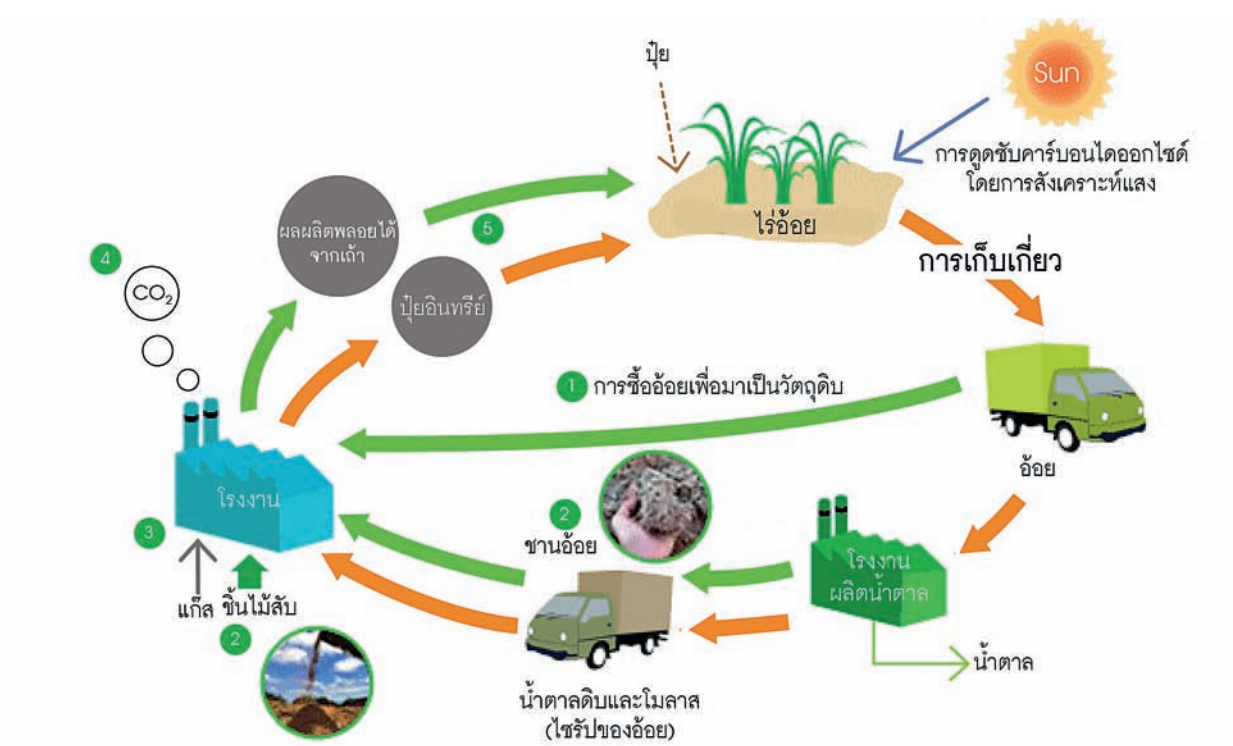
การทำงานเบื้องต้นของกังหันไอน้ำ



กังหันแบบแรงกระแทก และแบบแรงปฏิกิริยา

sugarcane อ้อย

พืชล้มลุก ใบเดี่ยวจำพวกหญ้า สูงประมาณ 2-5 เมตร ลำต้นสีม่วงแดง เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 เซนติเมตร ใบยาวเรียว มีข้อปล้องชัดเจน ไม่แตกกิ่งก้าน ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccharum officinarum* L. Poaceae มีถิ่นกำเนิดในพื้นที่แถบอบอุ่นหรือร้อนชื้น เช่น แถบเอเชียใต้ หรือเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากเพื่อผลิตน้ำตาล (ซูโครส) ได้ชานอ้อย (bagasse) เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการ นำมาผลิตกระดาษ ทำปุ๋ย หรือวัสดุคลุมดิน ปัจจุบันเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ หรือเตาเผาในโรงงานเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ ยังนำกากน้ำตาล (molasses) ซึ่งเป็นของเหลือจากการตกผลึกน้ำตาลมาหมักเพื่อผลิตเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ได้ ส่วนยอดและใบอ้อยเป็นของเหลือทิ้งที่เกิดบนพื้นที่เพาะปลูก เมื่อมีการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้ง เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับเพาะปลูกในรอบต่อไป ก่อมลพิษ เถ้า (ดู ash) และควันที่เป็นอันตราย ถ้ามีการจัดเก็บที่เป็นระบบจะมีศักยภาพในการผลิตพลังงานสูง



วัฏจักรการใช้ประโยชน์ของอ้อย


ไร่อ้อย


ชานอ้อย


ยอดและใบอ้อย

sulfate-reducing bacteria แบคทีเรียชนิดรีดิวซ์ซัลเฟต

กลุ่มแบคทีเรียซึ่งย่อยกำมะถันอนินทรีย์ (inorganic sulfur) เช่น ซัลเฟต (sulfate, SO_4^{2-}) ซัลไฟท์ (sulfite, SO_3^{2-}) และไทโอซัลเฟต (thiosulfate, $S_2O_3^{2-}$) ที่ละลายในน้ำให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดู hydrogen sulfide) ประกอบด้วยสกุล (genus) *Desulfobacterales, Desulfovibrionales* และ *Syntrophobacterales* เป็นแบคทีเรียที่ขัดขวางการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (ดู methane-forming bacteria) ในการย่อยเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ

sulfur oxides แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์

สารประกอบระหว่างกำมะถันและออกซิเจน มี 2 ชนิด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (sulfur trioxide, SO_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือถลุงแร่ที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ เช่น ถ่านหิน (coal) แร่เหล็กซัลไฟด์ (iron sulfide) แร่สังกะสีซัลไฟด์ (zinc sulfide) และทองแดงซัลไฟด์ (copper sulfide) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกซิเจนในอุปกรณ์หลังการเผาไหม้ที่มีอากาศเกินพอ เป็นแก๊สมลพิษที่ทำให้เกิดฝนกรด (acid rain) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (disinfectant) สารทำความเย็น (refrigerant) ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) สารฟอกสี (bleach agent) และสารกันเสีย (food preservative) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดกำมะถัน (sulfuric acid, H_2SO_4)

sunflower ทานตะวัน

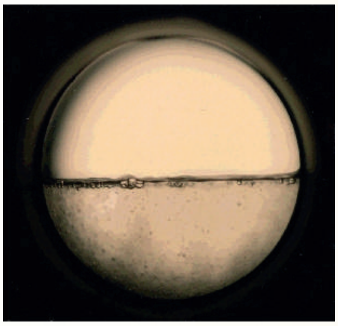
พืชล้มลุก ชื่อวิทยาศาสตร์ *Helianthus annuus* L. อยู่ในวงศ์ *Asteraceae* เติบโตในเขตอบอุ่น ทนแล้งได้ดี เมื่อเทียบกับพืชไร่ชนิดอื่น ลำต้นมีความสูง 1-3 เมตร ฐานรองกลุ่มดอกขนาดใหญ่ 12-25 เซนติเมตร ประกอบด้วยดอกย่อย 700-3,000 ดอก กลีบดอกรอบฐานมีสีเหลืองสด เมื่อเมล็ดสุกส่วนของกลีบดอกจะร่วง เมล็ดทานตะวัน (sunflower seed) ห่อหุ้มด้วยเปลือกแข็ง สีดำ คุณค่าทางโภชนาการสูง เนื้อในสีขาวสกัดเป็นน้ำมัน ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ดู unsaturated fatty acid) มากกว่าร้อยละ 85 และสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidants) กากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันมีโปรตีนร้อยละ 40-50 ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เป็นพืชน้ำมัน (oil crop) ที่สำคัญทางเศรษฐกิจรองจากถั่วเหลืองและปาล์มน้ำมัน น้ำมันดอกทานตะวันเป็นวัตถุดิบหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel)

ต้นทานตะวัน

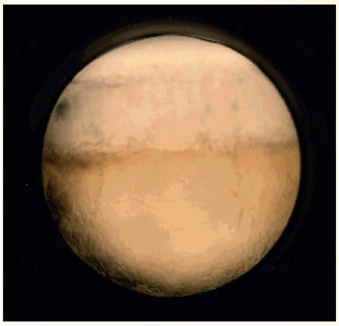
เมล็ดทานตะวัน

supercritical fluid ของไหลภาวะเหนือวิกฤต

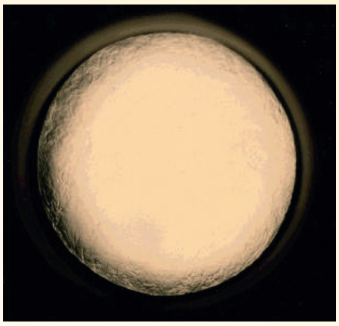
ของไหลที่อุณหภูมิและความดันสูงกว่าจุดวิกฤต (ดู critical point) มีสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่างแก๊สและของเหลว เป็นตัวทำละลายที่มีความสามารถในการละลายและความจำเพาะเจาะจง (selectivity) กับตัวถูกละลายสูง สามารถปรับแต่งสมบัติของตัวทำละลายได้โดยเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันที่ใช้สกัด แทนการเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลาย ใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาแอลกอฮอไลซิส (ดู alcoholysis) เพื่อผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์



ของไหลสภาวะปกติ

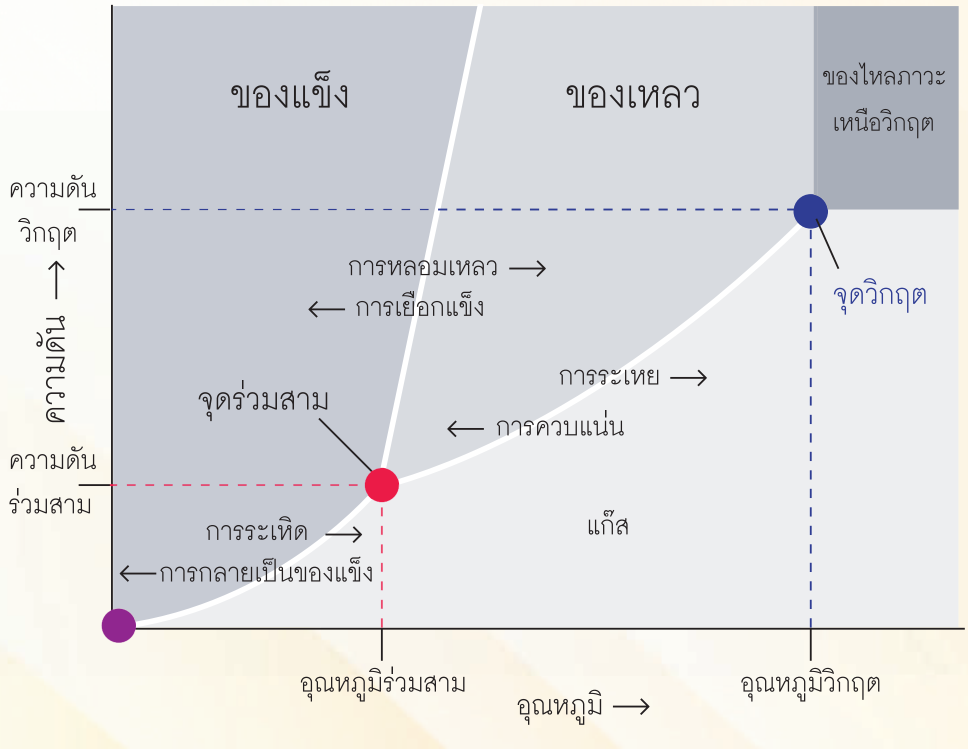


ของไหลภาวะใต้วิกฤต
(subcritical fluid)



ของไหลภาวะเหนือวิกฤต
(subcritical fluid)

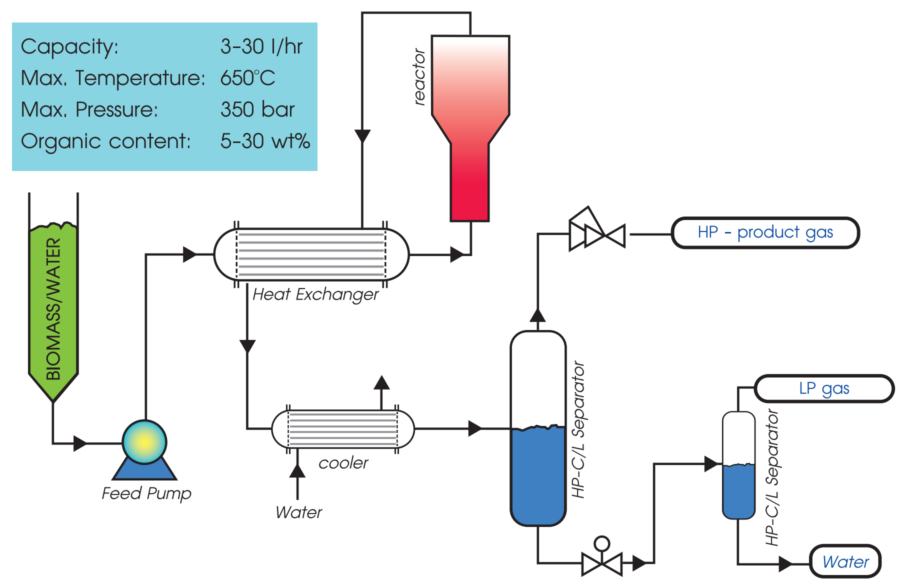
การเปลี่ยนแปลงสถานะของเมทานอลจากภาวะปกติเป็นภาวะเหนือวิกฤต



วัฏภาคของสสารโดยทั่วไป

supercritical water gasification (SCWG) การแกซิฟายด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต

กระบวนการแกซิฟายชีวมวลด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต ที่ภาวะนี้ น้ำมีความดันสูงกว่า 22.1 เมกะปาสกาล มีอุณหภูมิสูงกว่า 374 องศาเซลเซียส และมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูง ทำให้ชีวมวลไฮโดรไลส์และไพโรไลส์ไปพร้อมกัน ข้อดี คือ สามารถใช้ชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้ ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (water-gas shift reaction) ที่เกิดขึ้น ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนในแก๊สเชื้อเพลิงสูงขึ้น ส่งผลทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนสูงขึ้นด้วย คือ ประมาณ 12-18 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร หรือประมาณ 3 เท่าของค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการแกซิฟายอื่น



กระบวนการแกซิฟายด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต

switchgrass หญ้าสวิตช์แกรส

หญ้าพื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Panicum virgatum* ปลูกมากแถบทวีปอเมริกาเหนือ ขยายพันธุ์โดยการหว่านเมล็ดเพียงครั้งเดียว สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 10 ปี เจริญเติบโตเร็ว ต้องการน้ำน้อย เติบโตได้แม้เป็นดินทราย ต้านทานต่อโรคและแมลงสูง ค่าใช้จ่ายในการเพาะปลูกต่ำ ต้องการปุ๋ยบ้างโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ดินหลังการเพาะปลูกไม่ถูกทำลาย ลำต้นสูง ให้ผลผลิตจำกัดในช่วง 3 ปีแรกของการเพาะปลูก สูงสุดประมาณ 5-10 ตันต่อเฮกตาร์ (hectare, ha พื้นที่ 1 เฮกตาร์เท่ากับ 1 หมื่นตารางเมตร) ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ มีการศึกษาพบว่ามีศักยภาพเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) เพราะมีองค์ประกอบของเซลลูโลส (ดู cellulose) สูง สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการนำหญ้าชนิดนี้มาปลูกเพื่อเป็นพลังงานหรือผลิตเอทานอล เนื่องจากยังไม่มีเทคโนโลยีในระดับอุตสาหกรรมรองรับ และผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำกว่าหญ้าสายพันธุ์อื่นที่ปลูกได้ในประเทศ เช่น หญ้าเนเปียร์ (ดู napier grass)

หญ้าสวิตช์แกรส

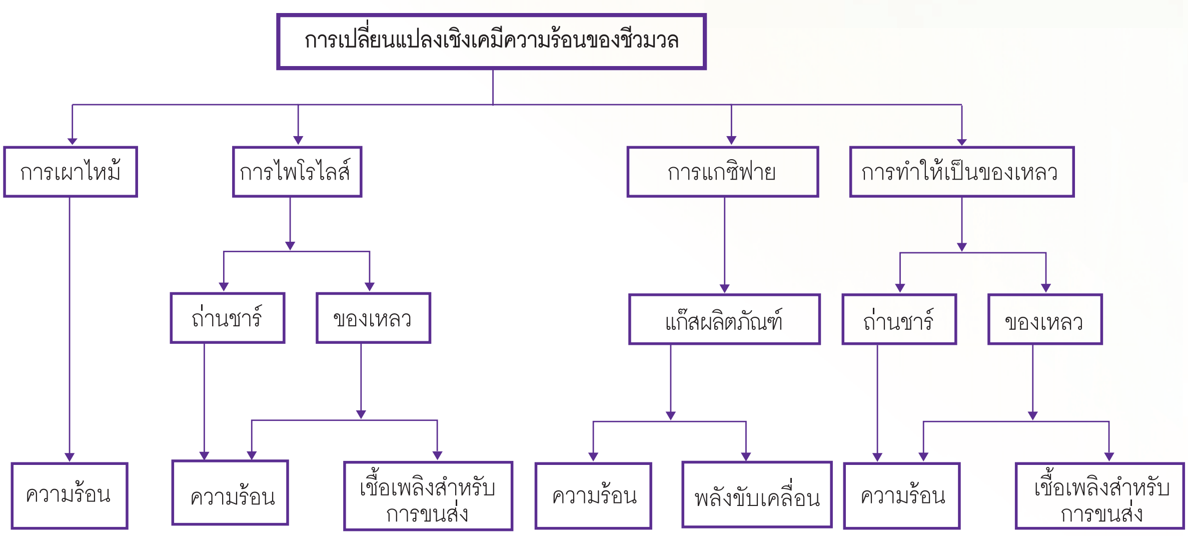
tar ทาร์, น้ำมันดิน

ของเหลวข้น สีเข้มจนดำ ได้จากการสลายตัวทางความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน (oil shale) ชีวมวล (ดู biomass) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด เป็นสารปนเปื้อนในแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas) ในการแกซิฟาย (ดู gasification) ก่อปัญหาในระบบการนำส่งแก๊ส การเผาไหม้ในเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า แก๊สเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต้องมีปริมาณทาร์ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วิธีอย่างง่ายที่ใช้ทั่วไปในการกำจัดทาร์ คือ ระบบบำบัดแก๊สแบบเปียก (wet scrubber) แต่หากมีปริมาณมากจะเกิดปัญหาน้ำเสียตามมา ปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดทาร์ได้รับความสนใจอย่างมาก และมีพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง นอกจากการบำบัดแก๊สขั้นปลายแล้ว ยังมีการศึกษาการลดทาร์ระหว่างการแกซิฟาย เช่น การแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เป็นต้น


ทาร์

thermochemical conversion การเปลี่ยนทางอุณหเคมี

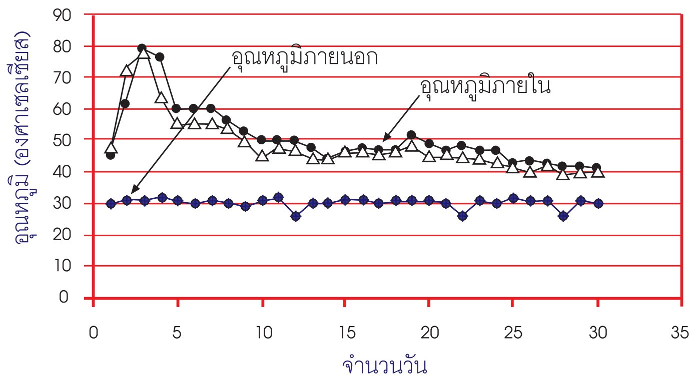
กระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงของแข็ง รวมถึงชีวมวล (ดู biomass) ผ่านปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เป็นพลังงานหรือเชื้อเพลิงรูปแบบอื่นที่สะอาด ใช้งานได้สะดวก มีประสิทธิภาพขึ้น เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือมีมูลค่าสูงขึ้น กระบวนการหลัก 4 กระบวนการ คือ การเผาไหม้ (ดู combustion) การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) การแกซิฟาย (ดู gasification) และการทำให้เป็นของเหลว (liquefaction) การเผาไหม้เป็นกระบวนการแรกที่มนุษย์นำไม้หรือฟืนมาใช้ผลิตความร้อนและแสงสว่าง แต่พบปัญหาเรื่องควัน การเผาเป็นถ่านไม้เพื่อกำจัดสารระเหย คือ การคาร์บอไนซ์ (ดู carbonization) หรือการไพโรไลส์อย่างช้าๆ (ดู slow pyrolysis) เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ จัดเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น และในปัจจุบันได้พัฒนาเตาเผาขึ้นหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มผลได้ของถ่านไม้ และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อดักควันและสารระเหย ให้กลั่นเป็นน้ำส้มควันไม้ เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรให้แพร่หลายขึ้น



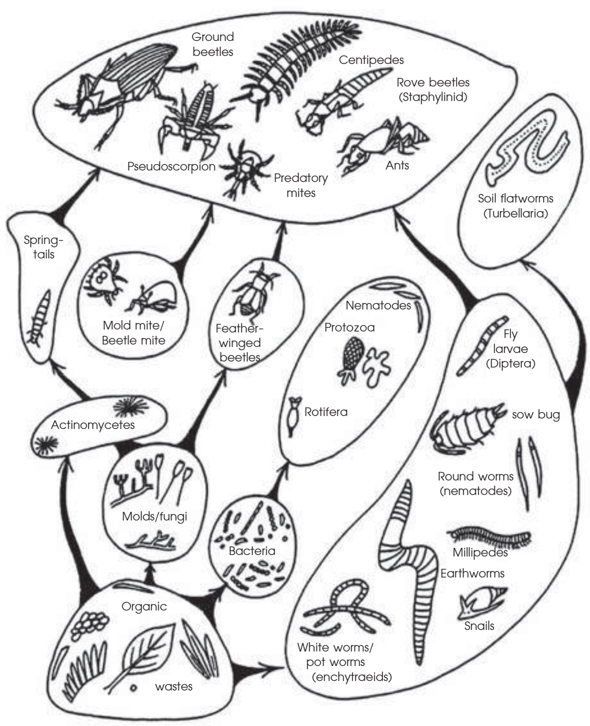
การเปลี่ยนทางอุณหเคมี

thermophilic digestion การย่อยที่อุณหภูมิสูง

กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิกชนิดใช้และไม่ใช้อากาศ ที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 45-60 องศาเซลเซียส นิยมใช้ผลิตปุ๋ยหรือกำจัดขยะอินทรีย์ระบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกอง การย่อยสลายน้ำเสียอุตสาหกรรม และย่อยสลายหญ้าเนเปียร์ในระบบหมักร่วมมูลสัตว์แบบไม่ใช้อากาศสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการวิจัย พัฒนาและส่งเสริมการนำพืชพลังงานและมูลสัตว์ผ่านการหมักร่วม เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน



กองปุ๋ยและอุณหภูมิภายในมีอุณหภูมิสูงใน 2-5 วันแรก เหมาะกับการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงเป็นการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก



จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ทำงานร่วมกัน ในการย่อยสลายวัตถุดิบให้เป็นปุ๋ยหมัก

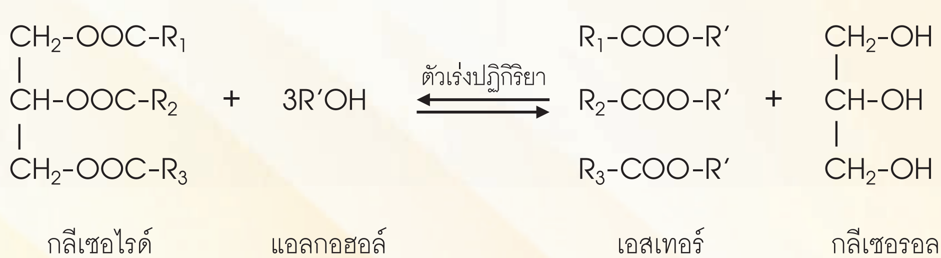
torrefaction การทอร์ริฟาย

การสลายตัวด้วยความร้อนของชีวมวล (ดู biomass) ในภาวะอับอากาศ คล้ายการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) แต่ดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำกว่า ที่ประมาณ 200-320 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงแข็งสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีสมบัติทางเชื้อเพลิงดีขึ้นทั้งด้านความหนาแน่นและค่าความร้อน และยังสามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงแท่งคุณภาพสูงได้ มีการสูญเสียเชิงมวลในกระบวนการประมาณร้อยละ 20 และเชิงความร้อนประมาณร้อยละ 10

ลักษณะการเปลี่ยนจากชีวมวล (ไม้) เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งผ่านการทอร์ริฟาย

transesterification ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

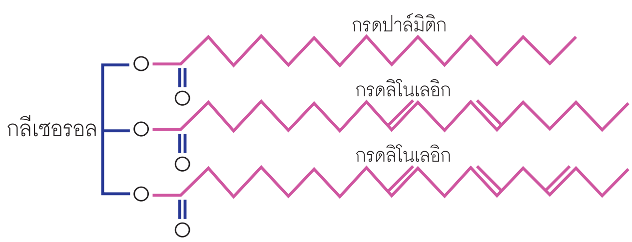
การเปลี่ยนเอสเทอร์ชนิดหนึ่งเป็นเอสเทอร์อีกชนิดหนึ่งโดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ บางครั้งเรียกว่า inter-esterification (อินเทอร์-เอสเทอริฟิเคชัน) เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (reversible reaction) เร่งปฏิกิริยาด้วยกรด เบส หรือเอนไซม์ไลเพส ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช หรือไขสัตว์กับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) เป็นปฏิกิริยาสำคัญในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ชนิดเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ดู fatty acid methyl esters) ตามมวลสารสัมพันธ์ ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุลทำปฏิกิริยากับเมทานอล 3 โมเลกุล ได้เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล (ดู glycerol) 1 โมเลกุลเป็นผลผลิต แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้ปริมาณเมทานอลมากเกินพอ (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ > 3) เพื่อขับสมดุลของปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ชนิดเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดู alkaline catalyst, sodium hydroxide) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์เร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเอนไซม์ แต่เหมาะสำหรับน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) และน้ำ (ดู water) ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเท่านั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 60-65 องศาเซลเซียส ลักษณะของผลผลิตมีเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันแยกตัวอยู่ชั้นบนและกลีเซอรอลอยู่ชั้นล่าง



ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

triglyceride, triacylglycerol ไตรกลีเซอไรด์, ไตรเอซิลกลีเซอรอล

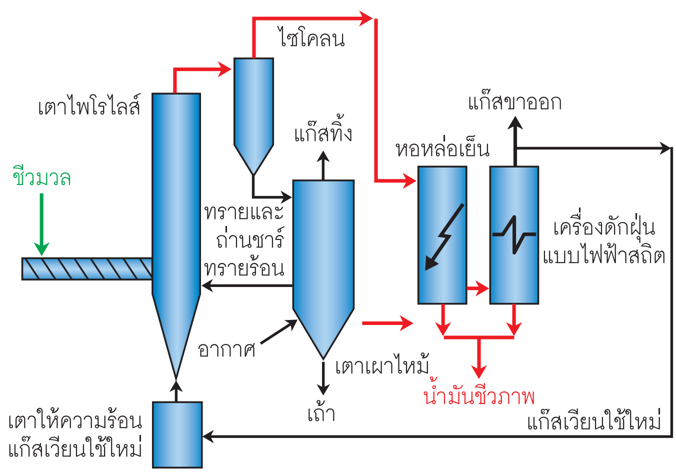
เอสเทอร์ชนิด 1 โมเลกุลประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ (ester group, -COOR) จำนวน 3 หมู่ ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ดู esterification) อย่างสมบูรณ์ของกรดอินทรีย์ 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล (ดู glycerol) 1 โมเลกุล พบในธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันและไขมันที่ได้จากพืช และสัตว์ มีกรดอินทรีย์ประเภทกรดไขมันร้อยละ 94-96 ไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้งสามตำแหน่ง เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียว (simple triglyceride) ถ้าต่างชนิดกัน เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ชนิดผสม (mixed triglyceride) มีความหนืดสูง ไม่ละลายน้ำ สมบัติทางกายภาพและเคมีของไตรกลีเซอไรด์ขึ้นกับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล



โครงสร้างเคมีของไตรกลีเซอไรด์

ultra-rapid pyrolysis การไพโรไลส์แบบเร็วยิ่งยวด

การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ที่มีอัตราการให้ความร้อนสูงมาก เนื่องจากมีของแข็งทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ความร้อน และคลุกเคล้ากับอนุภาคเชื้อเพลิงแข็ง หรือชีวมวล (ดู biomass) อย่างมีประสิทธิภาพ การถ่ายโอนความร้อน และการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนทำได้อย่างรวดเร็ว ผลผลิตที่เกิดขึ้นในขั้นการไพโรไลส์ปฐมภูมิ (primary pyrolysis) ควบแน่นอย่างรวดเร็ว ตามด้วยการไพโรไลส์ในเครื่องปฏิกรณ์ (pyrolyzer) ระบบแยกระหว่างแก๊สและของแข็ง จะแยกของแข็งร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางออกจากแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ และไอระเหยที่ได้จากไพโรไลส์ขั้นปฐมภูมิ นำของแข็งไปให้ความร้อนก่อนให้แก๊สเฉื่อยพากลับไปป้อนเครื่องปฏิกรณ์ใหม่โดยต้องควบคุมเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ให้สั้นที่สุดและแม่นยำมากที่สุด หากต้องการผลผลิตแก๊สอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลส์อยู่ที่ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียสและประมาณ 650 องศาเซลเซียส สำหรับผลผลิตที่เป็นของเหลว



ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการไพโรไลส์แบบเร็วยิ่งยวด

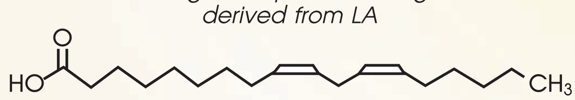
ultimate analysis การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงโดยละเอียด ทำให้ทราบองค์ประกอบของธาตุสำคัญต่าง ๆ ในเชื้อเพลิง เช่น คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน(O) และกำมะถัน (S) ในการรายงานผลการวิเคราะห์ต้องแสดงร้อยละความชื้น และเถ้าด้วย

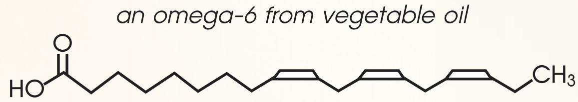
unsaturated fatty acid กรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุองค์ประกอบ โครงสร้างทั่วไปประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนเป็นพันธะคู่ (double bond) อย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) จำนวน 1 หมู่ ในธรรมชาติพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนระหว่าง 16-24 อะตอม อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันรำข้าว เป็นต้น และในปลาทะเลน้ำลึก เช่น ปลาแซลมอน กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวต่ำกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (ดู saturated fatty acid) ที่จำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน พันธะคู่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีเสถียรภาพต่อความร้อนต่ำ และออกซิไดส์ได้ง่าย เกิดการเปลี่ยนสี และกลิ่นเหม็นหืน (rancid)

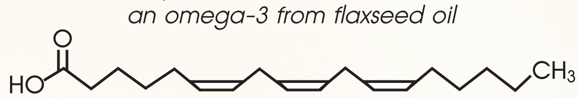
Arachidonic Acid (AA)
endogenous pain messenger derived from LA



Linoleic Acid (LA)
an omega-6 from vegetable oil



alpha-Linolenic Acid (ALA)
an omega-3 from flaxseed oil



gamma-Linolenic Acid (GLA)
an omega-6 from borage oil

โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งบางชนิด

C18:1
กรดโอเลอิก

โครงสร้างทางเคมีของกรดโอเลอิก

up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี

ถังบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) ซึ่งเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียโดยไม่ใช้ตัวกลาง (medium) น้ำเสียถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถัง แบคทีเรียเจริญเติบโตและจับตัวเป็นเม็ดตะกอน (granule) รวมตัวเป็นชั้นตะกอนอยู่ด้านล่างของถัง ด้านบนของถังมีแผ่นกระทบ (baffle) และหมวกรวมแก๊ส (gas cap) ทำหน้าที่ป้องกันตะกอนแบคทีเรียขนาดเล็กลอยออกนอกถังและสะสมแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ตามลำดับ น้ำเสียที่บำบัดแล้วจะไหลออกทางน้ำล้น (weir) ทางด้านบนของถัง

used cooking oil น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว

น้ำมันพืช หรือไขสัตว์ที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานหรือใช้ซ้ำ เกิดการแปรสภาพผ่านปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากความร้อน ความชื้นในอาหาร ออกซิเจนในอากาศ และเครื่องปรุงต่างๆ ทำให้มีสีคล้ำ กลิ่นเหม็นหืน ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) เพิ่มขึ้น ความหนืดสูงขึ้น เกิดฟองและควันได้ง่ายขณะทอด พบสารมีขั้ว (polar compound) จำพวกออกไซด์ และเพอร์ออกไซด์ อนุมูลอิสระ และพอลิเมอร์ก่อให้เกิดมะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งตับ โรคหัวใจและหลอดเลือด

น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว

volatile matter สารระเหย

ปริมาณสารที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของเชื้อเพลิงและระเหยออกไป การทดสอบในห้องปฏิบัติการต้องกระทำที่สภาวะการให้ความร้อนอุณหภูมิสุดท้าย และใช้ภาชนะที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ เช่น มาตรฐาน ASTM D 1762-84 วิเคราะห์ปริมาณสารระเหยในถ่านไม้ นำถ่านไม้มาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสในเตาเผาตามขั้นตอนที่ระบุในมาตรฐาน เป็นต้น แล้วคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

Parameter	Units	Powder River Basin	Eastern bituminous	Wheat shorts	Wood pellets
Untimate analysis (as-fired)					
Carbon	%	51.18	72.57	41.82	50.50
Hydrogen	%	3.49	4.98	5.46	6.00
Nitrogen	%	0.66	1.22	2.59	0.15
Sulfur	%	0.23	0.85	0.21	0.01
Oxygen	%	12.70	5.70	32.88	40.50
Ash	%	4.51	8.59	4.24	0.33
Moisture	%	27.20	6.00	12.80	5.52
Proximate analysis (as-fired)					
Fixed carbon	%	37.50	53.00	17.88	12.50
Volatile matter	%	30.80	32.41	65.08	81.65
Ash	%	4.50	8.59	4.24	0.33
Moisture	%	27.20	6.00	12.80	5.52
Higher heating	MJ/kg	20.25	30.20	16.70	19.30
value	Btu/lb	8,800	12,400	7,200	8,297

การเปรียบเทียบสมบัติโดยการวิเคราะห์แบบประมาณและแยกธาตุของชีวมวลเทียบกับถ่านหิน

waste tire ขยะยาง, ยางรถยนต์ใช้แล้ว

ยางรถยนต์ รถบรรทุก และยานยนต์อื่นที่หมดสภาพการใช้งาน ยางล้อ 1 เส้น ประกอบด้วยยางร้อยละ 85 เหล็กเส้นร้อยละ 12 และไฟเบอร์ร้อยละ 3 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) ร้อยละ 51 ผงคาร์บอนแบล็ค (carbon black) ร้อยละ 26 น้ำมันร้อยละ 13 ออกไซด์ของสังกะสี (zinc oxide) ร้อยละ 2 กำมะถัน (sulphur) ร้อยละ 1 และสารประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแง่การเป็นเชื้อเพลิงทดแทน องค์ประกอบหลักของยางรถยนต์ใช้แล้ว คือ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ซึ่งก็คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว สามารถใช้หลักการสลายตัวด้วยความร้อนหรือการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ทำให้โครงสร้างทางเคมีของยางรถยนต์แตกเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่สั้นในรูปของน้ำมัน แก๊สเชื้อเพลิง และถ่านชาร์ แต่ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบต้องผ่านกระบวนการลดกำมะถันก่อนนำไปใช้งานจริง ในแต่ละปีมีขยะยางรถยนต์มากกว่า 10 ล้านตันทั่วโลก ขยะยางรถยนต์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ยากที่จะจัดเก็บและกำจัด และเนื่องจากลุกติดไฟได้อย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดแก๊สมลพิษ มีความพยายามนำยางใช้แล้วมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การนำโครงยางล้อที่ผ่านการใช้งานแล้วแต่ยังคงมีสภาพดีไปหล่อดอกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการนำยางล้อเก่ามาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ถังขยะยาง กระถาง รองเท้าแตะ หรือดัดแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเกษตรและประมง เป็นต้น แต่ลดปริมาณสะสมของยางรถยนต์ใช้แล้วได้ไม่มากนัก

ยางรถยนต์ใช้แล้ว

น้ำมันที่ผลิตจากยางรถยนต์ใช้แล้ว

wastewater from agro-industries น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเกษตร ส่วนใหญ่เป็นน้ำที่มีของเสียอินทรีย์ที่เกิดในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต มีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารผักและผลไม้ เยื่อและกระดาษ น้ำมันปาล์ม แอลกอฮอล์ น้ำตาล เป็นต้น มีลักษณะทางกายภาพ คือ ขุ่น สีคล้ำหรือดำ กลิ่นเหม็น ลักษณะทางชีวภาพ คือ มีจุลินทรีย์จำนวนมาก และลักษณะทางเคมี คือ มีความเป็นกรด-เบส (pH) ต่ำกว่า 7 ค่า BOD มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หากปล่อยน้ำเสียนี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง โดยไม่บำบัดก่อนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง

น้ำเสีย

water-gas reaction ปฏิกิริยาแก๊ส-น้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนและไอน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ คือ ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \qquad \Delta H = +131 \text{ MJ/mol}$$

water-gas shift reaction ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ กับไอน้ำ ได้คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และไฮโดรเจน ปฏิกิริยาคายความร้อน และย้อนกลับได้ อาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย นำมาใช้สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนในแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) จากการรีฟอร์ม (reforming) หรือการแกซิฟาย (ดู gasification) เพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง (ดู fuel cell)

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad \Delta H = -41 \text{ MJ/mol}$$

water hyacinth ผักตบชวา

วัชพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichhornia crassipes* มีลำต้นสั้น แตกใบเป็นกอ ใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำ ตรงกลางพองออก ภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเมื่อ พ.ศ. 2444 ภายหลังเกิดน้ำท่วมจึงหลุดลอยออกไปสู่ลำคลองภายนอก และสร้างปัญหาในระยะต่อมา โดยส่งผลต่อระบบชลประทานและการระบายน้ำ เพราะสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถขยายตัวครอบคลุมผิวน้ำได้ในอัตราร้อยละ 8 ต่อวัน นอกจากการกำจัดทิ้งแล้วมีการนำมาใช้ประโยชน์อื่น เช่น เป็นอาหารสัตว์ ทำปุ๋ยหมัก เป็นวัสดุเพาะชำเห็ด และต้นไม้ ทำเครื่องจักสาน เป็นต้น มีการศึกษาการแปรรูปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ เช่น แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) และถ่านอัดแท่ง เป็นต้น

ผักตบชวา

การเผาถ่านจากผักตบชวา

wattle กระถินณรงค์

ไม้ยืนต้นตระกูลถั่วในวงศ์ *Fabaceae* ชื่อวิทยาศาสตร์ *Acacia auriculaeformis* Cunn. มีถิ่นกำเนิดในประเทศปาปัวนิวกินีและตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย ลำต้นสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม เปลือกแตกเป็นร่องยาว มีความสูง 10-30 เมตร เรือนยอดแผ่กว้าง ทรงพุ่ม ใบ และกิ่งก้านหนาแน่น ต้นอ่อนมีใบประกอบแบบขนนกสองชั้น และเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นใบหนา ผิวเรียบ ปลายแหลมทั้งสองด้าน เรียวยาวโค้งเป็นรูปเคียว กว้าง 1.2-2.5 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร ดอกออกเป็นช่อคล้ายหางกระรอกตามง่ามใบและปลายกิ่ง ยาวประมาณ 7 เซนติเมตร ดอกย่อยสีเหลือง กลิ่นหอม แต่ละช่อมีดอกย่อยประมาณ 70-100 ดอก ฝักแบนบิดม้วนเป็นวง 1-3 วง เมื่อแก่มีสีน้ำตาล ภายในมีเมล็ดสีน้ำตาลดำเป็นมัน 5-12 เมล็ด เป็นไม้โตเร็ว ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ปลูกเป็นสวนป่า เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและเฟอร์นิเจอร์ ใช้ทำฟืน ให้ค่าความร้อน 4,000-5,000 แคลอรีต่อกรัม มีศักยภาพเป็นพืชพลังงาน

ต้นกระถินณรงค์

ดอกกระถินณรงค์

ฝักกระถินณรงค์

wheat ข้าวสาลี

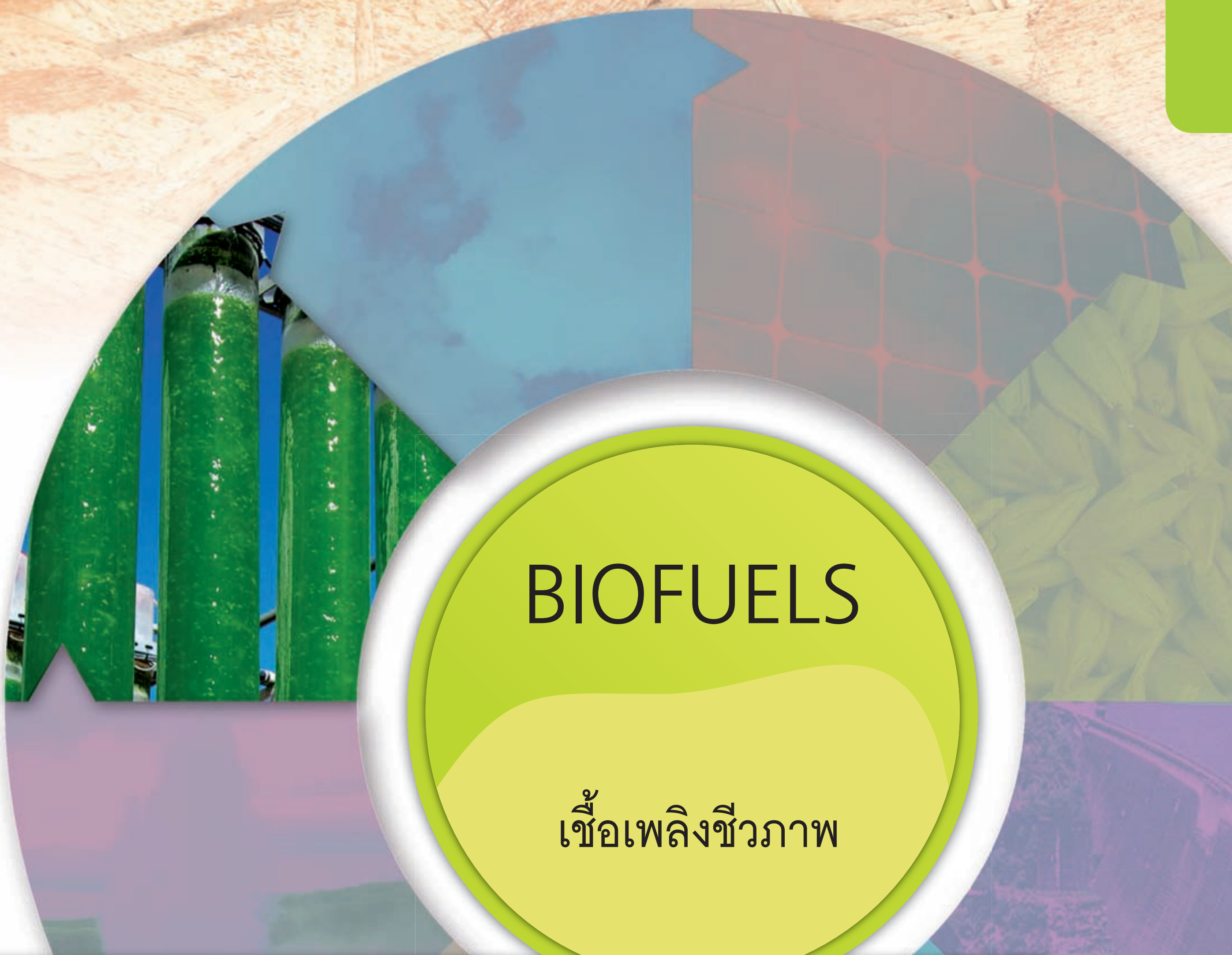
ธัญพืชเมืองหนาว นำไปแปรรูปเป็นอาหารอย่างแพร่หลายทั่วโลก อยู่ในตระกูลเดียวกับหญ้า ชื่อวิทยาศาสตร์ *Triticum aestivum* L. มีถิ่นกำเนิดในตะวันออกกลางเมื่อราว 7,500 ปีก่อนคริสตศักราช เป็นพืชล้มลุก ปรับตัวได้ดีสามารถเจริญเติบโตได้บริเวณพื้นที่เหนือเส้นศูนย์สูตร หรือเขตอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-25 องศาเซลเซียส หยุดการเจริญเติบโตและตาย หากมีสภาพอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เมล็ดมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 70 ในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อมีผลผลิตมากเกินความต้องการจะนำมาหมักเป็นเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ ประเทศไทยพบหลักฐานว่า นำแป้งข้าวสาลีมาจากประเทศอินเดียตั้งแต่สมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราชแห่งกรุงศรีอยุธยา แต่เริ่มปลูกในปี พ.ศ. 2477 นิยมปลูกบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลที่มีสภาพอากาศหนาวเย็นตลอดปี ปัจจุบันปลูกมากที่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดน่าน แต่ผลผลิตในประเทศมีน้อย ไม่มีศักยภาพในการแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน

ข้าวสาลี

willow หลิว

ไม้ต้นขนาดเล็ก หรืออาจสูงถึง 10-20 เมตร แตกต่างกันตามสายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Salix* ลักษณะทั่วไปเป็นต้นโปร่ง รูปทรงไม่แน่นอน เจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศหนาวเย็น สามารถปลูกเป็นไม้ประดับ หรือนำใบและเปลือกไม้มาสกัดเป็นยาได้ จัดเป็นพืชพลังงานประเภทพืชที่มีเนื้อไม้ที่ดี เพราะอัตราการดูดซับคาร์บอนสูง และเติบโตเร็ว นำไปผลิตเป็นถ่านไม้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงและผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นพืชพลังงานที่มีศักยภาพสูง โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป แคนาดา และสหรัฐอเมริกา เพราะให้ปริมาณการผลิตต่อพื้นที่สูง มีรอบการปลูกจนสามารถเก็บเกี่ยวได้สั้นกว่า 5 ปี ในประเทศไทยมีการปลูกบ้างในบางพื้นที่แถบภาคเหนือที่มีสภาพอากาศหนาวเย็น ผลผลิตน้อย ไม่มีศักยภาพในการแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน

ต้นหลิว



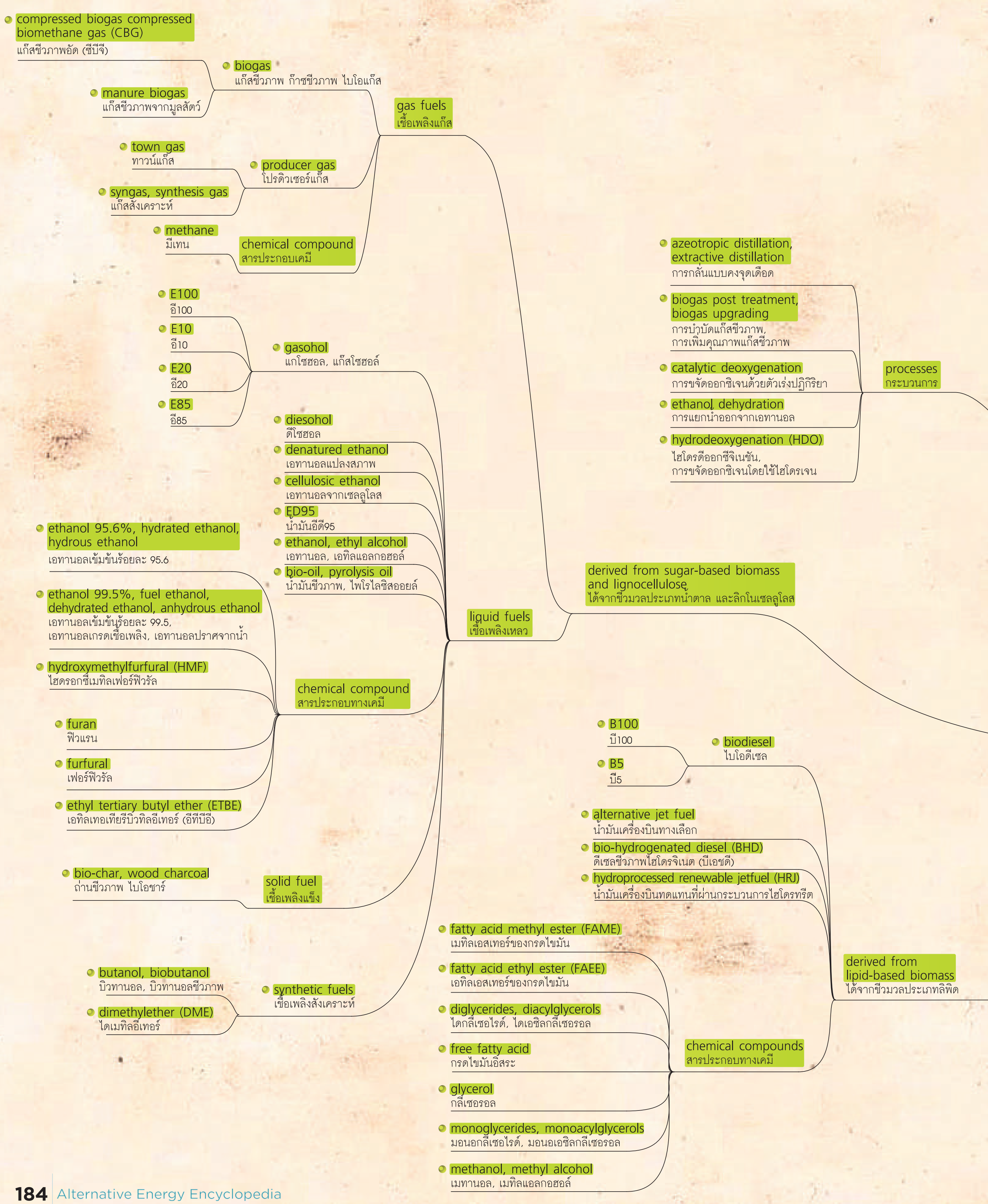
BIOFUELS

เชื้อเพลิงชีวภาพ

คืนชีวิตให้โลก

เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวลครอบคลุมผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลส์ชีวมวล ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากปฏิกิริยาขจัดออกซิเจนจากโมเลกุลน้ำมันชีวภาพและไบโอดีเซลที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน รวมถึงเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันที่กลั่นจากปิโตรเลียมกับเอทานอลที่รู้จักกันในชื่อ แกโซฮอล และที่อยู่ในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สชีวภาพจากการหมักหรือจากปฏิกิริยาของแก๊สสังเคราะห์ผ่านกระบวนการฟิสเชอร์-ทรอปช์ และเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านชีวภาพ ด้วยความสนใจผู้บริโภคอยู่ที่เชื้อเพลิงเหลวที่ทดแทนน้ำมันที่กลั่นจากปิโตรเลียม รวมไปถึงการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อรองรับเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ว่าจะเป็น B5 B7 B100 หรือ E10 E20 E85 ตลอดจน ED95 เพื่อใช้กับยานพาหนะทั้งรถยนต์และเครื่องบิน อนาคตเราจะได้เห็นชื่อเชื้อเพลิง เช่น ไดเมทิลอีเทอร์ที่ผลิตจากแก๊สสังเคราะห์ ส่วนแก๊สเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปแก๊สชีวภาพอัดเพื่อใช้ทดแทนแก๊สธรรมชาติก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมาก

Mind Map


compressed biogas compressed biomethane gas (CBG)
แก๊สชีวภาพอัด (ซีบีจี)
manure biogas
แก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์
biogas
แก๊สชีวภาพ ก๊าซชีวภาพ ไบโอแก๊ส
gas fuels
เชื้อเพลิงแก๊ส
town gas
ทาวน์แก๊ส
syngas, synthesis gas
แก๊สสังเคราะห์
producer gas
โปรดิวเซอร์แก๊ส
methane
มีเทน
chemical compound
สารประกอบเคมี
E100
อี100
E10
อี10
E20
อี20
E85
อี85
gasohol
แกโซฮอล, แก๊สโซฮอล์
diesohol
ดีโซฮอล
denatured ethanol
เอทานอลแปลงสภาพ
cellulosic ethanol
เอทานอลจากเซลลูโลส
ED95
น้ำมันอีดี95
ethanol, ethyl alcohol
เอทานอล, เอทิลแอลกอฮอล์
bio-oil, pyrolysis oil
น้ำมันชีวภาพ, ไพโรไลซิสออยล์
ethanol 95.6%, hydrated ethanol, hydrous ethanol
เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95.6
ethanol 99.5%, fuel ethanol, dehydrated ethanol, anhydrous ethanol
เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.5, เอทานอลเกรดเชื้อเพลิง, เอทานอลปราศจากน้ำ
hydroxymethylfurfural (HMF)
ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล
chemical compound
สารประกอบทางเคมี
furan
ฟิวแรน
furfural
เฟอร์ฟิวรัล
ethyl tertiary butyl ether (ETBE)
เอทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ (อีทีบีอี)
bio-char, wood charcoal
ถ่านชีวภาพ ไบโอชาร์
solid fuel
เชื้อเพลิงแข็ง
butanol, biobutanol
บิวทานอล, บิวทานอลชีวภาพ
dimethylether (DME)
ไดเมทิลอีเทอร์
synthetic fuels
เชื้อเพลิงสังเคราะห์
liquid fuels
เชื้อเพลิงเหลว
derived from sugar-based biomass and lignocellulose
ได้จากชีวมวลประเภทน้ำตาล และลิกโนเซลลูโลส
azeotropic distillation, extractive distillation
การกลั่นแบบคงจุดเดือด
biogas post treatment, biogas upgrading
การบำบัดแก๊สชีวภาพ, การเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพ
catalytic deoxygenation
การขจัดออกซิเจนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา
ethanol dehydration
การแยกน้ำออกจากเอทานอล
hydrodeoxygenation (HDO)
ไฮโดรดีออกซีจิเนชัน, การขจัดออกซิเจนโดยใช้ไฮโดรเจน
processes
กระบวนการ
B100
บี100
B5
บี5
biodiesel
ไบโอดีเซล
alternative jet fuel
น้ำมันเครื่องบินทางเลือก
bio-hydrogenated diesel (BHD)
ดีเซลชีวภาพไฮโดรจิเนต (บีเอชดี)
hydroprocessed renewable jetfuel (HRJ)
น้ำมันเครื่องบินทดแทนที่ผ่านกระบวนการไฮโดรทรีต
derived from lipid-based biomass
ได้จากชีวมวลประเภทลิพิด
fatty acid methyl ester (FAME)
เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
fatty acid ethyl ester (FAEE)
เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
diglycerides, diacylglycerols
ไดกลีเซอไรด์, ไดเอซิลกลีเซอรอล
free fatty acid
กรดไขมันอิสระ
chemical compounds
สารประกอบทางเคมี
glycerol
กลีเซอรอล
monoglycerides, monoacylglycerols
มอนอกลีเซอไรด์, มอนอเอซิลกลีเซอรอล
methanol, methyl alcohol
เมทานอล, เมทิลแอลกอฮอล์

Biofuels
เชื้อเพลิงชีวภาพ

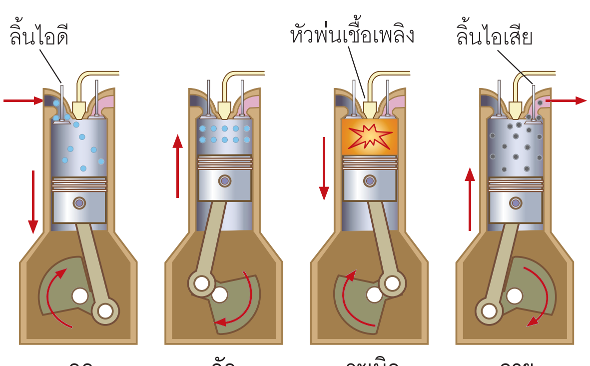
- engines
  เครื่องยนต์
  - biogas engine
    เครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ
  - external combustion engine
    เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก
  - syngas engine
    เครื่องยนต์แก๊สสังเคราะห์
  - internal combustion engine, IC engines
    เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน, เครื่องยนต์ไอซี
    - gasoline engine, spark-ignition engine
      เครื่องยนต์แกโซลีน, เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน
    - 2 cycle diesel engine
      เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ
    - 4 cycle diesel engine
      เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ
  - flexible-fuel, flex-fuel vehicle (FFV)
    พาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงหลากชนิด
  - combustion chamber
    ห้องเผาไหม้
  - compressive ignition
    การจุดระเบิดด้วยการอัด
- fuel properties
  สมบัติทางเชื้อเพลิง
  - acid value, acidity
    ค่ากรด, ความเป็นกรด
  - aromatics content
    ปริมาณสารแอโรแมติกส์
  - benzene content
    ปริมาณเบนซีน
  - carbon residue
    กากคาร์บอน, การถ่าน
  - cetane number
    ซีเทน, ค่าซีเทน
  - cloud point
    จุดขุ่น
  - dew point, dew point temperature
    จุดน้ำค้าง
  - flash point
    จุดวาบไฟ
  - heating value, calorific value
    ค่าความร้อน
  - lead content
    ปริมาณตะกั่ว
  - kinematic viscosity
    ความหนืดคิเนแมติก, ความหนืดเชิงจลศาสตร์
  - methane content
    ปริมาณมีเทน
  - octane number
    เลขออกเทน, ค่าออกเทน
  - phosphorus content
    ปริมาณฟอสฟอรัส
  - pour point
    จุดไหลเท
  - solvent washed gum
    ยางเหนียว
  - specific gravity
    ความถ่วงจำเพาะ
  - sulfated ash
    เถ้าซัลเฟต
  - sulphur content
    ปริมาณกำมะถัน
  - total contaminant
    สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด
  - total glycerine
    กลีเซอรีนทั้งหมด
  - vapor pressure at 37.8 °C
    ความดันไอที่ 37.8 องศาเซลเซียส
  - volatility
    สภาพระเหยได้
  - Wobbe index
    ดัชนีวอบเบ
  - water content
    ปริมาณน้ำ
  - copper strip corrosion
    การกัดกร่อนแผ่นทองแดง
  - distillation profile
    โพรไฟล์การกลั่น
- conventional fuel
  เชื้อเพลิงดั้งเดิม
  - diesel fuel, petroleum diesel
    น้ำมันดีเซล
    - high-speed diesel oil, automotive diesel oil
      น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
    - low-speed diesel oil, industrial diesel oil
      น้ำมันดีเซลหมุนช้า

2 cycle diesel engine เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลแบบง่าย มีการทำงาน 2 จังหวะประกอบด้วย 1) *จังหวะคายและดูด* ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ไอเสียถูกขับออกจากกระบอกสูบผ่านช่องไอเสีย จากนั้น ดูดอากาศเข้ากระบอกสูบผ่านช่องไอดี 2) *จังหวะอัดและระเบิด* ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นปิดช่องไอดีและช่องไอเสียพร้อมกับอัดอากาศ หัวฉีดพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ เกิดการจุดระเบิด ผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่ลงเพื่อเข้าสู่จังหวะคายและดูดอีกครั้ง ครบ 2 จังหวะเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ เป็นระบบที่เหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ การทำงานและชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์มีความซับซ้อนน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ห้องเผาไหม้ไม่มีลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำกว่า

4 cycle diesel engine เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลที่มีการทำงาน 4 จังหวะ ประกอบด้วย 1) *จังหวะดูด (suction stroke)* ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด อากาศถูกดูดเข้าในห้องเผาไหม้ จากนั้นลิ้นไอดีปิด 2) *จังหวะอัด (compression stroke)* ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น เกิดการอัดอากาศ ปริมาตรอากาศเหลือประมาณ 1 ใน 16 ของปริมาตรเดิม อุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียส 3) *จังหวะระเบิด (power stroke)* หัวฉีดพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ เกิดการจุดระเบิดผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่ลง 4) *จังหวะคาย (exhaust stroke)* ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ลิ้นไอดีปิด ลิ้นไอเสียเปิด ไอเสียจากการเผาไหม้ถูกขับออก ลูกสูบเคลื่อนที่ลงเพื่อเข้าสู่จังหวะดูดอีกครั้ง ครบ 4 จังหวะ เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ



การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

acid value, acidity ค่ากรด, ความเป็นกรด

ข้อกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบน้ำมันพืช หรือไขสัตว์สำหรับผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) และข้อกำหนดสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล ค่ากรดบ่งบอกปริมาณกรดที่ปนเปื้อนในน้ำมันในรูปของกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) หรือตัวเร่งปฏิกิริยากรด ได้จากการไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามวิธีทดสอบ ASTM D664 หรือ EN 14104 แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน (mg KOH/g oil) จากสูตร

$$\text{Acid Value} = \frac{(V_{eq} - v_{eq})\ N\ 56.1}{W_{oil}}$$

เมื่อ V_{eq} คือ ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตน้ำมันในตัวทำละลาย (มิลลิลิตร)

v_{eq} คือ ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตตัวทำละลาย (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)

W_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

56.1 คือ น้ำหนักโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม/โมล)

alternative jet fuel น้ำมันเครื่องบินทางเลือก

น้ำมันเครื่องบินผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ดู fossil fuel) ปิโตรเลียมชีวมวล (ดู biomass) หรือน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ที่ไม่ได้ผลิตจากกระบวนการในโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม แต่เป็นน้ำมันที่ผลิตได้จากทรายน้ำมันแคนาเดียน (Canadian oil sand) น้ำมันหนักเวเนซูเอแลน วีเอชโอ (Venezuelan VHOs) หรือผลิตจากกระบวนการฟิชเชอร์-ทรอปช์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) ซึ่งใช้ถ่านหิน หรือถ่านหินผสมชีวมวล หรือแก๊สธรรมชาติ หรือจากการนำน้ำมันชีวภาพมาผ่านกระบวนการไฮโดรทรีต

(ดู hydroprocessed renewable jet (HRJ) น้ำมันเครื่องบินทางเลือกที่ผลิตจากทรายน้ำมันและวีเอชโอมีสมบัติตรงตามข้อกำหนดของน้ำมันเครื่องบินชนิด Jet A ขณะที่เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องบินเนื่องจากมีค่าความร้อนต่ำ ระเหยง่าย และมีจุดวาบไฟสูง เช่นเดียวกับไบโอดีเซล (ดู biodiesel) และไบโอเคโรซีน (biokerosene) ซึ่งมีอุณหภูมิเยือกแข็งสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องบินเช่นกัน เพราะอาจเกิดความเสียหายระหว่างการจัดเก็บหรือการใช้งานได้ แต่ผสมกับน้ำมันเครื่องบินชนิด Jet A ก่อนนำไปใช้งานได้

ประเทศไทยมีการส่งเสริมการใช้น้ำมันเครื่องบินทางเลือก โดยบริษัท การบินไทยได้จัดเที่ยวบินพิเศษซึ่งใช้น้ำมันเครื่องบินชีวภาพ (bio jet fuels) เที่ยวบินที่ TG8421 เมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2554 เป็นเที่ยวบินแรกในประเทศไทยที่ใช้น้ำมันเครื่องบินชีวภาพของน้ำมันเครื่องบินชีวภาพต่อน้ำมันเครื่องบินชนิด Jet A ที่ 1:1

TG8421 เที่ยวบินที่ใช้น้ำมันเครื่องบินทางเลือกเที่ยวบินแรกในเอเชีย

aromatics content ปริมาณสารแอโรแมติกส์

ร้อยละโดยประมาณของสารแอโรแมติกส์ (aromatics) ในเชื้อเพลิง มาตรฐานแกโซฮอล (ดู gasohol) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอลมีปริมาณสารแอโรแมติกส์ที่มาจากน้ำมันเบนซินพื้นฐานได้ไม่เกินร้อยละ 35 โดยปริมาตร

azeotropic distillation, extractive distillation การกลั่นแบบคงจุดเดือด

การกลั่นของผสมคงจุดเดือด (azeotropic mixture) ใช้กลั่นเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ที่ได้จากการกลั่นปกติความเข้มข้นประมาณร้อยละ 95 ให้มีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 99.5 โดยเติมสารเอ็นเทรนนิง (entraining agent) ปริมาณเล็กน้อยลงในของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำได้ของผสมคงจุดเดือดใหม่ที่มีจุดเดือดต่างจากของผสมคงจุดเดือดเดิม และไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น การเติมเบนซีน (benzene) ลงในของผสมระหว่าเอทานอลกับน้ำได้ของผสมคงจุดเดือดระหว่างเอทานอลกับเบนซีน ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าของผสมคงจุดเดือดระหว่างเอทานอลกับน้ำเป็นต้น การกลั่นของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำซึ่งมีเบนซีนผสมอยู่ในหอกลั่น (distillation tower) ได้ของผสมระหว่างเอทานอลกับเบนซีนทางยอดหอกลั่น หลังจากของผสมระหว่างเอทานอลกับเบนซีนแยกชั้น ได้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.5 และนำเบนซีนกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากสารเอ็นเทรนนิงส่วนใหญ่มีความเป็นพิษ และอาจปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ จึงมีการพัฒนาการแยกโดยไม่ต้องเติมสารเอ็นเทรนนิง อาทิ การดูดซับแบบสลับความดัน (pressure swing adsorption) การแยกด้วยความเย็นยวดยิ่ง (cryogenic separation) การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (membrane separation) เป็นต้น

B100 บี100

ไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ชนิดมอนอแอลคิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลพื้นฐานในปริมาณต่างๆ เช่น ร้อยละ 5 โดยปริมาตร เรียกว่า น้ำมันไบโอดีเซล บี5 (ดู B5)

B5 บี5

ไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ชนิดมอนอแอลคิลเอสเทอร์ร้อยละ 5 ผสมกับน้ำมันดีเซลพื้นฐานร้อยละ 95 โดยปริมาตร สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

benzene content ปริมาณเบนซีน

ร้อยละโดยปริมาตรของเบนซีน (benzene) ในเชื้อเพลิงเบนซีน เป็นสารแอโรแมติกส์ (aromatics) ซึ่งมักเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเป็นสารก่อมะเร็ง จึงถูกควบคุมให้มีปริมาณจำกัดในเชื้อเพลิงตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 มาตรฐานแกโซฮอล (ดู gasohol) กำหนดให้แกโซฮอลมีเบนซีนที่มาจากน้ำมันเบนซินพื้นฐานไม่เกินร้อยละ 1 โดยปริมาตร

bio-char, wood charcoal ถ่านชีวภาพ, ไบโอชาร์

ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ชีวมวล (ดู biomass) มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ที่เหลือเป็นไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และเถ้า ผลิตจากการไพโรไลส์แบบช้า (ดู slow pyrolysis) อัตราการให้ความร้อนต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลส์ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นถ่านชีวภาพ และน้ำมันดินหรือทาร์ (tar) ถ่านชีวภาพมีความเป็นผลึกพรุน สามารถดูดซับน้ำมัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารอาหารอื่นๆ ได้ และมีพื้นที่ผิวสูง สามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินหรือผลิตสารเคมีอื่นๆ ได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ แนฟทาลีน แอนทราซีน และสารประกอบไซยาโนเจน แต่ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงไร้ควันในครัวเรือน และอุตสาหกรรมขนาดเล็กเป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ การเผาอิฐ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงผลิตหินปูนและซีเมนต์

ตัวอย่างถ่านชีวภาพ

biodiesel ไบโอดีเซล

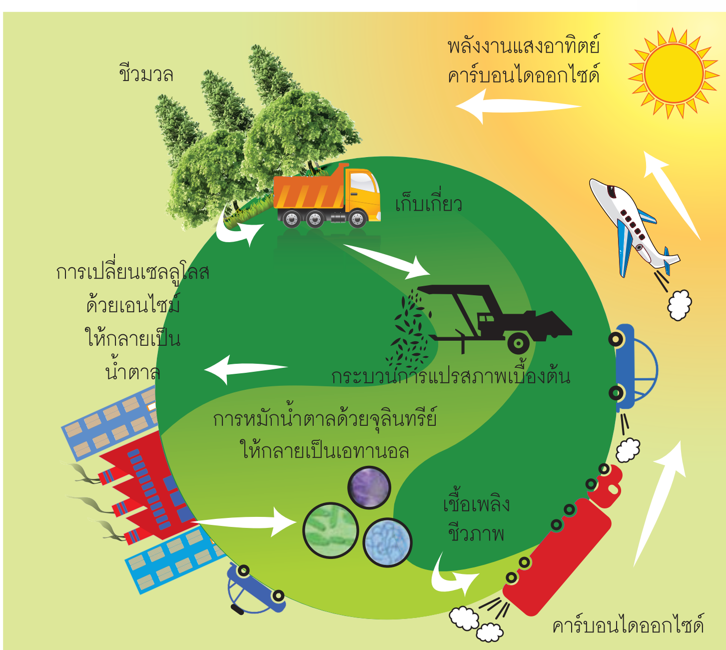
ไบโอดีเซล

เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ซึ่งมีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม แต่มีปริมาณกำมะถันต่ำหรือไม่มีสารประกอบกำมะถันเจือปนจึงเป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่สะอาด ผลิตได้หลายวิธี เช่น การทำน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ให้เป็นไมโครอิมัลชัน (ดู micro-emulsion) การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) การเติมไฮโดรเจน (ดู hydrogenation) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) เป็นต้น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง หรือผสมกับน้ำมันดีเซล (ดู diesel fuel, petroleum diesel) จากปิโตรเลียมในอัตราส่วนต่าง ๆ

biofuel เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากชีวมวล (ดู biomass) เป็นแหล่งกำเนิด แบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้ 1) เชื้อเพลิงที่ได้จากไม้ (forest biomass) เช่น กิ่งและก้านของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง มีลิกนิน (ดู lignin) อยู่ประมาณร้อยละ 40 2) เชื้อเพลิงที่ได้จากการเกษตร (agriculture biomass) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของเหลือจากภาคการเกษตร เช่น แกลบ ซังข้าวโพด มีปริมาณลิกนินต่ำประมาณร้อยละ 0-20 3) เชื้อเพลิงที่ได้จากของเสียอุตสาหกรรม (industrial wastes) ได้แก่ ชานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล กากสับปะรดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋อง มีความชื้นสูงมาก และ 4) เชื้อเพลิงที่ได้จากของเสียจากชุมชน (domestic wastes) ได้แก่ ขยะชุมชน

เทคโนโลยีการแปรรูปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการเปลี่ยนทางชีวเคมี (biochemical conversion process) ได้แก่ การหมัก (ดู fermentation) และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) และเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหเคมี (thermal conversion technology) แบ่งออกเป็น 4 หลักการ ดังนี้ 1) การไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) 2) การแกซิฟาย (ดู gasification) 3) การทำให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว (liquefaction) 4) การเผาไหม้ (ดู combustion) แต่ละกระบวนการมีความแตกต่างกันในด้านภาวะที่ใช้ และวัตถุประสงค์ หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีใช้ภาวะในการดำเนินงานรุนแรงน้อยกว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุณหเคมี แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของชีวมวล ทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุณหเคมีน่าสนใจมากกว่าทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ได้

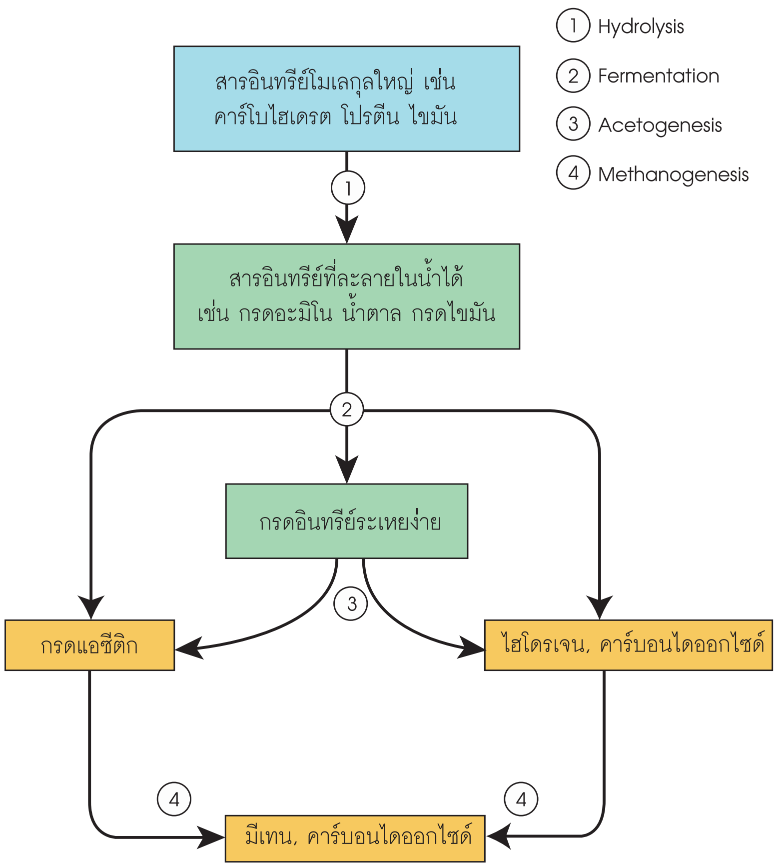


การเปลี่ยนชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

biogas แก๊สชีวภาพ, ก๊าซชีวภาพ, ไบโอแก๊ส

แก๊สที่มีองค์ประกอบหลักเป็นมีเทน (CH_4) (ดู methane) ประมาณร้อยละ 60 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดู carbon dioxide) ประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีความชื้น ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ดู hydrogen sulfide) ปนอยู่เล็กน้อย เป็นผลผลิตจากการหมักของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ (ดู anaerobic digestion) ผ่าน 4 ขั้นตอน คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) อะซิโดจีนีซิส (acidogenesis) อะซิโตจีนีซิส (acetogenesis) และเมทาโนจีนีซิส (metanogenesis) เป็นแก๊สเชื้อเพลิงให้ความร้อน และผลิตกระแสไฟฟ้า

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้พัฒนาระบบผลิตแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) แบบ พพ.1 สำหรับฟาร์มสุกรขนาด 100 ตัว และ แบบ พพ.2 สำหรับฟาร์มสุกร ขนาด 500 ตัว ผลิตแก๊สชีวภาพได้ 13.5 และ 17.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ



ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (fixed dome)

บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบบ่อหมักแบบราง (plug flow)

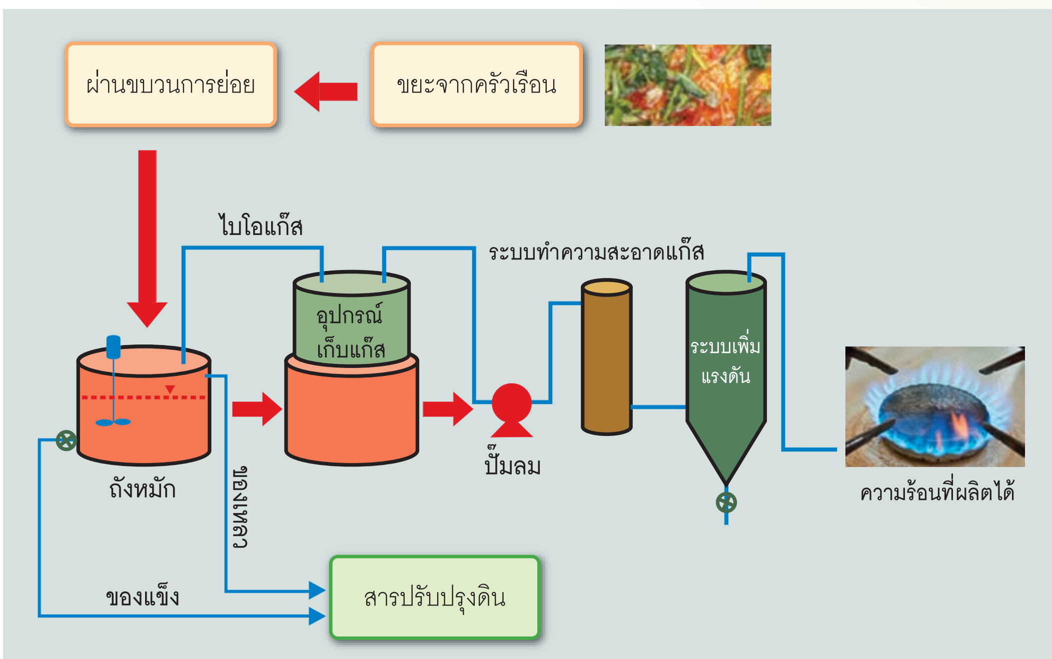
บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)

บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบคลุมบ่อ (cover lagoon)

biogas engine เครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ

เครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) เป็นเชื้อเพลิง หลักการทำงานใกล้เคียงกับเครื่องยนต์แกโซลีน (gasoline engine) สามารถดัดแปลงเครื่องยนต์ทั่วไปมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยอาจนำเครื่องยนต์ดีเซล (ดู 4 cycle diesel engine และ 2 cycle diesel engine) ที่ใช้น้ำมันดีเซล มาใช้ร่วมกับแก๊สชีวภาพ (gas-diesel engine หรือ dual fuel) ใช้การผสมแก๊สชีวภาพกับอากาศเป็นไอดี ก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ใช้น้ำมันดีเซลในการจุดระเบิดเพียงประมาณร้อยละ 10-20 ของอัตราปกติฉีดเข้าห้องเผาไหม้ จึงประหยัดน้ำมันได้ร้อยละ 80-90 โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ หรือนำเครื่องยนต์แกโซลีนมาดัดแปลงโดยเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (compression ratio, $\mathcal{E}$) ให้ได้ 10-12 ปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์เพื่อผสมอากาศกับแก๊สชีวภาพเป็นไอดี เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, IC engine ประกอบ) ที่ใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงต้องการอัตราส่วนผสมอากาศกับแก๊สชีวภาพ (AFR) 9-11 : 1 และอัตราส่วนการอัด ($\mathcal{E}$) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 10-12 เพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์


ชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ



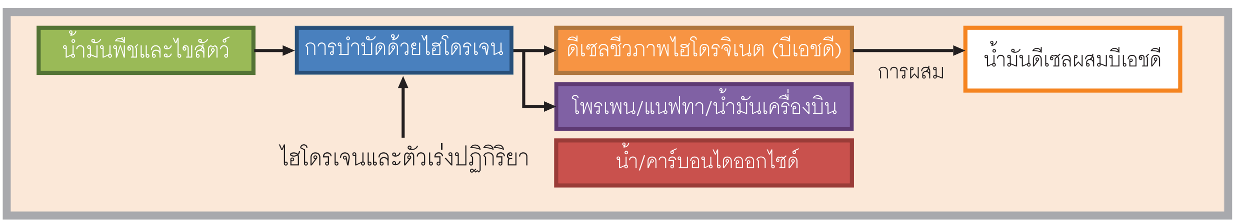
กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะอินทรีย์ครัวเรือน

biogas post treatment, biogas upgrading การบำบัดแก๊สชีวภาพ, การเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพ

การแยกความชื้น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดู hydrogen sulfide) และแก๊สปนเปื้อนอื่นๆ ออกจากแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การดูดซับ (adsorption) การดูดซึม (absorption, scrubbing) และการควบแน่น (condensation) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของมีเทน (ดู methane) ในแก๊สชีวภาพ ทำให้ค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) ของแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการกัดกร่อนลดลง พลังงานที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพควรมีค่าต่ำกว่าค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเพื่อความคุ้มค่าด้านพลังงาน

bio-hydrogenated diesel (BHD) ดีเซลชีวภาพไฮโดรจิเนต (บีเอชดี)

เชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชโดยใช้กระบวนการบำบัดด้วยไฮโดรเจน (hydrotreating process) คล้ายกับเทคโนโลยีที่ใช้ในโรงกลั่นน้ำมัน โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับที่อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส ความดัน 2-5 เมกะปาสกาล ผลผลิตหลักคือ ไฮโดรคาร์บอนเหลวบริสุทธิ์ร้อยละ 83-86 สมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม แต่เลขซีเทนสูงกว่า จุดขุ่นต่ำ ไม่มีสารพอลิแอโรแมติกส์และกำมะถัน เนื่องจากถูกกำจัดขณะถูกบำบัดด้วยไฮโดรเจนแล้ว ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรือปรับปรุงโครงสร้างให้มีจุดเดือดที่เหมาะสมเพื่อเป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินชีวภาพ (bio-jet fuel) ผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนเบา เช่น โพรเพนและแนฟทา ร้อยละ 2-5 น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ร้อยละ 12-16 มีเสถียรภาพขณะเก็บรักษาสูงกว่าน้ำมันดีเซลที่ได้จากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ดู FAME)



กระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพไฮโดรจิเนต

bio-oil, pyrolysis oil น้ำมันชีวภาพ, ไพโรไลซิสออยล์

ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ชีวมวล (ดู biomass) มีลักษณะเป็นของเหลวสีดำ น้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลแดงเข้ม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการให้ความร้อน มีความหนืดสูง ไม่ละลายน้ำ มีสภาพเป็นกรด และไม่เสถียร น้ำมันชีวภาพเกิดจากการหลุดจากโซ่พอลิเมอร์ (depolymerization) และการหลุดเป็นส่วน (fragmentation) ของเซลลูโลส (ดู cellulose) เฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) และลิกนิน (ดู lignin) ประกอบด้วยน้ำ (ดู water) สูงถึงร้อยละ 15-30 โดยน้ำหนัก ทั้งจากความชื้นของชีวมวล การขจัดน้ำ (dehydration) ระหว่างการไพโรไลส์ และระหว่างการจัดเก็บ ทำให้น้ำมันชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำ และต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล (ดู fossil fuel) ถึงร้อยละ 50 มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 35-40 เป็นสารประกอบที่มีออกซิเจน (ดู oxygenated compounds) มากกว่า 300 ชนิด ได้แก่ กรด แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ คีโทน ฟีนอล เฟอร์ฟิวรัล (ดู furfural) และฟิวแรน (ดู furan) ขึ้นกับชนิดของชีวมวล และภาวะที่ใช้ในการไพโรไลส์ มีความหนืดในช่วงกว้าง เช่น จากไม้เนื้อแข็งมีค่าความหนืด 70-350 มิลลิปาสกาลวินาที จากแกลบมีค่าความหนืด 5-10 มิลลิปาสกาลวินาที มีค่าความเป็นกรด-เบสระหว่าง 2-3 เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดแอซีติก กรดฟอร์มิก จึงกัดกร่อนเครื่องยนต์ และระบบท่อขนส่ง นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับหม้อไอน้ำ (boiler) และเตาเผา (furnace) ได้เฉพาะรถยนต์ที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสของไม้เนื้อแข็ง

butanol, biobutanol บิวทานอล, บิวทานอลชีวภาพ

แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}O$ ซึ่งมีคาร์บอนมากกว่าเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) 2 อะตอม ผลิตได้จากการสังเคราะห์ และการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้แบคทีเรียคลอสตริเดียม (clostridium) ย่อยคาร์โบไฮเดรตได้แอซีโตน บิวทานอล และเอทานอล เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการหมักแบบเอบีอี (acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation) มีต้นทุนสูง ผลผลิตต่ำ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า ซึ่งเป็นข้อจำกัดเชิงพาณิชย์ การใช้บิวทานอลชีวภาพได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อสามารถนำเชื้อเพลิงผสมที่มีบิวทานอลผสมอยู่ร้อยละ 85 ในน้ำมันเบนซินมาใช้ โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ และสามารถขนส่งทางท่อได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน ค่าความร้อนสูงกว่าเอทานอล และไม่ต้องเก็บภายใต้ความดันสูง ผลิตได้จากชีวมวลหลายชนิด เช่น ชานอ้อย หัวบีต (sugar beet) และสารตั้งต้นอื่นๆ ที่มีเซลลูโลส (ดู cellulose) เป็นองค์ประกอบ

สมบัติ	น้ำมันปิโตรเลียม	เอทานอล	บิวทานอล
สูตรโมเลกุล	ไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของคาร์บอนในช่วง C_4 - C_{12}	CH_3CH_2OH	$CH_3(CH_2)_3OH$
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	32-210	78	118
ความหนาแน่นพลังงาน (เมกกะจูล/ลิตร)	32.5	21.2	29.2
อัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิง	14.6	3.0	11.2
ค่าออกเทน	91-99	129	96

สมบัติของบิวทานอล

carbon residue กากคาร์บอน, กากถ่าน

ของแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (carbonaceous matter) ที่ตรวจวัดได้ในน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (on 10% distillation residue, wt.%) ตามวิธีทดสอบ ASTM D4530 หรือ EN 14214 แสดงแนวโน้มการเกิดเกาะสะสมของคาร์บอน (carbon deposits) ที่ปลายหัวฉีดหรือลูกสูบ คราบเขม่าในห้องเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และกำลังลดลง ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันบ่อยครั้ง มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 0.30 โดยน้ำหนัก กากคาร์บอนในไบโอดีเซลแปรตามปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) สบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เจือปน ไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid methyl esters) หรือมีสารเติมแต่งชนิดพอลิเมอร์ มีปริมาณกากคาร์บอนสูง

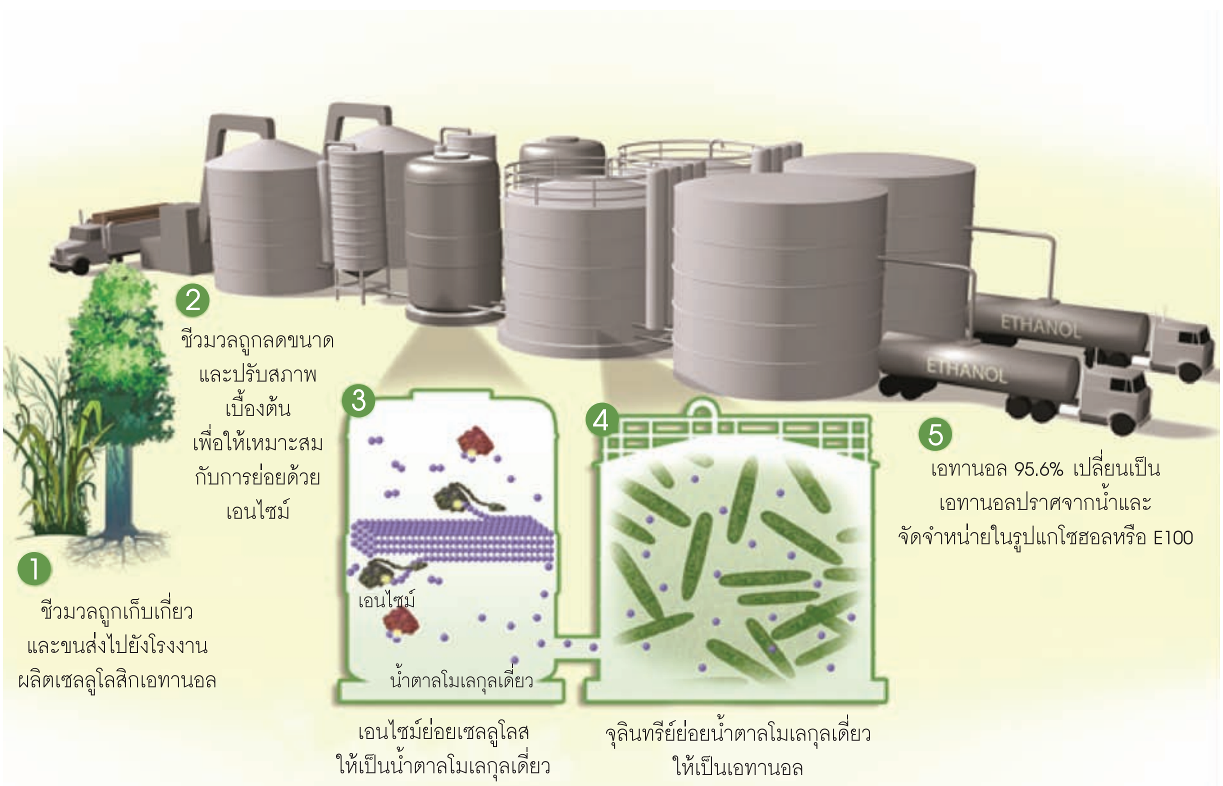
เครื่องมือวัดปริมาณกากคาร์บอน

catalytic deoxygenation การขจัดออกซิเจนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาการขจัดออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ที่มีปริมาณสารประกอบออกซิเจนสูง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งชนิดกรด (solid acid catalysts) ที่ความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำ (dehydration) ดึงออกซิเจนออกในรูปของน้ำ (ดู water) และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ดึงออกซิเจนออกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) มีข้อดีคือ ไม่ต้องใช้ไฮโดรเจนซึ่งมีต้นทุนสูง แต่มีข้อเสียเนื่องจากการเกิดโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ และเกิดผลผลิตประเภทไฮโดรคาร์บอนเบาจำนวนมาก

cellulosic ethanol เอทานอลจากเซลลูโลส

เอทานอล (ดู ethanol) ที่ผลิตได้จากเซลลูโลสในชีวมวลประเภทลิกโนเซลลูโลส (ดู lignocellulosic biomass) ที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น (pretreatment) แล้วย่อยด้วยเซลลูเลส (ดู cellulase) เป็นน้ำตาลกลูโคสก่อนหมักด้วยยีสต์ หลายประเทศให้ความสำคัญกับการวิจัยและพัฒนาเอทานอลจากเซลลูโลส ทั้งด้านการปรับสภาพเบื้องต้นและเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลส โรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่ใหญ่ที่สุดในโลก ชื่อ อินไบคอน (Inbicon Biomass Refinery) ตั้งอยู่ที่ประเทศเดนมาร์ก ผลิตเอทานอลจากฟางข้าวสาลี กำลังการผลิต 5.4 ล้านลิตรต่อปี เริ่มดำเนินการผลิตเมื่อปี พ.ศ. 2552 ได้ผลิตภัณฑ์ร่วม คือ ลิกนินเม็ด (lignin pellets) ใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง และผลิตน้ำเชื่อมน้ำตาลเพนโทส (pentose syrup) ซึ่งใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือสารตั้งต้นในกระบวนการหมักอื่นๆ จำนวน 13,000 และ 11,000 ตันต่อปี ตามลำดับ



แบบจำลองโรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส

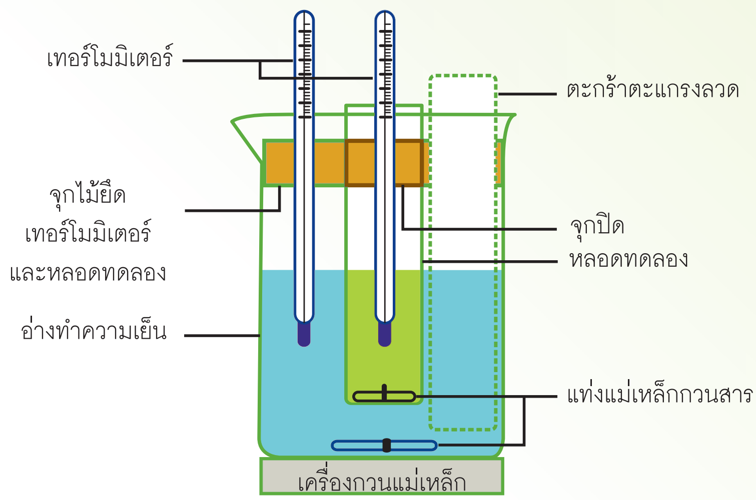
cetane number ซีเทน, ค่าซีเทน

ข้อกำหนดหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่บ่งบอกคุณภาพการจุดติดไฟ (ignition quality) หรือการหน่วงติดไฟ (ignition delay) เมื่อฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ผสมกับอากาศอัดในจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซล (ดู 4 cycle diesel engine และ 2 cycle diesel engine) แล้วติดไฟได้เอง ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 กำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ดู high-speed diesel) ที่จำหน่ายในท้องตลาดต้องมีค่าซีเทน (cetane number) ไม่ต่ำกว่า 50 ขณะที่มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดค่าซีเทนไม่ต่ำกว่า 51 ตามวิธีทดสอบ ASTM D613 น้ำมันที่มีค่าซีเทนตรงตามข้อกำหนดช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เดินเรียบ และไอเสียไม่เกิดควันขาว

cloud point จุดขุ่น

อุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำมันเริ่มขุ่นอย่างชัดเจน เมื่อทำให้เย็นลงตามวิธีทดสอบ ASTM D2500 เนื่องจากการตกผลึกของไข (wax) มักมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับจุดไหลเท น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวโมเลกุลใหญ่ มีจุดขุ่นสูง เกิดการตกผลึกได้ง่ายเมื่อใช้งานที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้อุดตันหม้อกรองน้ำมันอย่างรวดเร็ว และขัดขวางการฉีดพ่นน้ำมันเป็นฝอยเข้าห้องเครื่องยนต์ ประเทศไทยไม่มีการกำหนดค่าจุดขุ่นสำหรับน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อน ในยุโรปนิยมใช้วิธีทดสอบ EN 23015

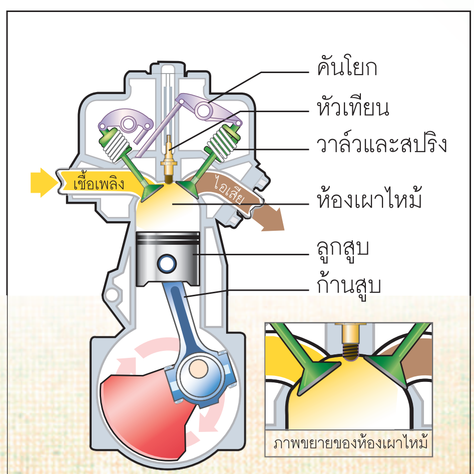
เครื่องมือวัดค่าซีเทน



เครื่องมือวัดจุดขุ่น

combustion chamber ห้องเผาไหม้

บริเวณที่เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ เป็นช่องว่างด้านบนของกระบอกสูบ (cylinder) ประกอบด้วยฝาสูบ (cylinder head) ซึ่งติดตั้งชิ้นส่วนสำคัญ ได้แก่ หัวฉีด (injector) ทำหน้าที่ฉีดพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นละอองขนาดเล็ก ลิ้นไอดี (intake valve) ทำหน้าที่เปิดและปิดการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และลิ้นไอเสีย (exhaust valve) ทำหน้าที่เปิดและปิดการไหลของไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงออกจากห้องเผาไหม้ สำหรับเครื่องยนต์แกโซลีน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) มีหัวเทียน (spark plug) เพื่อจุดระเบิดส่วนผสมเชื้อเพลิง-อากาศ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลไม่ต้องอาศัยประกายไฟของหัวเทียน แต่ส่วนผสมจะจุดระเบิดได้เองเมื่อความดันภายในกระบอกสูบสูงถึงระดับหนึ่ง



ตำแหน่งและส่วนประกอบของห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แกโซลีน

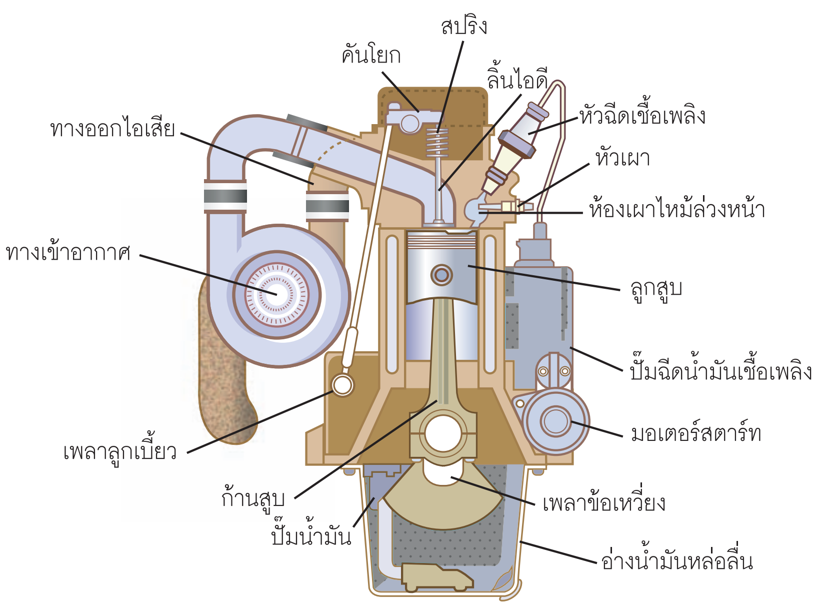
compressed biogas, compressed biomethane gas (CBG) แก๊สชีวภาพอัด (ซีบีจี)

แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ที่ผ่านการแยกความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดู hydrogen sulfide) และแก๊สปนเปื้อนอื่นๆ ออกแล้ว องค์ประกอบหลักคือ มีเทน (ดู methane) มากกว่าร้อยละ 97 โดยปริมาตร และเก็บที่ภายใต้ความดันสูงกว่า 200 บรรยากาศ สามารถนำมาใช้กับรถยนต์ที่ใช้แก๊สธรรมชาติสำหรับยานยนต์ หรือเอ็นจีวี (natural gas for vehicle (NGV)) และแก๊สธรรมชาติอัด หรือซีเอ็นจี (compressed natural gas (CNG)) ได้


ถังบรรจุ CBG และระบบแก๊สชีวภาพ

compressive ignition การจุดระเบิดด้วยการอัด

การลุกไหม้ได้เองของส่วนผสมระหว่างอากาศที่ถูกอัดจนร้อนกับไอน้ำมันในจังหวะจุดระเบิด เป็นหลักการจุดระเบิดของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, IC engine) ชนิดเครื่องยนต์ดีเซล อากาศในห้องเผาไหม้ถูกอัดด้วยกระบอกสูบ (cylinder) จนมีอุณหภูมิสูงมากกว่า 500 องศาเซลเซียส เมื่อหัวฉีด (injector) พ่นละอองน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมจนเกิดการจุดระเบิด และเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว แรงดันที่เกิดขึ้นไปขับเคลื่อนลูกสูบของเครื่องยนต์



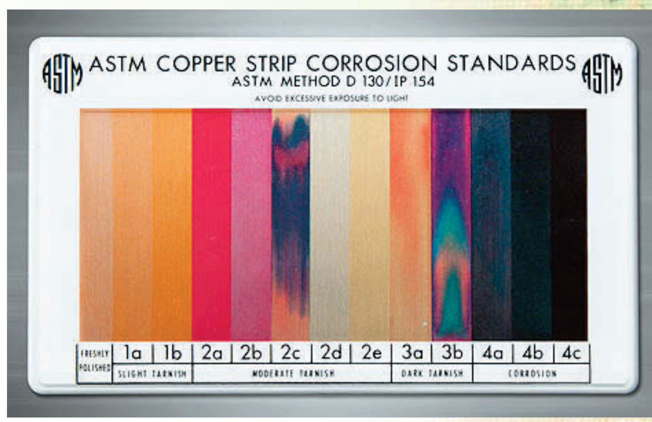
เครื่องยนต์ดีเซลจุดระเบิดด้วยการอัด

copper strip corrosion การกัดกร่อนแผ่นทองแดง

การกัดกร่อนโลหะในเครื่องยนต์ซึ่งเกิดจากสารที่มีขั้วในเชื้อเพลิง เช่น กรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) หรือเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) มีผลให้สมบัติการนำไฟฟ้าของโลหะสูงขึ้น การทดสอบการกัดกร่อนแผ่นทองแดงเป็นการตรวจสอบโดยใช้แผ่นทองแดงขัดขนาดมาตรฐานซึ่งทำความสะอาดผิวด้วยไอโซออกเทน (isooctane) แล้วนำไปแช่ในเชื้อเพลิงที่ต้องการทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด ระบุผลการทดสอบเป็นหมายเลขลำดับชั้น (class) โดยเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีแผ่นทองแดง กับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน

ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยมาตรฐานไบโอดีเซล พ.ศ. 2552 กำหนดให้การกัดกร่อนแผ่นทองแดงอยู่ในระดับไม่สูงกว่าระดับ 1

Class	Designation	Description
1	Slight Tarnish	1a Light orange, almost the same as a freshly polished strip 1b Dark Orange
2	Moderate Tarnish	2a Claret Red 2b Lavender 2c Multi-colored with lavender blue and/or silver overlaid on claret red 2d Silvery 2e Brassy or gold
3	Dark Tarnish	3a Magenta overcast on brassy strip 3b Multicolored with red and green showing (peacock), but no gray
4	Corrosion	4a Transparent black, dark gray or brown with peacock green barely showing 4b Graphite or lusterless black 4c Glassy or jet black



ตัวอย่างสีของการกัดกร่อนแผ่นทองแดง

denatured ethanol เอทานอลแปลงสภาพ

เอทานอลที่ผสมสารเคมีอันตราย เช่น เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) น้ำมันก๊าด (kerosene) และน้ำมันเบนซิน (gasoline) เป็นต้น หรือผสมสารเคมีที่มีรสขมจัด เช่น ดีเนโทเนียมเบนโซเอต (denatonium benzoate) เป็นต้น เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนและตัวทำละลาย ไม่สามารถบริโภคได้ จุดประสงค์หลักเพื่อจำแนกเอทานอลแปลงสภาพสำหรับผลิตแกโซฮอลออกจากเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เพื่อยกเว้นภาษีสรรพสามิต และเพื่อป้องกันการนำเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงไปปลอมปนเป็นเครื่องดื่ม

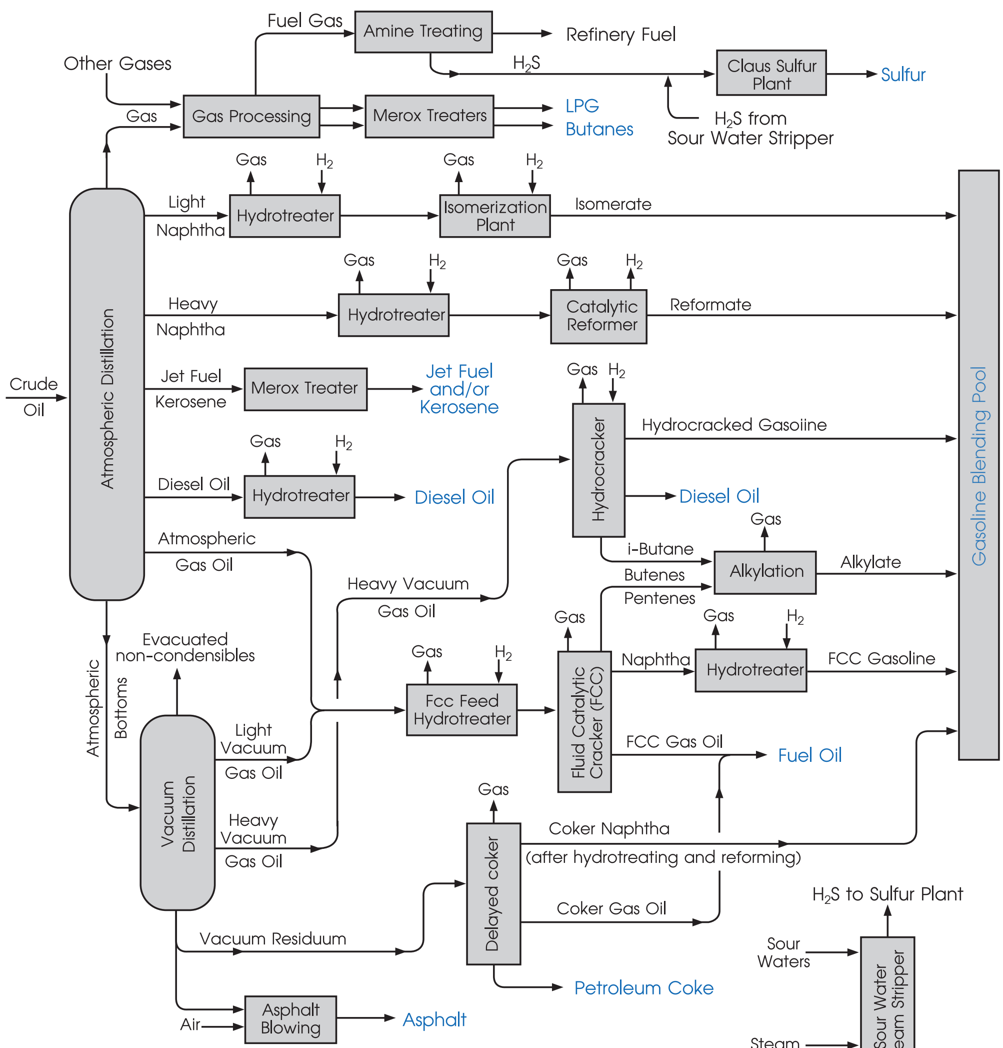
ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้มีปริมาณเอทานอลแปลงสภาพในแกโซฮอล (ดู gasohol) อี10 อยู่ในช่วงร้อยละ 9-10 โดยปริมาตร

dew point, dew point temperature จุดน้ำค้าง

อุณหภูมิที่ความชื้น หรือไอน้ำในอากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำ ณ ความดันคงที่ สัมพันธ์กับทั้งความชื้นในอากาศและความดัน ใช้เป็นข้อกำหนดคุณภาพของแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) เช่น ตามมาตรฐาน SS 155438 ของประเทศสวีเดน กำหนดให้จุดน้ำค้างของแก๊สชีวภาพอัด (ดู compressed biogas (CBG)) ต้องมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน 5 องศาเซลเซียส เป็นต้น

diesel fuel, petroleum diesel น้ำมันดีเซล

เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันปิโตรเลียมที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงหลายชนิดผสมกัน โดยมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 14 ถึง 20 อะตอม จุดเดือดในช่วง 250-370 องศาเซลเซียส ผลิตจากโรงกลั่นปิโตรเลียมผ่านกระบวนการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ และการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดปริมาณกำมะถันอินทรีย์ ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้ในยานยนต์ (ดู high-speed diesel oil, automotive diesel oil) และรอบหมุนช้า (ดู low-speed diesel oil, industrial diesel oil) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เรือเดินสมุทร และเครื่องปั่นไฟ



- ผลิตภัณฑ์สุดท้ายแสดงด้วย สีน้ำเงิน
- น้ำเสีย (sour waters) มาจากถังพักส่วนกลั่นย้อนกลับ (reflux) ในหอกลั่นชนิดต่างๆ ของโรงกลั่น
- แก๊สชนิดอื่นๆ (other gases) ที่เข้าหน่วยบำบัดแก๊ส (gas processing unit) คือ ผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นจากหน่วยต่างๆ

กระบวนการกลั่นปิโตรเลียม

diesohol ดีโซฮอล

น้ำมันเชื้อเพลิงจากการผสมน้ำมันดีเซลกับแอลกอฮอล์โดยมีการใส่ตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) ลงไปเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี เป็นหนึ่งในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2541 ได้มีการนำเอทานอล (ดู ethanol, ethylalcohol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ผสมกับน้ำมันดีเซลและตัวกระทำอิมัลชันในอัตราส่วนโดยปริมาตร 14:85:1 เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กชนิด 2 จังหวะ ที่ใช้อยู่ในโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา เช่น รถแทรกเตอร์ของโครงการ โดยสามารถลดควันดำในไอเสียได้ประมาณร้อยละ 50 ขณะที่กำลังของเครื่องยนต์ลดลงเล็กน้อย ปัจจุบันยังไม่นิยมแพร่หลายเนื่องจากตัวกระทำอิมัลชันมีราคาสูง

อาคารวิจัยน้ำมันเชื้อเพลิงในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

diglycerides, diacylglycerols ไดกลีเซอไรด์, ไดเอซิลกลีเซอรอล

ไขมันชนิดหนึ่ง โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมัน 2 โมเลกุลต่อกับกลีเซอรอล (ดู glycerol) ด้วยพันธะเอสเทอร์ (-COO-) จึงเรียกอีกชื่อได้ว่า กลีเซอรอลไดเอสเทอร์ (glycerol diesters) แบ่งเป็นสองโครงสร้างขึ้นกับตำแหน่งของพันธะเอสเทอร์ ได้แก่ 1,2-ไดกลีเซอไรด์ (1,2-diglyceride) และ 1,3-ไดกลีเซอไรด์ (1,3-diglyceride) มีสมบัติเป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) นิยมใช้เติมแต่งในอาหาร เช่น น้ำสลัด มาร์การีน (margarine) และไอศกรีม เพื่อเพิ่มความเข้ากันของส่วนผสมที่เป็นน้ำและน้ำมัน หรือไขมัน และปรับความหนืดของส่วนผสม เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) แบบไม่สมบูรณ์ของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) กับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) แต่พบในปริมาณน้อยกว่ามอนอกลีเซอไรด์ (ดู monoglycerides, monoacylglycerols) ส่งผลเสียต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (cold flow properties) เป็นสาเหตุหนึ่งของการอุดตันที่หัวฉีด กระบอกสูบและวาล์วภายในเครื่องยนต์ ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานว่าด้วยมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล พ.ศ. 2552 กำหนดปริมาณไดกลีเซอไรด์ไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ตามวิธีทดสอบ EN 14105

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH\text{-}O\text{-}CO\text{-}R \\ | \\ CH_2\text{-}O\text{-}CO\text{-}R' \end{array} \qquad \begin{array}{rl} & CH_2O\text{-}CO\text{-}R \\ & | \\ HO\text{-} & C\text{-}H \\ & | \\ & CH\text{-}O\text{-}CO\text{-}R' \end{array}$$

1,2-diglyceride   1,3-diglyceride

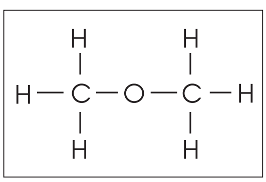
โครงสร้างทางเคมีของไดกลีเซอไรด์

dimethyl ether (DME) ไดเมทิลอีเทอร์

สารประกอบออกซิเจนเนตประเภทอีเทอร์ สูตรโมเลกุล C_2H_6O เป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ไม่มีสี มีสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงคล้ายกับแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีจุดเดือด -25 องศาเซลเซียส จึงทำให้อยู่ในรูปของเหลวได้ง่าย ผลิตจากแก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน หรือชีวมวล (ดู biomass) ด้วยกระบวนการผลิต 2 วิธี คือ การผลิตทางอ้อมผ่านปฏิกิริยาระหว่างแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับไฮโดรเจนในแก๊สสังเคราะห์เพื่อให้ได้เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) จากนั้นเมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นได้ไดเมทิลอีเทอร์และน้ำ (ดู water) วิธีนี้เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ ส่วนกระบวนการผลิตทางตรงเป็นกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์โดยตรง มีข้อดีกว่าการผลิตทางอ้อม คือ ช่วยลดขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์เมทานอล (ดู methanol synthesis) ทำให้ลดต้นทุนการผลิต กระบวนการนี้เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า

ประเทศผู้ผลิตไดเมทิลอีเทอร์รายใหญ่ คือ จีน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ไดเมทิลอีเทอร์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลในภาคขนส่ง และสามารถใช้ในเครื่องยนต์แกโซลีนได้ด้วย โดยต้องผสมไดเมทิลอีเทอร์กับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และต้องปรับแต่งเครื่องยนต์เล็กน้อย

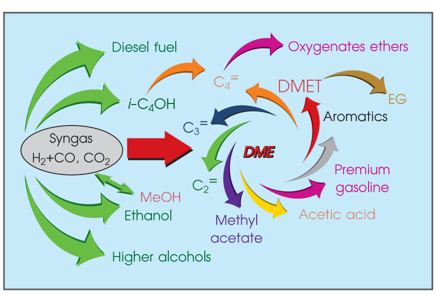
ไดเมทิลอีเทอร์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ที่ออกแบบเฉพาะได้โดยตรง หลายบริษัทในประเทศญี่ปุ่นและประเทศสวีเดนได้คิดค้นและพัฒนาเครื่องยนต์ดังกล่าวสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ หน่วยงานที่ประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพการเป็นเชื้อเพลิงของไดเมทิลอีเทอร์ 2 แห่ง ได้แก่ International Energy Agency (IEA) และ Japan Industrial Standard (JIS) สมบัติสำคัญที่มีผลต่อค่าความร้อนของไดเมทิลอีเทอร์ คือ ความบริสุทธิ์ของไดเมทิลอีเทอร์ ปริมาณเมทานอล และปริมาณน้ำ




โครงสร้างทางเคมีของไดเมทิลอีเทอร์

รถบรรทุกขับเคลื่อนด้วยไดเมทิลอีเทอร์

เตาแก๊สไดเมทิลอีเทอร์



กลไกการผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ และการใช้ประโยชน์จากไดเมทิลอีเทอร์ในการผลิตปิโตรเคมี

ข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพของดีเอ็มอีสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง

สมบัติ	อัตราสูง	IEA [1)]	JIS [2)]
ปริมาณดีเอ็มอี (DME purity), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่ต่ำกว่า	99.6	99.0
ปริมาณเมทานอล (methanol content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.05	1.0
ปริมาณน้ำ (water content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.01	1.0
ปริมาณเมทิลเอทิลเอทานอล (methyl ethyl ethanol content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.2	-
ปริมาณแอลกอฮอล์ที่หนักกว่าเมทานอล (higher fatty alcohol), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.05	-
ปริมาณอีเทอร์ที่หนักกว่าดีเอ็มอี (higher fatty ether), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.05	-
ปริมาณคีโตน (ketone Content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.05	-
ปริมาณสารเติมแต่ง (lubricant, viscosity), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	-
ปริมาณกรดฟอร์มิก (formic acid content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	-
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	-	0.1
ปริมาณกำมะถัน (sulphur content), ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	-	ตรวจไม่พบ
ปริมาณสิ่งตกค้าง (remaining residuals), มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg)	ไม่สูงกว่า	-	-[3)]
ความดันไอ (vapor pressure) ณ อุณหภูมิ 40°C, เมกะปาสกาล (MPa)	ไม่สูงกว่า	-	1.05

1) International Energy Agency
2) Japan Industrial Standard
3) ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

distillation profile โพรไฟล์การกลั่น

จุดเดือดของเชื้อเพลิงเหลวแต่ละชนิด ณ อุณหภูมิต่างๆ กัน ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการกลั่น มาตรฐานแกโซฮอล (ดู gasohol) ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอลมีลักษณะการกลั่น ดังนี้ การระเหยในอัตราร้อยละ10 โดยปริมาตร ไม่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียสการระเหยในอัตราร้อยละ 50 โดยปริมาตร อยู่ระหว่าง 70-110 องศาเซลเซียส การระเหยในอัตราร้อยละ 90 โดยปริมาตร อยู่ระหว่าง 170-200 องศาเซลเซียส จุดเดือดสุดท้าย (end point) ไม่สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส และกากน้ำมัน (residue) ไม่สูงกว่าร้อยละ 2.0 โดยปริมาตร

E100 อี100

สำหรับประเทศไทย การผสมเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิง จะใช้เอทานอลปราศจากน้ำ (ดู ethanol 99.5%) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องยนต์ที่ออกแบบเฉพาะเมื่อผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐานในปริมาณต่างๆ เช่น ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เรียกว่า น้ำมันแกโซฮอล อี10 (ดู E10) เป็นต้น แต่ในต่างประเทศ เช่น บราซิล E100 อาจทำมาจากเอทานอลที่มีปริมาณน้ำผสมอยู่มากกว่า (ดู ethanol 95.6%)

E10 อี10

แกโซฮอล (ดู gasohol) ซึ่งมีเอทานอลปราศจากน้ำ (ดู ethanol 99.5%) ร้อยละ 10 ผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 90 โดยปริมาตร เป็นแกโซฮอลที่จำหน่ายมากที่สุดในประเทศไทย แบ่งออกเป็นแกโซฮอลค่าออกเทน (ดู octane number) 91 และแกโซฮอลค่าออกเทน 95 ใช้ในเครื่องยนต์แกโซลีน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) ทั่วไปโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ แต่ไม่สามารถใช้ในเครื่องยนต์แกโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ (carburetor) ได้

E20 อี20

แกโซฮอล (ดู gasohol) ซึ่งมีเอทานอลปราศจากน้ำ (ดู ethanol 99.5%) ร้อยละ 20 ผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 80 โดยปริมาตร ใช้ในเครื่องยนต์แกโซลีน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) เฉพาะรุ่นซึ่งสามารถตรวจสอบได้ในคู่มือการใช้รถที่มาพร้อมกับรถยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้แกโซฮอล์ อี20 (ดู E20) ได้ สามารถใช้แกโซฮอล อี10 (ดู E10) ได้ เช่นกัน

E85 อี85

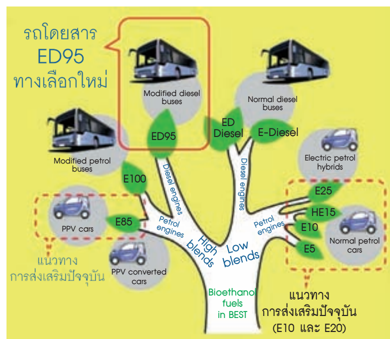
แกโซฮอลซึ่งมีเอทานอลปราศจากน้ำ (ดู ethanol 99.5%) ร้อยละ 85 ผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 15 โดยปริมาตร ใช้ในพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงหลากชนิด (ดู flexible-fuel vehicle, flex-fuel vehicle (FFV)) ไม่สามารถใช้ในเครื่องยนต์แกโซลีน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) ทั่วไปได้

ความแตกต่างของสีของน้ำมันแกโซฮอล 91 แกโซฮอล 95
E20 และ E85 (เรียงจากซ้ายไปขวา)

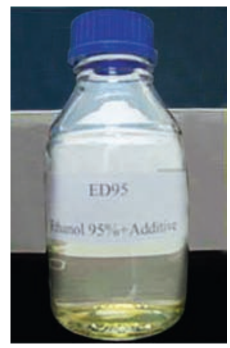
ED95 น้ำมันอีดี95

เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร) ในสัดส่วนประมาณร้อยละ 95 และสารเติมแต่ง (additive) ประมาณร้อยละ 5 ที่ช่วยลดอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองของเชื้อเพลิงผสม และทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เช่น กลีเซอรอลอีทอกซิเลต กรดลอริก เป็นต้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน มีโครงการสาธิตการใช้รถโดยสารขนาดใหญ่ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ระยะที่ 1 โดยทดลองกับรถยนต์โดยสารคันแรกในประเทศไทยที่มีโครงและตัวถังทำด้วยอะลูมิเนียม ได้รับการออกแบบให้สามารถปกป้องห้องโดยสารตามมาตรฐานความปลอดภัยสากล ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีน้ำหนักเบาทำให้ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นรถโดยสารคันแรก และคันเดียวที่ใช้น้ำมันอีดี 95 ในประเทศ และในอาเซียน

รถโดยสารที่ใช้น้ำมันอีดี 95 ในโครงการสาธิตของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)



แผนผังเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่าง ๆ สำหรับการใช้ในรถยนต์



น้ำมันอีดี 95

ethanol 95.6%, hydrated ethanol, hydrous ethanol เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95.6

เอทานอลความเข้มข้นสูงสุดที่ได้จากกระบวนการแยก (separation process) ของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ ที่ได้จากการหมักหรือปฏิกิริยาไฮเดรชันของเอทิลีน ปัจจุบันใช้การกลั่น (distillation) ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นเอทานอลในวัฏภาคไอ (vapor phase) และของเหลว แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร และอุณหภูมิ 78.1 องศาเซลเซียส สารละลายเอทานอลในน้ำเป็นของผสมคงจุดเดือด (azeotropic mixture) หมายถึงความเข้มข้นของเอทานอลในวัฏภาคไอ และของเหลวมีค่าเท่ากัน การทำให้บริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95.6 จึงต้องใช้เทคนิคการแยกน้ำออกจากเอทานอล (ดู ethanol dehydration) สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ในเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเฉพาะ แต่มีปัญหาในการติดเครื่องขณะเย็น (cold start) เนื่องจากมีความดันไอต่ำกว่าแก๊สโซฮอล (ดู gasohol) และเอทานอลเกรดเชื้อเพลิง (ดู ethanol 99.5%, fuel ethanol, dehydrated ethanol)

ethanol 99.5%, fuel ethanol, dehydrated ethanol, anhydrous ethanol เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.5, เอทานอลเกรดเชื้อเพลิง, เอทานอลปราศจากน้ำ

เอทานอลบริสุทธิ์ มีน้ำปนเปื้อนต่ำกว่าร้อยละ 0.5 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูงกว่า 100 ใช้สัญลักษณ์บอกชนิดเชื้อเพลิง คือ อี100 (ดู E100) หรือนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นแก๊สโซฮอล (ดู gasohol)

ethanol dehydration การแยกน้ำออกจากเอทานอล

เทคนิคที่ใช้แยกน้ำออกจากเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95.6 เช่น การกลั่นแบบคงจุดเดือด (ดู azeotropic distillation) การดูดซับในหอดูดซับ (adsorption tower) การดูดซับแบบสลับความดัน (pressure swing adsorption) การแยกด้วยความเย็นยวดยิ่ง (cryogenic separation) การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (ดู membrane separation) เป็นต้น ในประเทศไทยการผลิตเอทานอลปราศจากน้ำ (ดู ethanol 99.5%) ในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้การดูดซับในหอดูดซับ

ethanol, ethyl alcohol เอทานอล, เอทิลแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม สูตรโมเลกุล C_2H_5OH ไม่มีสี ไวไฟ ละลายน้ำได้ดี และมีกลิ่นเฉพาะตัว เอทานอลใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นสารตั้งต้นการสังเคราะห์สารเคมีมากมายในหลายอุตสาหกรรม

การผลิตเอทานอลสามารถทำได้ 2 วิธี คือ กระบวนการหมัก (ดู ethanol fermentation) ซึ่งเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นเอทานอล โดยใช้จุลินทรีย์และกระบวนการไฮเดรชันของเอทิลีน (hydration of ethylene) บนตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด ที่อุณหภูมิและความดันสูง อย่างไรก็ตามเอทานอลที่ผลิตได้ทั่วโลกร้อยละ 98 ได้จากกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งและน้ำตาลด้วยยีสต์สายพันธุ์ซึ่งย่อยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส และซูโครส แต่เนื่องจากการใช้แป้งและน้ำตาลเป็นวัตถุดิบส่งผลกระทบกับห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) ของอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้เกิดการแข่งขันด้านราคาวัตถุดิบกับอุตสาหกรรมพลังงาน

ปัจจุบันมีงานวิจัยและพัฒนาเกิดขึ้นเพื่อใช้วัตถุดิบอื่นทดแทน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักอย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้เซลลูโลสเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส (ดู cellulosic ethanol) การใช้จุลินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเพนโทสที่ได้จากเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) เป็นเอทานอล การพัฒนาสายพันธุ์ยีสต์ที่ทนต่อความเข้มข้นเอทานอลและความร้อนสูงกว่าสายพันธุ์ดั้งเดิม เป็นต้น

ethyl tertiary butyl ether (ETBE) เอทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ (อีทีบีอี)

สารเพิ่มค่าออกเทน (ดู octane number) ในน้ำมันเบนซิน สังเคราะห์ได้จากเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) และไอโซบิวทิลีน (isobutylene) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ดูดความชื้นน้อยกว่าเอทานอล และทำให้น้ำมันเบนซินระเหยช้าลง

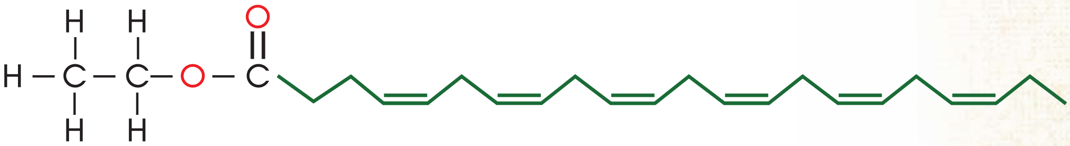
external combustion engine เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก

เครื่องยนต์ที่เผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับของไหลใช้งาน (working fluid) ซึ่งอยู่ในระบบปิด หลักการขยายตัวของของไหลเมื่อได้รับความร้อนนี้ ใช้เป็นแนวคิดในการให้กำลังในเครื่องยนต์ได้ โดยหลังจากของไหลใช้งานขยายตัวและให้กำลังแล้วจะถูกทำให้เย็นและนำกลับมาใช้ใหม่ ตัวอย่างเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก เช่น เครื่องยนต์ไอน้ำ (steam engine) และเครื่องยนต์อากาศร้อน (hot air engine)

รถไฟขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ไอน้ำ

fatty acid ethyl ester (FAEE) เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

สารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ 1 หมู่ (monoester) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ดู esterification) ของกรดไขมัน กับเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) หรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) กับเอทานอล สูตรโมเลกุล $R\text{-}COO\text{-}C_2H_5$ โดย R คือสายไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงของกรดไขมัน เป็นองค์ประกอบหลักในไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ สมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (ดู diesel fuel, petroleum diesel) จากแหล่งปิโตรเลียม แต่การเผาไหม้ให้ไอเสียที่สะอาดกว่า เนื่องจากไม่มีกำมะถันและสารแอโรแมติกส์ และมีสมบัติการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดี สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

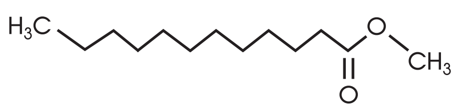


โครงสร้างทางเคมีของเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

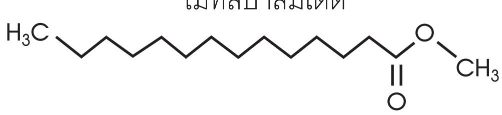
fatty acid methyl ester (FAME) เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

สารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ 1 หมู่ (monoester) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ดู esterification) ของกรดไขมันกับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) หรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) กับเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) สูตรโมเลกุล R-COO-CH_3 โดย R คือ สายไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงของกรดไขมัน เป็นองค์ประกอบหลักในไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ สมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (ดู diesel fuel, petroleum diesel) จากแหล่งปิโตรเลียม แต่การเผาไหม้ให้ไอเสียที่สะอาดกว่า เนื่องจากไม่มีกำมะถัน และสารแอโรแมติกส์ มีสมบัติการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดี และย่อยสลายได้เองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradation) สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

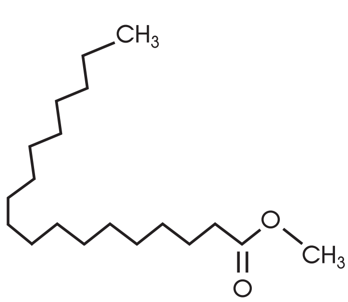
เมทิลลอเรต



เมทิลปาล์มิเตต



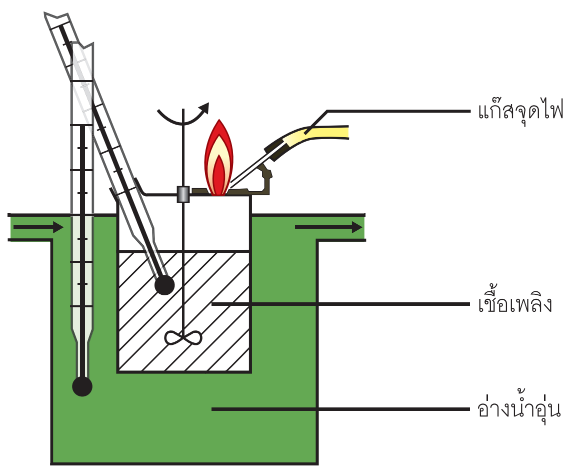
เมทิลโอเลเอต



โครงสร้างทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

flash point จุดวาบไฟ

อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอระเหยจากน้ำมันลุกติดไฟได้เมื่อมีเปลวไฟเคลื่อนผ่านเหนือผิวน้ำมันนั้น เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการขนส่งการเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บ มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดจุดวาบไฟไว้ไม่ต่ำกว่า120 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D93 เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ที่เจือปนในน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้จุดวาบไฟต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส



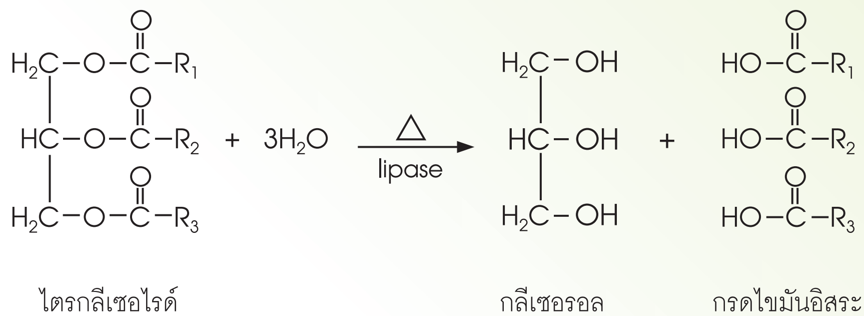
เครื่องมือวัดจุดวาบไฟ

flexible-fuel vehicle, flex-fuel vehicle (FFV) พาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงหลากชนิด

รถยนต์หรือจักรยานยนต์ที่ขับเคลื่อนได้ด้วยเชื้อเพลิงที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเบนซินพื้นฐาน แกโซฮอล อี10 (ดู E10) แกโซฮอล อี20 (ดู E20) หรือแกโซฮอล อี85 (ดู E85) น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดสามารถผสมกันได้ในถังเก็บเชื้อเพลิงถังเดียวกัน เครื่องยนต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมอย่างอัตโนมัติ

free fatty acid กรดไขมันอิสระ

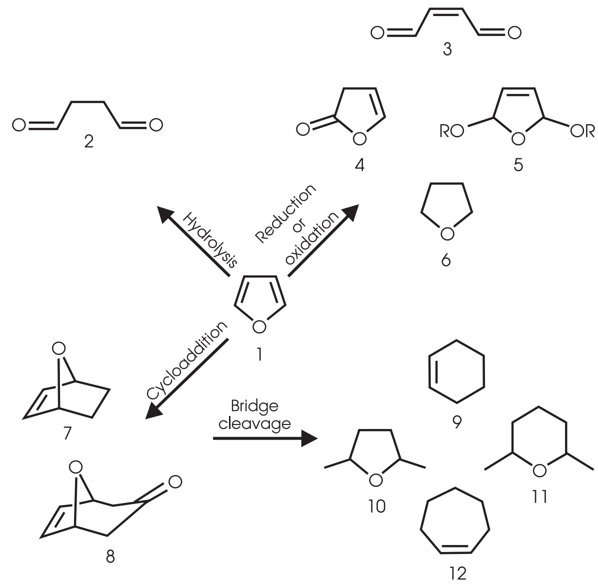
กรดอินทรีย์ที่แยกตัวจากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมันพืช หรือไขสัตว์ เกิดจากไฮโดรไลซิส (hydrolysis) (ดู solvolysis) ของไตรกลีเซอไรด์โดยมีกรด เบส หรือ เอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อน น้ำมันพืชที่ใช้ปรุงอาหารแล้วจึงมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันพืชใหม่ กรดไขมันอิสระทำให้อาหารที่มีไขมันสูงมีกลิ่นเหม็นหืน จึงใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของไขมันและน้ำมันพืช สภาพกรดอ่อนของกรดไขมันอิสระส่งผลให้ค่ากรด (ดู acid value, acidity) ของน้ำมันพืชสูงขึ้นและเร่งการออกซิไดส์ของน้ำมันพืช น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ดู unsaturated fatty acid) จะเกิดการออกซิไดส์ และเหม็นหืนได้อย่างรวดเร็ว



ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ โดยมีเอนไซม์ไลเพส (ดู lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

furan ฟิวแรน

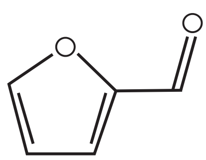
สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนห้าเหลี่ยม ที่ประกอบด้วย 2 พันธะคู่ และออกซิเจน 1 อะตอม เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย เช่น จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ได้สารประกอบ 1, 4-ไดคาร์บอนิล (1, 4-dicarbonyl compounds) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ได้ไดแอลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated dialdehyde) หรือแลกโตนที่มีวง 5 เหลี่ยม (five-membered lactones) หรืออะเซทัล (acetals) และจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (ดู hydrogenation) ได้เททระไฮโดรฟิวแรน (tetrahydrofuran) เป็นต้น ใช้เป็นสารมัธยันตร์ในการผลิตสารประกอบที่เป็นประโยชน์ในวงอุตสาหกรรม และใช้งานอย่างกว้างขวางแต่เป็นสารที่มีพิษต่อตับ และก่อให้เกิดมะเร็งตับในสัตว์ที่ใช้ฟันแทะ (rodents) เช่น หนู หรือกระรอก พบในอาหารที่ผ่านการใช้ความร้อนรวมทั้งกาแฟ และอาหารเด็ก



การสังเคราะห์สารต่างๆ จากฟิวแรน

furfural เฟอร์ฟิวรัล

สารประกอบแอลดีไฮด์ของวงแหวนฟิวแรน (ดู furan) ที่มีออกซิเจนอยู่ในวงแหวนห้าเหลี่ยม และมีพันธะคู่สองพันธะ สูตรโมเลกุล OC_4H_3CHO มีศักยภาพในการเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการขนส่ง เฟอร์ฟิวรัลผลิตจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) แยกน้ำออกจากน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 โมเลกุล เช่น ไซโลส (xylose) และอะราบิโนส (arabinose) ซึ่งได้มาจากเฮมิเซลลูโลส (ดู hemicellulose) ของชีวมวล (ดู biomass) เช่น ซังข้าวโพด เปลือกของถั่ว และข้าวโอ๊ต ปัจจุบันปริมาณการผลิตเฟอร์ฟิวรัลร้อยละ 90 มาจากประเทศจีน อเมริกาใต้ และสาธารณรัฐโดมินิกัน ซึ่งส่วนมากนำไปใช้ในการผลิตเททระไฮโดรฟิวแรน



โครงสร้างทางเคมีของเฟอร์ฟิวรัล

gasohol แกโซฮอล, แก๊สโซฮอล์

เชื้อเพลิงทดแทนซึ่งได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (unleaded gasoline) กับเอทานอลเกรดเชื้อเพลิง (ดู ethanol 99.5%, fuel ethanol, dehydrated ethanol) ใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) ที่ระบุว่าใช้กับแกโซฮอลได้เท่านั้น อัตราส่วนของเอทานอลเกรดเชื้อเพลิงในน้ำมันเบนซินแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 85 โดยใช้สัญลักษณ์บอกชนิดเชื้อเพลิงเป็น อี10 (ดู E10) อี20 (ดู E20) และ อี85 (ดู E85) ตามลำดับ เนื่องจากเอทานอลมีค่าออกเทน (ดู octane number) สูงมาก (ประมาณ 108) การผสมเอทานอลเกรดเชื้อเพลิงร้อยละ 10 หรือ 20 ลงในน้ำมันเบนซินพื้นฐานจึงช่วยเพิ่มค่าออกเทน และรักษาค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) ของแกโซฮอลไว้ในระดับสูง (ประมาณ 33.7 เมกะจูลต่อลิตร) ในทางกลับกัน เอทานอลมีค่าความร้อนเท่ากับ 21.2 เมกะจูลต่อลิตร ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินพื้นฐานซึ่งมีค่าประมาณ 36 เมกะจูลต่อลิตร ทำให้มีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง แกโซฮอล อี85 มีค่าออกเทนประมาณ 102-105 และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงไม่สูงมากเกินไป จึงเป็นที่นิยมใช้มากกว่าส่วนผสมอื่น การผลิตแกโซฮอลเป็นครั้งแรกในประเทศไทยเกิดจากแนวพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ปี พ.ศ. 2528 ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา หน่วยงานราชการนิยมใช้คำว่า "แก๊สโซฮอล์" แทนคำว่า "แกโซฮอล" เช่น ในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เป็นต้น

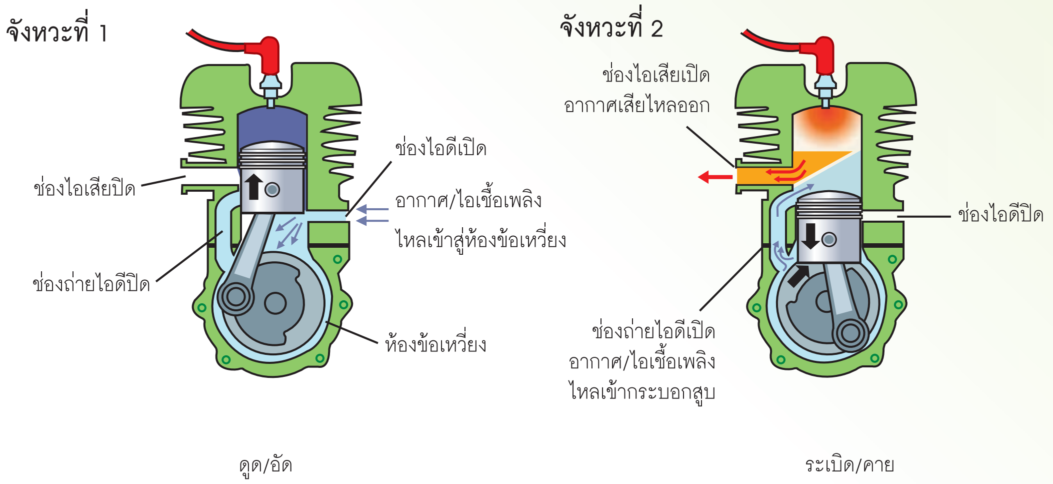
แกโซฮอลที่จำหน่ายในสถานีบริการน้ำมัน

แกโซฮอลชนิดต่าง ๆ

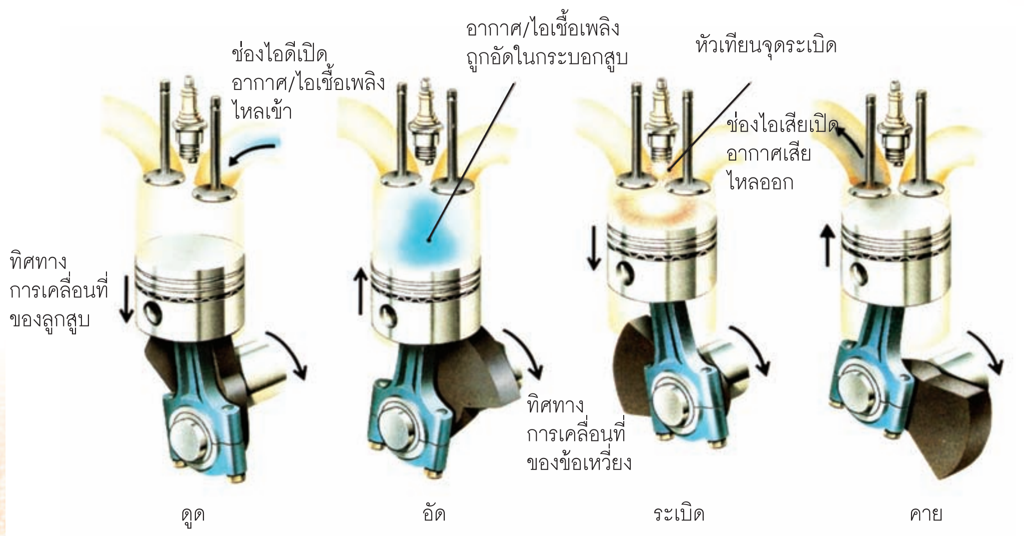
รถยนต์เติมแกโซฮอลชนิด อี85

gasoline engine, spark-ignition engine เครื่องยนต์แกโซลีน, เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (ดู internal combustion engine, IC engine) ที่มีต้นกำลังจากแรงอัดของอากาศผสมไอเชื้อเพลิงซึ่งจุดระเบิดจากประกายไฟของหัวเทียน มีชื่อเรียกทั่วไปว่า เครื่องยนต์เบนซิน แบ่งออกเป็นเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ เป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ในรถยนต์ และเรือยนต์ และเครื่องยนต์แบบ 2 จังหวะ เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น ในเครื่องตัดหญ้า เลื่อยยนต์ และรถจักรยานยนต์ เป็นต้น รอบการทำงานของเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ ประกอบด้วย จังหวะดูด (intake stroke) อากาศผสมไอเชื้อเพลิงไหลเข้าสู่กระบอกสูบ จังหวะอัด (compression stoke) อากาศผสมไอเชื้อเพลิงถูกอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ จังหวะจุดระเบิด (ignition stoke) ประกายไฟจากหัวเทียนทำให้อากาศผสมไอเชื้อเพลิงระเบิด และจังหวะคาย (exhaust stoke) ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลออกจากกระบอกสูบ สำหรับเครื่องยนต์แบบ 2 จังหวะ รอบการทำงานประกอบด้วย จังหวะดูด/อัด ซึ่งอากาศผสมไอเชื้อเพลิงเข้าสู่ด้านล่างของกระบอกสูบ ในขณะที่อากาศผสมไอเชื้อเพลิงอีกส่วนหนึ่งถูกอัดภายในกระบอกสูบ และจังหวะระเบิด/คาย ซึ่งประกายไฟจากหัวเทียนทำให้เกิดการระเบิดพร้อมกับไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลออกจากกระบอกสูบ เนื่องจากเครื่องยนต์ 2 จังหวะมีการออกแบบให้กระทัดรัดและมีรอบจัด ทำให้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ 4 จังหวะ



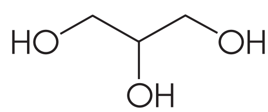
การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนแบบ 2 จังหวะ



การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนแบบ 4 จังหวะ

glycerol กลีเซอรอล

สารอินทรีย์ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 3 อะตอม แต่ละอะตอมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) สูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ เป็นแอลกอฮอล์สามหมู่ไฮดรอกซิล (trihydric alcohol) มีสภาพเป็นของเหลวหนืด ใส ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดี และมีความเป็นพิษต่ำ ใช้ประโยชน์ในงานด้านเภสัชกรรม เครื่องสำอาง สารเพิ่มความหนืดในอาหาร สารให้ความหวาน และสารลดจุดเยือกแข็ง ผลิตได้หลายวิธี เช่น ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) (ดู solvolysis) หรือการเปลี่ยนเป็นสบู่ (ดู saponification) ของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในน้ำมันพืช หรือไขสัตว์โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการเอพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin process) การออกซิไดส์โพรพิลีน เป็นต้น กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ (by-product) ที่สำคัญจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) แต่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากปนเปื้อนด้วยเกลือแอลคาไลน์ (alkaline salt) น้ำ (ดู water) เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) กรดไขมันและอนุพันธ์กลีเซอไรด์ (glyceride derivatives) ใช้เผาไหม้โดยตรง หรือผ่านกระบวนการกลั่นเพิ่มความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99 เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง



โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล

heating value, calorific value ค่าความร้อน

ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิง แสดงค่าในหน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg) หรือบีทียูต่อปอนด์ (Btu/lb) การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงเหลว ทำในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (bomb calorimeter) ซึ่งเผาไหม้เชื้อเพลิงตัวอย่างในบรรยากาศของออกซิเจนมากเกินพอ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ค่าความร้อนรวม (gross heating value หรือ higher heating value (HHV)) เมื่อสถานะสุดท้ายของน้ำในระบบหลังการเผาไหม้เป็นของเหลว คำนวณรวมความร้อนจากการควบแน่นของไอน้ำ ค่าความร้อนสุทธิ (net heating value หรือ lower heating value (LHV)) เมื่อสถานะสุดท้ายของน้ำในระบบหลังการเผาไหม้เป็นไอ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์เป็นค่าความร้อนสุทธิ เนื่องจากไม่มีการควบแน่นของไอน้ำในห้องเผาไหม้

$$\text{gross heating value} = \text{net heating value } (W \times \Delta H_{vap})$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของน้ำที่ควบแน่นเป็นของเหลว (กิโลกรัม)

ΔH_{vap} คือ ความร้อนของการระเหยเป็นไอ (heat of vaporization) ของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงกระทำในแคลอริมิเตอร์ที่ป้อนแก๊สเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง (constant flow calorimeter) และมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง รายงานค่าความร้อนในหน่วยความร้อนต่อปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน เช่น เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร (15 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ, สภาวะแห้ง) เป็นต้น

high-speed diesel oil, automotive diesel oil น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่หมุนด้วยความเร็วสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล รถบรรทุกขนาดเล็ก รถแทรกเตอร์ เรือประมง เรือโดยสาร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเรือเดินสมุทร รู้จักอีกชื่อหนึ่งว่า น้ำมันโซล่า ในกิจการเดินเรือเรียกว่า มารีนแก๊สออยล์ (marine gas oil, MGO) ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556

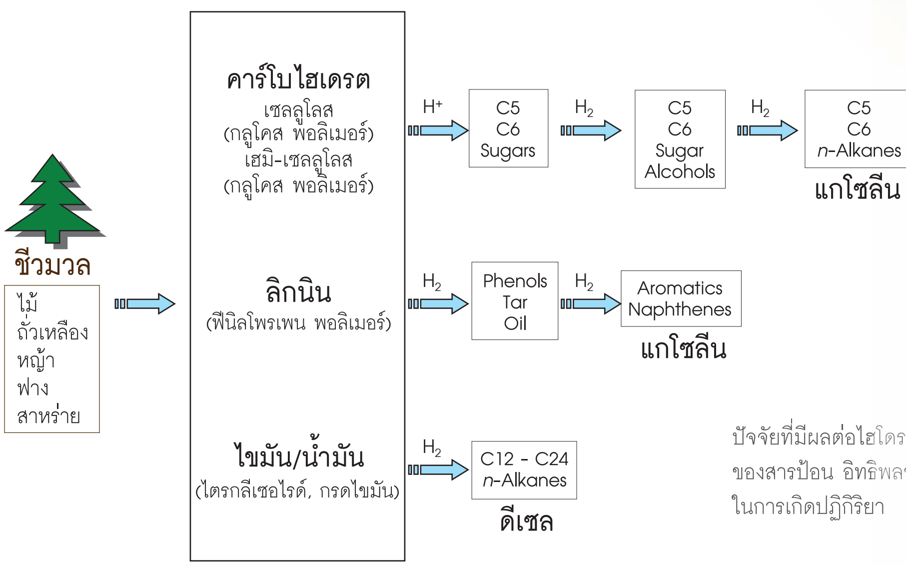
น้ำมันดีเซลหมุนเร็วสำหรับรถบรรทุกขนาดเล็ก

hydrodeoxygenation (HDO) ไฮโดรดีออกซิจิเนชัน, การขจัดออกซิเจนโดยใช้ไฮโดรเจน

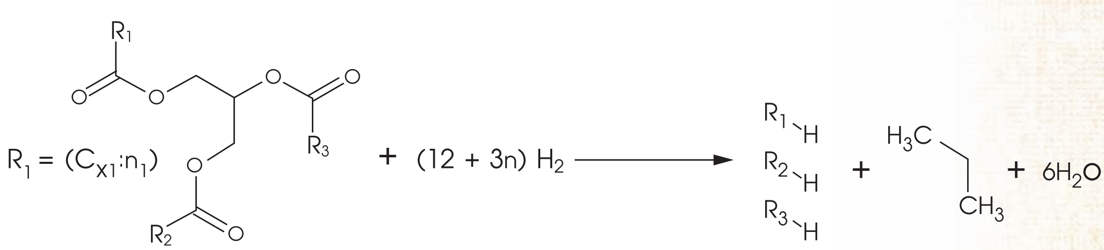
กระบวนการหนึ่งที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลที่มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน สามารถเกิดร่วมกับปฏิกิริยาการขจัดกำมะถัน ไนโตรเจน และโลหะโดยใช้ไฮโดรเจน และปฏิกิริยาการทำให้โอเลฟินส์ (olefins) หรือแอโรแมติกส์ (aromatics) อิ่มตัว เช่น ไฮโดรดีออกซิจิเนชันของฟิวแรน (furan)

$$C_4H_4O + 3H_2 \longrightarrow C_4H_8 + H_2O$$

เกิดภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนความดันสูงเพื่อขจัดกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนออกจากสารตั้งต้นของการผลิตน้ำมันปิโตรเลียม มีบทบาทในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากชีวมวล (ดู biomass) ซึ่งมีสารประกอบออกซิเจนสูง สามารถนำไปใช้ขจัดออกซิเจนของไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) แทนการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) โดยแตกพันธะ C-O ออกภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนก่อนตามด้วยปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนได้ดีเซล (diesel) ที่เป็นพาราฟินสายโซ่ตรง (straight-chain paraffin) โพรเพน (propane) และน้ำ (ดู water)



ปัจจัยที่มีผลต่อไฮโดรดีออกซิจิเนชัน ได้แก่ ธรรมชาติของสารป้อน อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา และภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา



ไฮโดรดีออกซีจิเนชันขององค์ประกอบในชีวมวลในการผลิตน้ำมันชีวภาพ

hydroprocessed renewable jetfuel (HRJ) น้ำมันเครื่องบินทดแทนที่ผ่านกระบวนการไฮโดรทรีต

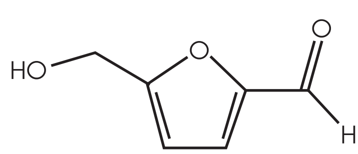
น้ำมันเครื่องบินผลิตจากกระบวนการในโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมแต่ใช้สารป้อนเป็นน้ำมันพืช หรือน้ำมันชีวภาพ (ดู bio-oil, pyrolysis oil) ขั้นแรกกรดไขมัน (fatty acids) และไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ถูกนำไปขจัดออกซิเจนด้วยกระบวนการไฮโดรทรีต (hydrotreat) ได้ไฮโดรคาร์บอนชนิดพาราฟิน (paraffinic hydrocarbons) แล้วนำมาผ่านกระบวนการผลิตในขั้นถัดไป ได้ส่วนผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรง (straight chain hydrocarbon) โซ่กิ่ง (branched chain hydrocarbon) และแบบวง (cyclic hydrocarbon) มีสมบัติคล้ายกับน้ำมันเครื่องบิน และน้ำมันที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) น้ำมันชนิดนี้มีปริมาณกำมะถันต่ำมาก เสถียรภาพเชิงความร้อนสูง การหล่อลื่นลดลง และปริมาณสารแอโรแมติกส์ (ดู aromatics content) น้อยมาก การผสมกับน้ำมันเครื่องบินหรือการใส่สารเติมแต่ง (additives) สามารถแก้ปัญหาด้านการหล่อลื่น และปริมาณสารแอโรแมติกส์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันชนิดนี้ คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) หรือน้ำมันคาโนลา (canola oil) และน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันพืชอื่นๆ ที่มีผลได้ของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์สูง และสารป้อนที่มีแนวโน้มในการนำมาใช้ในอนาคต คือ น้ำมันจากต้นซาลิคอร์เนีย (salicornia) และสาหร่าย

ต้นซาลิคอร์เนีย

น้ำมันจากสาหร่าย

hydroxymethylfurfural (HMF) ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล

สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยวงฟิวแรน (furan) เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลเด็กซ์โทรส (dextrose) กลูโคส (glucose) และซูโครส (sucrose) ในภาวะที่เป็นกรด ได้รับความร้อน หรือเก็บรักษาเป็นเวลานาน มีผลทำให้รสชาติ และสีเปลี่ยนไป เช่น น้ำผึ้ง ข้อกำหนดของอาหารในสหราชอาณาจักรจำกัดปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลในน้ำผึ้ง 40 มก./กก. ประเทศญี่ปุ่นไม่เกิน 5 มก./กก. แต่ประเทศไทยกำหนดให้มีสารนี้ในน้ำผึ้งไม่เกิน 80 มก./กก. ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลสามารถเปลี่ยนไปเป็น 2,5-ไดเมทิลฟูแรน (2,5-dimethylfuran (DMF)) ซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (ดู biofuel) ได้

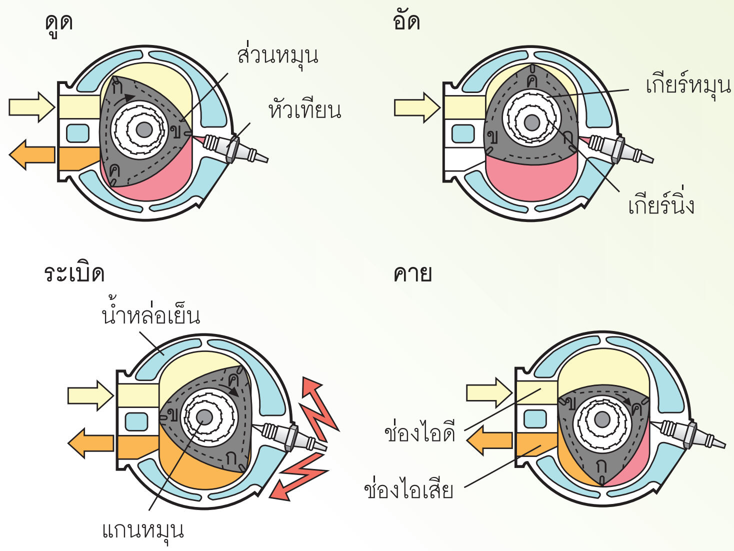


ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล

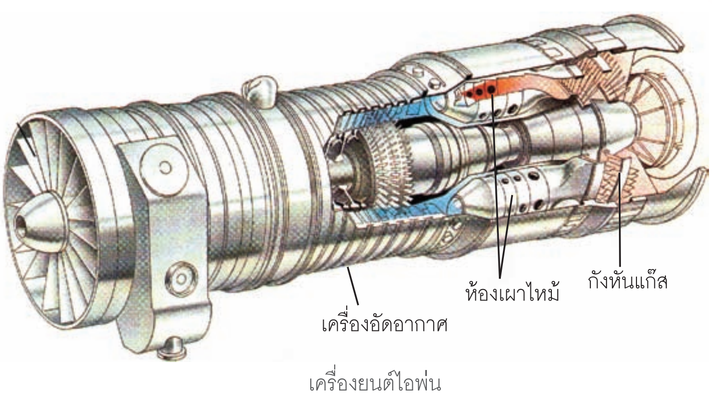
internal combustion engine, IC engine เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน, เครื่องยนต์ไอซี

เครื่องยนต์ที่เผาไหม้เชื้อเพลิงและอากาศภายในห้องเผาไหม้ (ดู combustion chamber) ทำให้เกิดการขยายตัวของแก๊สอย่างรวดเร็ว แก๊สร้อนที่ขยายตัวเป็นของไหลใช้งาน (working fluid) เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานกลโดยตรง เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในควรมีค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) สูง เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล และแอลกอฮอล์ เป็นต้น แบ่งตามโครงแบบ (configuration) ได้ 3 แบบ คือ แบบลูกสูบ (reciprocation) เช่น เครื่องยนต์แบบ 2 จังหวะ และเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ แบบหมุน (rotary) เช่น เครื่องยนต์วังเค็ล (Wankel engine) และแบบเผาไหม้ต่อเนื่อง (continuous combustion) เช่น เครื่องยนต์เจ็ท (jet engine) และแก๊สเทอร์ไบน์ (gas turbine) เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในส่วนใหญ่ใช้ในเครื่องจักรเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ เครื่องบิน เรือยนต์ และจักรยานยนต์ เป็นต้น เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (ดู external combustion engine)

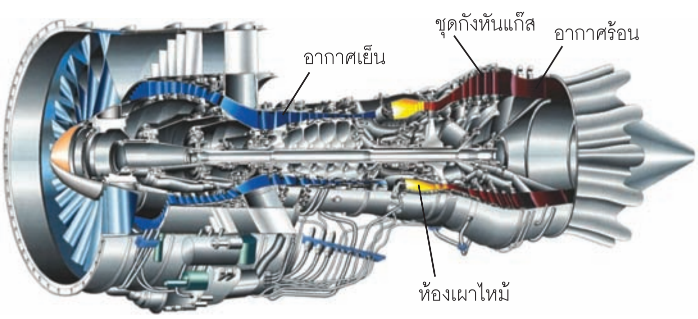
ภาพเครื่องยนต์แบบวังเค็ลและผู้คิดค้นชาวเยอรมัน
(Felix Heinrich Wankel, 1902-1988)



หลักการทำงานของเครื่องยนต์วังเค็ล



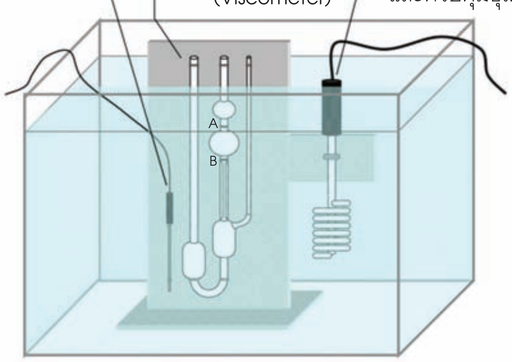
เครื่องยนต์ไอพ่น



ภาพกังหันแก๊ส (turbine)

kinematic viscosity ความหนืดคิเนแมติก, ความหนืดเชิงจลศาสตร์

ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่วัดภายใต้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิมาตรฐาน เป็นอัตราส่วนของความหนืดไดนามิกส์ (dynamic viscosity) ต่อความหนาแน่นของของเหลว หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm^2/s) หรือสโตก (stoke) มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด น้ำมันที่มีความหนืดคิเนแมติกสูงฉีดเป็นฝอยไม่ดี ได้ละอองน้ำมันขนาดใหญ่ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความหนืดคิเนแมติกต่ำเกินไปละอองน้ำมันละเอียดมากแต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดความหนืดคิเนแมติกในช่วง 3.5-5.0 เซนติสโตก (cSt) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D445



เครื่องมือวัดความหนืดคิเนแมติก

lead content ปริมาณตะกั่ว

น้ำหนักตะกั่ว (lead) ในเชื้อเพลิง 1 ลิตร ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอล (ดู gasohol) มีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.013 กรัมต่อลิตร ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่เป็นมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเบนซินพื้นฐานในยานพาหนะ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์หลายชนิดที่เติมในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน (ดู octane number) เช่น เททระเอทิลเลด (tetraethyl lead) เป็นต้น

low-speed diesel oil, industrial diesel oil น้ำมันดีเซลหมุนช้า

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้กับเรือประมง เรือโดยสาร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ รู้จักอีกชื่อว่า น้ำมันขี้โล้ ในกิจการเดินเรือเรียกว่า มารีนดีเซลออยล์ (marine diesel oil (MDO)) ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนช้าเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556

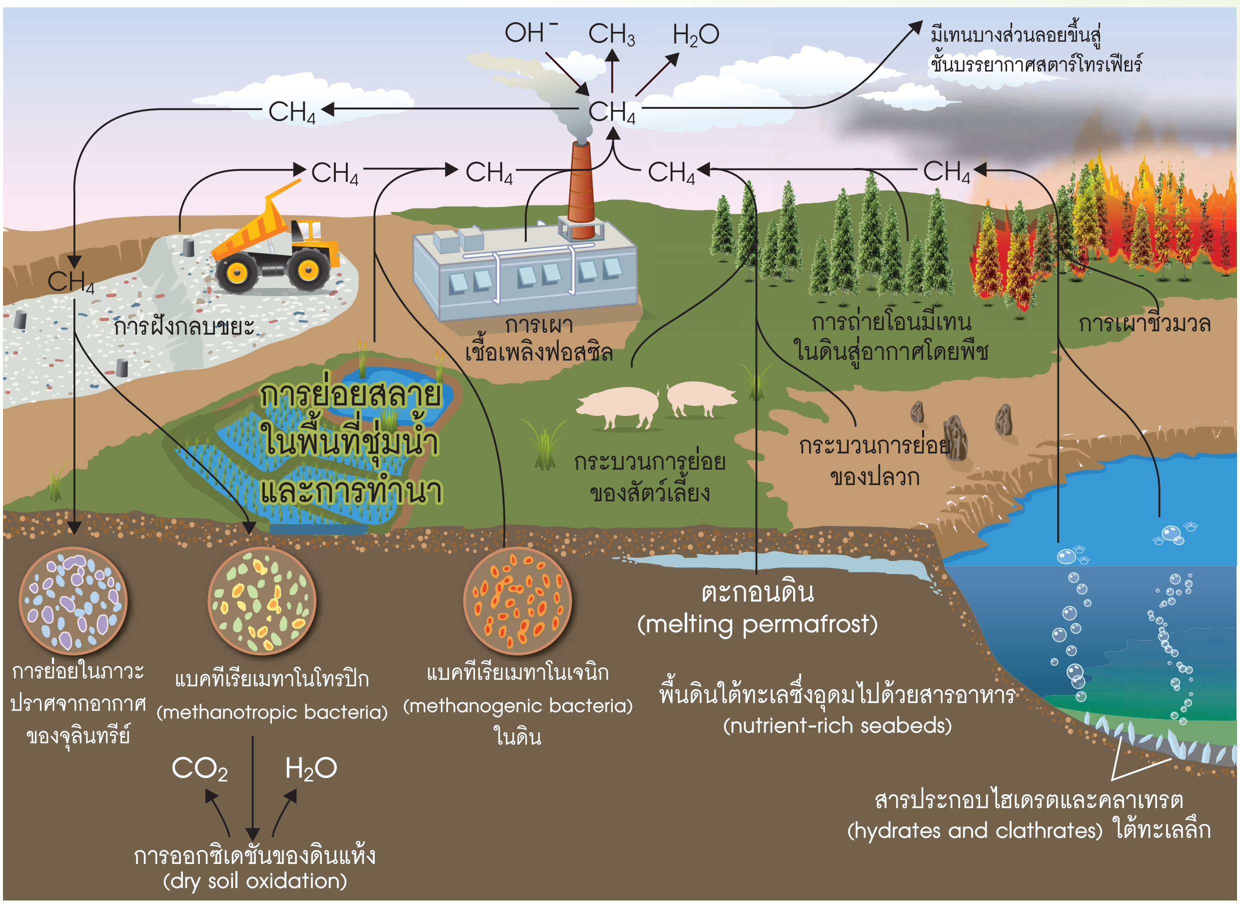
เรือเดินสมุทรใช้น้ำมันดีเซลหมุนช้าเป็นเชื้อเพลิง

manure biogas แก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์

แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ที่ได้จากการหมักมูลสัตว์ (manure) หรือส่วนที่เหลือจากฟาร์มปศุสัตว์ เช่น มูลสัตว์ อาหารสัตว์ เศษเมล็ดพืช และเศษฟาง หรือหญ้าที่ใช้รองพื้นคอก เป็นต้น ฟาร์มปศุสัตว์แต่ละชนิดให้องค์ประกอบปุ๋ยธรรมชาติที่แตกต่างกันส่งผลให้องค์ประกอบแก๊สชีวภาพต่างกันตามไปด้วย ในปีงบประมาณ 2551 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานได้ส่งเสริมการใช้แก๊สชีวภาพในฟาร์มปศุสัตว์โดยมีฟาร์มเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 43 ฟาร์ม แยกเป็น ฟาร์มสุกร 28 แห่ง ฟาร์มโค 11 แห่ง ฟาร์มกระบือ 2 แห่ง ฟาร์มม้าและฟาร์มนกกระทาอย่างละ 1 แห่ง และมีโครงการพัฒนาระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างในปางช้างอีก 6 แห่ง

methane มีเทน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล CH_4 เบากว่าอากาศ ไม่มีกลิ่น และไวไฟ สามารถระเบิดได้เมื่อมีประกายไฟในช่วงความเข้มข้นในอากาศร้อยละ 5-14 โดยปริมาตร เป็นองค์ประกอบหลักในแก๊สธรรมชาติและแก๊สชีวภาพ (ดู biogas) ค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) ของมีเทนบริสุทธิ์เท่ากับ 35.64 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็นแก๊สเรือนกระจก (ดู greenhouse gases (GHG)) ที่สำคัญรองจากคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) แม้ว่ามีเทนสามารถดูดซับ และสะท้อนความร้อนกลับสู่ผิวโลกได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ปัจจุบันความเข้มข้นของมีเทนในบรรยากาศยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่าหนึ่งส่วนในล้านส่วน (ppm) มีเทนในธรรมชาติเกิดในพื้นที่ชุ่มน้ำในระดับความลึกที่ออกซิเจนในอากาศแพร่ไม่ถึง ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (ดู anaerobic digestion) ของกลุ่มแบคทีเรียเมทาโนเจนิก (methanogenic bacteria) (ดู methane-forming bacteria) และการย่อยเซลลูโลส (ดู cellulose) ในลำไส้ของปลวก กิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศ เช่น การทำนาข้าว การทำฟาร์มปศุสัตว์ การเผาไหม้ของถ่านหิน หรือชีวมวล (ดู biomass) แบบไม่สมบูรณ์ และการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ เป็นต้น เป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียเมทาโนโทรปิก (methanotropic bacteria) ซึ่งสามารถย่อยมีเทนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (ดู water)



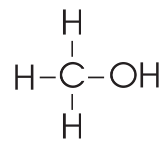
วัฏจักรมีเทน (methane cycle) ของโลก

methane content ปริมาณมีเทน

ร้อยละโดยปริมาตรของมีเทน (ดู methane) ในแก๊สเชื้อเพลิงที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณมีเทนกำหนดคุณภาพของแก๊สธรรมชาติอัด และแก๊สชีวภาพอัด (ดู compressed biogas (CBG)) เพื่อการซื้อขายโดยทั่วไป ข้อกำหนดของปริมาณมีเทนของแก๊สธรรมชาติอัด และแก๊สชีวภาพอัดมีค่ามากกว่าร้อยละ 97 โดยปริมาตร

methanol, methyl alcohol เมทานอล, เมทิลแอลกอฮอล์

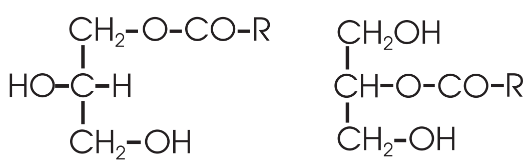
สารอินทรีย์ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน1 อะตอมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) 1 หมู่ สูตรโมเลกุล CH_3OH เป็นแอลกอฮอล์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด มีสภาพขั้วสูง เป็นของเหลวใส ระเหยง่าย ติดไฟได้ง่าย และเป็นพิษ ใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลาย สารลดจุดเยือกแข็ง (antifreezer) เชื้อเพลิง และสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมี และเชื้อเพลิงอื่นอีกหลายชนิด เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ กรดแอซีติก ทอลิวอีน แกโซลีน เป็นต้น เป็นแอลกอฮอล์หลักที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) นิยมผลิตจากแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) โดยใช้โลหะผสมของทองแดง สังกะสีออกไซด์ และอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 5-10 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



โครงสร้างทางเคมีของเมทานอล

monoglycerides, monoacylglycerols มอนอกลีเซอไรด์, มอนอเอซิลกลีเซอรอล

ไขมันชนิดหนึ่ง โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมัน 1 โมเลกุล ต่อกับกลีเซอรอล (ดู glycerol) ด้วยพันธะเอสเทอร์ (-COO-) เรียกอีกชื่อว่า กลีเซอรอลมอนอเอสเทอร์ (glycerol monoesters) แบ่งเป็น 2 โครงสร้าง ขึ้นกับตำแหน่งของพันธะเอสเทอร์ ได้แก่ แอลฟา-มอนอกลีเซอไรด์ (α-monoglyceride) และบีตา-มอนอกลีเซอไรด์ (β-monoglyceride) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทั้งสองหมู่มีสภาพชอบน้ำ (hydrophilicity) ส่วนสายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน (-R) มีสภาพไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) จึงแสดงสมบัติลดแรงตึงผิว ใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) ในอาหาร น้ำยาซักล้าง และเครื่องสำอาง เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งของทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) แบบไม่สมบูรณ์ของน้ำมันพืชในการผลิตไบโอดีเซล (ดู biodiesel) มอนอกลีเซอไรด์ทำให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์ มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดปริมาณมอนอกลีเซอไรด์ไม่เกินร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก ตามวิธีทดสอบ EN 14105



α-monoglyceride β-monoglyceride

โครงสร้างโมเลกุลของมอนอกลีเซอไรด์

octane number เลขออกเทน, ค่าออกเทน

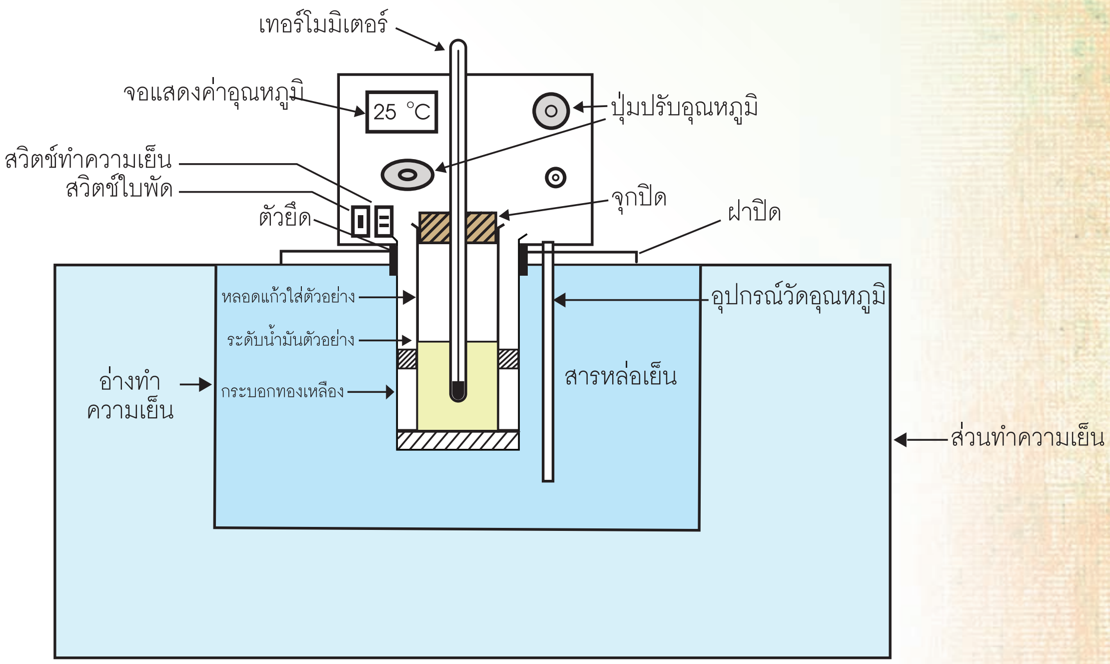
ตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถของเชื้อเพลิงในการต้านทานการชิงจุดระเบิดก่อนจังหวะจุดระเบิด (ignition stoke) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (ดู gasoline engine, spark-ignition engine) ในจังหวะอัดของเครื่องยนต์ในกระบอกสูบมีอุณหภูมิสูง ส่วนผสมอากาศกับไอเชื้อเพลิงอาจจุดระเบิดได้เอง (self-ignition) ก่อนจังหวะจุดระเบิดของหัวเทียน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่ำลง เครื่องยนต์เสียจังหวะการทำงานและอาจดับ เรียกโดยทั่วไปว่า "เครื่องน็อก" (engine knocking) เชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนสูงสามารถต้านทานการชิงจุดระเบิดก่อนจังหวะจุดระเบิดได้ ใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (compression ratio) สูงซึ่งให้กำลังมากได้ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเครื่องน็อก อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนสูงกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดต่ำไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์แต่อย่างใด

phosphorus content ปริมาณฟอสฟอรัส

น้ำหนักฟอสฟอรัสในเชื้อเพลิง 1 ลิตร หรือร้อยละโดยน้ำหนัก มาตรฐานแกโซฮอล (ดู gasohol) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอลมีฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.0013 กรัมต่อลิตร มาตรฐานไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 กำหนดให้ไบโอดีเซลมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกินร้อยละ 0.0010 โดยน้ำหนัก

pour point จุดไหลเท

อุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงสภาพไหลได้ตามวิธีทดสอบ ASTM D97 สัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของไข (wax) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน เป็นข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นเมื่อต้องใช้งานในภาวะอุณหภูมิต่ำ ไขที่ตกผลึกลงมาจะอุดตันท่อส่งเชื้อเพลิง และหม้อกรองน้ำมัน ไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัว (ดู saturated fatty acid) โมเลกุลใหญ่ปริมาณมาก มีจุดไหลเทสูง มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทยไม่ได้กำหนดจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลชนิด บี100 (ดู B100) แต่ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 กำหนดจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว น้ำมันดีเซลหมุนเร็วชนิดบี5 และน้ำมันดีเซลหมุนช้าไม่เกิน 10 และ 16 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



เครื่องมือวัดจุดไหลเท

producer gas โปรดิวเซอร์แก๊ส

คำรวมที่ใช้เรียกแก๊สผสมจากการแกซิฟาย (ดู gasification) ที่มีองค์ประกอบ และสัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิดต่างกัน รวมถึงทาวน์แก๊ส (ดู town gas) และแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas) ประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ไฮโดรคาร์บอนเบา และไนโตรเจนจากอากาศ ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยทั่วไปมีค่าความร้อนในช่วง 4-6 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นกับปัจจัยดำเนินการของการแกซิฟาย (ดู gasification)

solvent washed gum ยางเหนียว

น้ำหนักสารตกค้างหลังจากระเหยเชื้อเพลิงจนหมด และล้างด้วยเฮปเทน (heptane) ซึ่งแสดงถึงปริมาณยางเหนียวที่ละลายในเชื้อเพลิง (fuel-soluble gum) และยางเหนียวที่ไม่ละลายในเชื้อเพลิง (fuel-insoluble gum) ซึ่งตกค้างอยู่ในกระบอกสูบหลังจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ นอกจากนี้ยางเหนียวที่ไม่ละลายในเชื้อเพลิงอาจอุดตันไส้กรองน้ำมัน ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอลมีปริมาณยางเหนียวไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

specific gravity ความถ่วงจำเพาะ

อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารหนึ่งกับความหนาแน่นของสารมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เป็นปริมาณที่ไร้มิติ (dimensionless) พร้อมระบุอุณหภูมิที่ทดสอบ สำหรับของเหลวสารมาตรฐาน คือ น้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1 จะจมน้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 ลอยน้ำได้ เป็นข้อกำหนดสมบัติของแก๊ส และน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ ความถ่วงจำเพาะตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 น้ำมันดีเซลหมุนเร็วกำหนดไว้ในช่วง 0.81-0.87 ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D1298

$$\text{S.G.} = \frac{\rho_{\text{sample}}}{\rho_{H_2O}\ (\text{at } 15.6\ ^\circ\text{C})}$$

เมื่อ ρ_{sample} คือ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

ρ_{H_2O} (at 15.6 °C) คือ ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส

sulfated ash เถ้าซัลเฟต

ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ที่แสดงปริมาณโลหะเจือปนจากตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ และสารเติมแต่ง ซึ่งก่อให้เกิดการอุดตันภายในเครื่องยนต์เนื่องจากเผาไหม้ไม่หมด มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 กำหนดปริมาณเถ้าซัลเฟตไม่เกินร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก ตามวิธีทดสอบ ASTM D874 โดยใช้วิธีการเผาน้ำมันให้กลายเป็นเถ้าและกากคาร์บอน ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก และเผาที่อุณหภูมิ 775 องศาเซลเซียส ทำซ้ำจนออกซิไดส์กากคาร์บอนหมดและน้ำหนักที่เหลือคงที่

เตาเผาไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเถ้าซัลเฟต

sulphur content ปริมาณกำมะถัน

ร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับแกโซฮอล (ดู gasohol) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 กำหนดให้ปริมาณกำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก สำหรับไบโอดีเซล (ดู bioidiesel) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดให้ปริมาณกำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก และสำหรับน้ำมันดีเซล (ดู diesel fuel, petroleum diesel) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 กำหนดให้ปริมาณกำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก กำมะถันที่เผาไหม้แล้วเปลี่ยนเป็นแก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (ดู sulfur oxides) รวมตัวกับน้ำในบรรยากาศทำให้เกิดฝนกรด

syngas, synthesis gas แก๊สสังเคราะห์

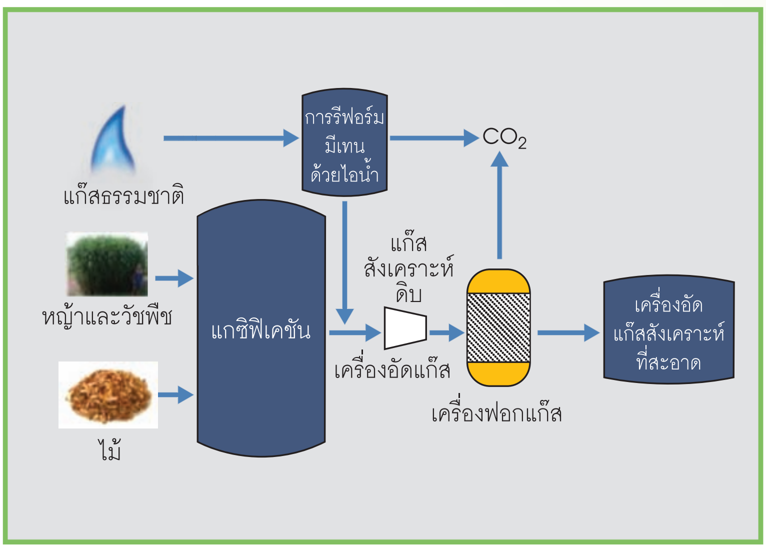
แก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ผลิตจากวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ได้แก่ ชีวมวล (ดู biomass) พลาสติก ถ่านหิน หรือขยะที่ได้จากชุมชน โดยใช้เทคโนโลยีการแกซิฟาย (ดู gasification) หรือการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) ตัวอย่างร้อยละองค์ประกอบหลัก คือ แก๊สไฮโดรเจน (ร้อยละ 20-40) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (ร้อยละ 35-40) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 25-35) และพบแก๊สอื่นๆ เล็กน้อย ได้แก่ มีเทน (ดู methane) (ร้อยละ 0-15) และแก๊สไนโตรเจน (ร้อยละ 2-5) ใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตแก๊สธรรมชาติสังเคราะห์ แอมโมเนีย หรือเมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) การผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือน้ำมันหล่อลื่นผ่านกระบวนการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) และกระบวนการเปลี่ยนเมทานอลให้กลายเป็นน้ำมันเบนซิน สามารถเผาไหม้ได้ แต่มีค่าความร้อนเพียงครึ่งหนึ่งของแก๊สธรรมชาติ สามารถเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนในแก๊สสังเคราะห์โดยการรีฟอร์มมีเทนในแก๊สธรรมชาติด้วยไอน้ำ

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$$

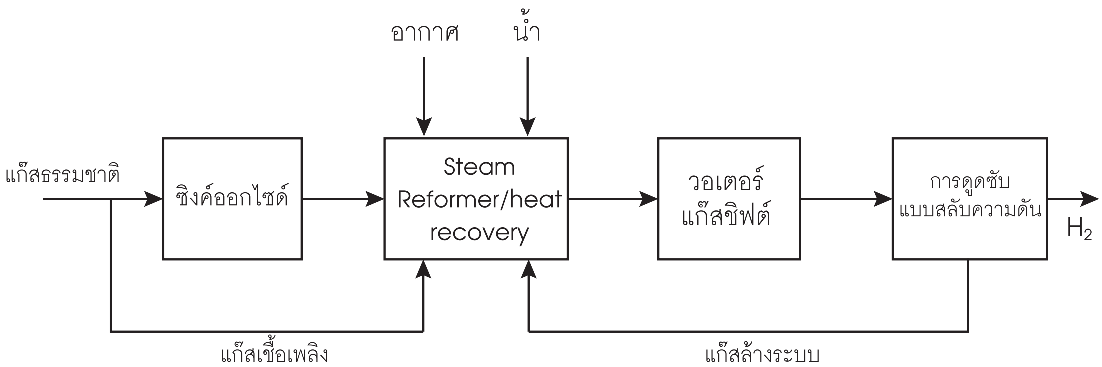
นอกจากนี้ยังสามารถผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (water-gas shift) ด้วย

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

และแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกด้วยเทคนิคการดูดซับโดยใช้ความดันสลับ (pressure swing adsorption (PSA)) และเครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน (membrane reactors)



การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากแก๊สธรรมชาติและชีวมวลด้วยการแกซิฟาย



การผลิตไฮโดรเจนจากการรีฟอร์มมีเทนในแก๊สธรรมชาติด้วยไอน้ำ

syngas engine เครื่องยนต์แก๊สสังเคราะห์

เครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) เป็นเชื้อเพลิงในการเดินเครื่อง เป็นเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (spark-ignition engine) ที่ใช้น้ำมันเบนซิน หรือแก๊สธรรมชาติที่ถูกดัดแปลงให้เหมาะสมกับค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์และอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่แตกต่าง ในบางกรณีอาจดัดแปลงจากเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด (compression-ignition engine) ที่ใช้กับน้ำมันดีเซลได้ แต่ต้องดัดแปลงมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน โดยเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานกล ในกรณีที่ใช้แก๊สสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงกำลังของเครื่องยนต์จะลดลงประมาณร้อยละ 35 เพราะค่าความร้อนต่ำกว่าแก๊สธรรมชาติ หรือน้ำมัน นิยมใช้ร่วมกับเครื่องปั่นไฟเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

เครื่องยนต์แก๊สสังเคราะห์

synthetic fuels เชื้อเพลิงสังเคราะห์

คำรวมที่ใช้เรียกเชื้อเพลิงเหลวหลายชนิดที่สังเคราะห์ขึ้นจากแก๊สสังเคราะห์ (ดู syngas, synthesis gas) ที่ได้จากการแกซิฟาย (ดู gasification) เชื้อเพลิงแข็งหลายชนิดรวมทั้งถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และชีวมวล (ดู biomass) เป็นเชื้อเพลิงสะอาดทางเลือกใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เมทานอล (ดู methanol, methyl alcohol) ไดเมทิลอีเทอร์ (ดู dimethyl ether (DME)) น้ำมันเบนซินสังเคราะห์ น้ำมันดีเซลสังเคราะห์ เป็นต้น ชีวมวลที่ได้รับความสนใจ ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพด กะลาปาล์ม เศษไม้ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งมีอยู่มากในประเทศไทย โดยนำชีวมวลมาผ่านการแกซิฟาย เปลี่ยนชีวมวลเป็นแก๊สสังเคราะห์เพื่อเป็นสารตั้งต้นผลิตเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์ผ่านการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปซ์ (ดู Fischer-Tropsch synthesis) การผลิตจากชีวมวลทำให้เกิดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ยั่งยืนเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมด

วัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ยั่งยืนจากชีวมวล

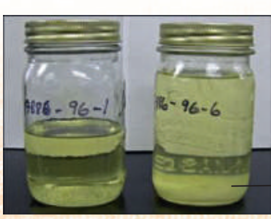
total contaminant สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

ปริมาณสารที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง (insoluble matter) ซึ่งแยกได้จากการกรองน้ำมันร้อนด้วยกระดาษกรองมาตรฐานที่มีขนาดรูพรุนระดับไมโครเมตร ตามวิธีทดสอบ ASTM D5452 หรือ EN 12662 สบู่ของกรดไขมันอิสระ (ดู free fatty acid) และตะกอนของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งปนเปื้อนที่พบบ่อยในไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ซึ่งหลงเหลือจากขั้นตอนการล้างด้วยน้ำ ทำให้เกิดการอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง และปั๊มหัวฉีดมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 กำหนดปริมาณสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 0.0024 โดยน้ำหนัก หรือ 24 พีพีเอ็ม

ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

total glycerine กลีเซอรีนทั้งหมด

ข้อกำหนดหนึ่งในมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ดู biodiesel) คำนวณจากผลรวมของปริมาณกลีเซอรีนอิสระ (ดู free glycerine) และปริมาณกลีเซอรีน (ดู glycerol) ที่อยู่ในโมเลกุลของมอนอกลีเซอไรด์ (ดู monoglycerides, monoacylglycerols) ไดกลีเซอไรด์ (ดู diglycerides, diacylglycerols) และไตรกลีเซอไรด์ (ดู triglyceride, triacylglycerol) ที่เจือปนในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเนื่องจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ดู transesterification) ของน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ไม่สมบูรณ์ ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 กำหนดปริมาณกลีเซอรีนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักตามวิธีทดสอบ EN 14105 เพื่อป้องกันปัญหาการจับตัวกันในน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ และการอุดตันบริเวณหัวฉีดและไส้กรองในเครื่องยนต์



ตะกอนไขมัน

(ซ้าย) ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง และ (ขวา) ไบโอดีเซลเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกิดไขสีขาวของไขมัน

town gas ทาวน์แก๊ส

แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากการไพโรไลส์ (ดู pyrolysis) หรือการแกซิฟาย (ดู gasification) ถ่านหิน ในกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (coke) ในอุตสาหกรรมหนัก เช่น โรงงานถลุงเหล็ก เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แก๊สถ่านหิน (coal gas) ประกอบด้วยแก๊สเผาไหม้ได้ คือ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ และแก๊สเผาไหม้ไม่ได้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) และไนโตรเจน มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 10-20 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ในอดีตใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงหลักในการให้ความร้อน และแสงสว่างในทวีปอเมริกา และอังกฤษ จนกระทั่งราวปี ค.ศ.1960 จึงได้นำแก๊สธรรมชาติมาใช้แทน

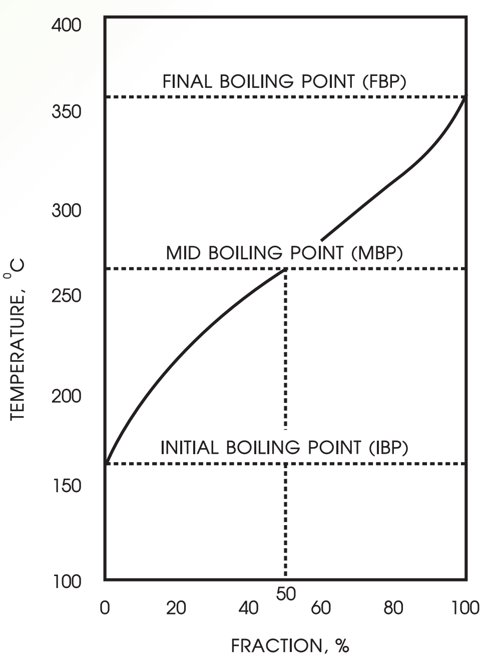
การใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แสงสว่าง

vapor pressure at 37.8 °C ความดันไอที่ 37.8 องศาเซลเซียส

ความดันของไอเชื้อเพลิงเหลวเหนือผิวหน้าเชื้อเพลิงเหลวในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส การวัดความดันไอต้องทำในภาชนะและภาวะตามมาตรฐานกำหนด ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแกโซฮอล พ.ศ. 2553 กำหนดให้แกโซฮอลมีความดันไอที่ 37.8 องศาเซลเซียส ไม่สูงกว่า 62 กิโลปาสกาล

volatility สภาพระเหยได้

สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อการจุดระเบิด การเผาไหม้และการทำงานของเครื่องยนต์ น้ำมันที่ระเหยง่ายจะกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบสม่ำเสมอ จุดระเบิดได้ง่าย ทำให้เดินเครื่องยนต์ได้เร็ว น้ำมันที่มีสภาพระเหยได้ต่ำเกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ กากคาร์บอน (ดู carbon residue) หลงเหลือในเครื่องยนต์ ไอเสียมีควันดำและกลิ่นเหม็น ทดสอบด้วยการกลั่นแบบ ASTM (ASTM distillation) ตามวิธี ASTM D86 อุณหภูมิการกลั่นที่บ่งชี้สภาพระเหยได้ ได้แก่ จุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point (IBP)) จุดเดือดที่ปริมาตรร้อยละ10, จุดเดือดกลางที่ปริมาตรร้อยละ 50 (mid-boiling point (MBP)) ร้อยละ 90 และจุดเดือดสุดท้าย (final boiling point (FBP)) มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ดู high-speed diesel oil, automotive diesel oil) ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 กำหนดจุดเดือดที่ปริมาตรร้อยละ 90 ไม่เกิน 357 องศาเซลเซียส



เส้นโค้งการกลั่นแบบ ASTM (ASTM distillation curve)

water content ปริมาณน้ำ

ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำในเชื้อเพลิงมาตรฐานแกโซฮอล (ดู gasohol) ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2553 และมาตรฐานไบโอดีเซล (ดู biodiesel) ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดให้แกโซฮอล และไบโอดีเซลมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 0.70 และ 0.05 โดยน้ำหนักตามลำดับ แหล่งที่มาของน้ำในแกโซฮอลมาจากเอทานอล (ดู ethanol, ethyl alcohol) ซึ่งดูดความชื้นในอากาศได้ดี สำหรับแหล่งที่มาของน้ำในไบโอดีเซลมาจากการตกค้างของน้ำในขั้นตอนการล้างผลิตภัณฑ์

Wobbe index ดัชนีวอบเบ

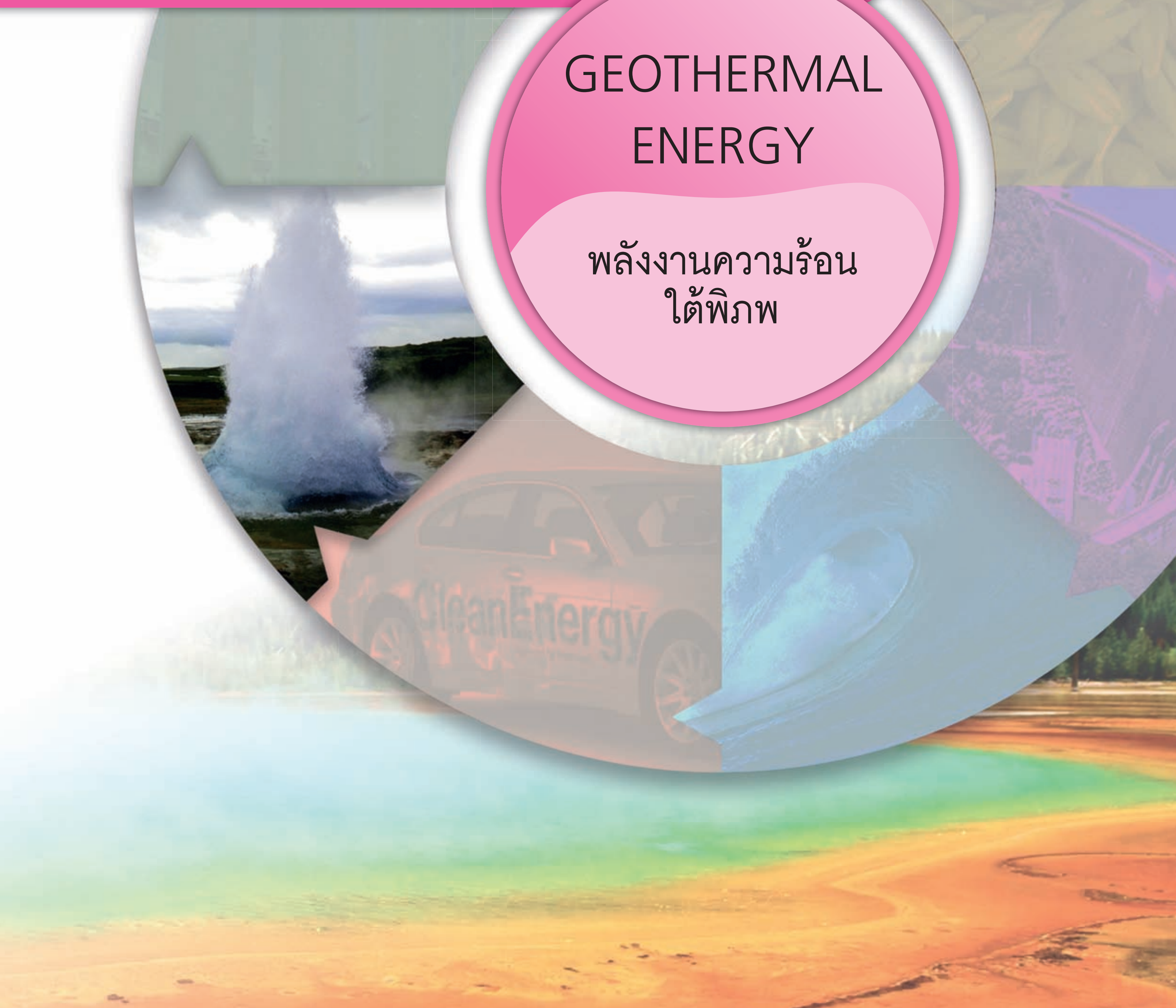
ค่าความร้อนขั้นสูง (higher heating value) ของแก๊สเชื้อเพลิงหารด้วยรากที่สองของความถ่วงจำเพาะ (ดู specific gravity) ของแก๊สนั้นเทียบกับอากาศ ดัชนีวอบเบคิดค้นโดยจอฟฟรีโดวอบเบ (Goffredo Wobbe) วิศวกรชาวอิตาลี หลังจากพบว่าอัตราการให้ความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในหัวเผา (burner) แปรผกผันกับรากที่สองของความถ่วงจำเพาะของแก๊สนั้นเทียบกับอากาศ นิยมใช้ชี้วัดพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงผสม เช่น แก๊สชีวภาพ (ดู biogas) แก๊สธรรมชาติ และแก๊สปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น เนื่องจากองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงผสมขึ้นกับแหล่งกำเนิดทำให้มีทั้งค่าความร้อน และความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงผสมด้วยดัชนีวอบเบซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการให้ความร้อนดีกว่าการเปรียบเทียบค่าความร้อน (ดู heating value, calorific value) เพียงอย่างเดียว

พลังงานที่ (อาจ) มองไม่เห็น

พลังงานใต้พิภพในรูปความร้อน เรามองไม่เห็นจริงหรือ เพราะเราก็เคยไปเที่ยวและรู้จักแหล่งน้ำพุร้อนที่มีชื่อเสียงในประเทศหลายแห่งมาแล้ว แต่ศักยภาพของมันนี้สิ ต้องอาศัยข้อมูลทางธรณีวิทยา เพื่อประเมินความคุ้มค่าและศึกษารายละเอียดของรูปแบบการนำมาใช้ แหล่งความร้อนใต้พิภพอาจอยู่ในรูปน้ำพุ น้ำพุร้อน ชั้นหินแห้งร้อน ชั้นหินอุ้มน้ำ การใช้ประโยชน์แหล่งความร้อนใต้พิภพขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิของน้ำร้อน หรือแหล่งหิน วิธีและความต้องการใช้งานอาจนำความร้อนมาใช้โดยตรงในการอบแห้ง สร้างความอบอุ่นแก่อาคารบ้านเรือน หรือนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ในประเทศไทยพบแหล่งน้ำพุร้อนทุกภาค ตั้งแต่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคใต้ ส่วนใหญ่มีศักยภาพพลังงานระดับปานกลาง ในปัจจุบันเรามีโรงไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพเพียงแห่งเดียวที่จังหวัดเชียงใหม่

GEOTHERMAL ENERGY

พลังงานความร้อนใต้พิภพ



Mind Map

- hydrothermal system
  ระบบไอน้ำเปียก / ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ
- dry steam system
  ระบบไอน้ำแห้ง
- enhanced geothermal system
  ระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ
- binary generation system / binary cycle system
  ระบบสองวงจร
- double flash system
  ระบบแฟลชคู่

geothermal power plant
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ

- Auger drilling system
  ระบบการเจาะแบบเกลียว
- rotary drilling system
  ระบบการเจาะแบบหมุน
- percussion drilling system
  ระบบการเจาะแบบกระแทก
- drilling mud / drilling fluids
  โคลนเจาะ / ของไหลสำหรับการเจาะ
- drilling rig
  แท่นเจาะ
- geological exploration
  การสำรวจธรณีวิทยา
- geophysical exploration
  การสำรวจธรณีฟิสิกส์
- geothermal gradient and heat flow
  อัตราการเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพและอัตราการถ่ายเทความร้อน

geothermal exploring and drilling
การสำรวจและการเจาะพลังงานความร้อนใต้พิภพ

- geothermal resources in Thailand
  แหล่งความร้อนใต้พิภพของประเทศไทย

- geothermal electricity in Thailand
  การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย

- Geothermal Energy พลังงานความร้อนใต้พิภพ
  - geology ธรณีวิทยา
    - plates techtonic ธรณีภาคแปรสัณฐาน
    - spreading center ศูนย์กลางรอยแยก
    - subduction zone เขตมุดตัวของเปลือกโลก
    - geothermal reservoirs แหล่งความร้อนใต้พิภพ
      - spring / hot spring น้ำพุ / น้ำพุร้อน
      - dry rock / hot dry rock ชั้นหินแห้ง / ชั้นหินแห้งร้อน
      - aquifer ชั้นหินอุ้มน้ำ
  - direct geothermal power พลังความร้อนใต้พิภพโดยตรง
    - geothermal heat pump ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ
    - open-loop geothermal heat pump system ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรเปิด
    - district heating การให้ความร้อนแก่ชุมชน
    - geothermal bathing การอาบน้ำแร่
    - aquaculture การเพาะเลี้ยงในน้ำ
    - ground loop ระบบท่อวน
      - horizontal ground loop ระบบท่อวนแนวราบ
      - vertical ground loop ระบบท่อวนแนวดิ่ง
      - slinky ground loop ระบบท่อวนแบบขดเป็นวง

ฟาร์มสัตว์น้ำในแคลิฟอร์เนียที่ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ

aquaculture การเพาะเลี้ยงในน้ำ

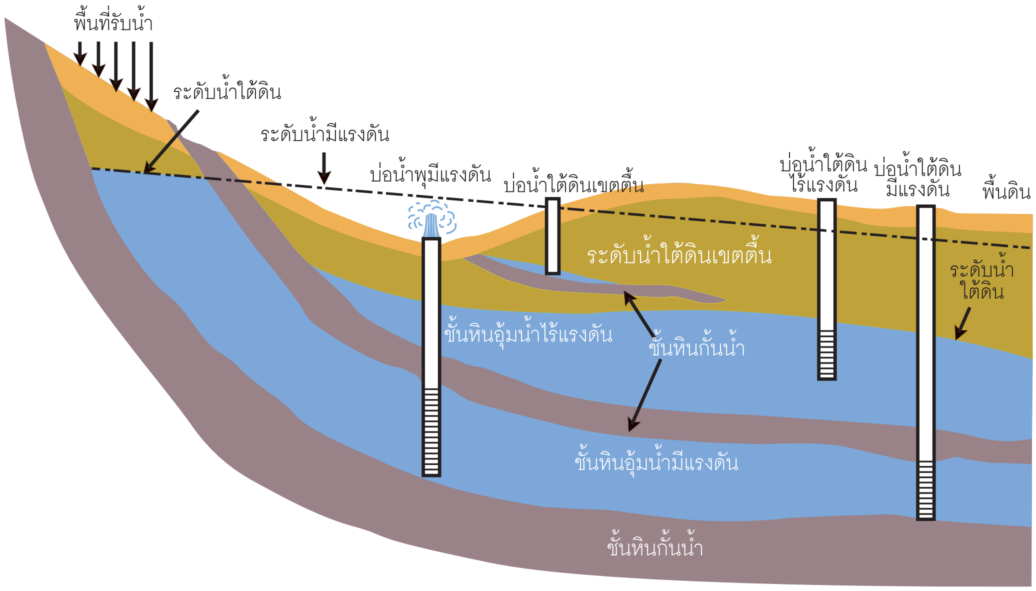
การเพาะเลี้ยงในน้ำที่ต้องควบคุมอุณหภูมิที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ โดยใช้น้ำร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ

aquifer ชั้นหินอุ้มน้ำ

ชั้นหินที่มีรูพรุนยอมให้น้ำซึมผ่านและสามารถกักเก็บน้ำได้ มักเป็นหินทราย หินปูน หรือวัสดุร่วน เช่น กรวด ทราย หรือทรายแป้ง แบ่งเป็น 1. ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (unconfined aquifer) มีทางระบายออกสู่ชั้นบรรยากาศทำให้น้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ สามารถนำขึ้นมาใช้ได้โดยขุดบ่อลึกลงไปถึงระดับน้ำใต้ดิน (water table) 2. ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (confined aquifer หรือ artesian aquifer) ถูกปิดทับด้วยชั้นหินหรือชั้นดินเนื้อแน่นที่น้ำซึมผ่านได้ยากทั้งด้านบนและด้านล่าง (confining unit) ทำให้การไหลของน้ำคล้ายกับการไหลในท่อภายใต้แรงดัน ซึ่งถ้าขุดบ่อลึกลงไปถึงชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน จะมีน้ำไหลขึ้นมาเองถึงระดับน้ำมีแรงดัน (potentiometric surface) โดยไม่ต้องใช้ปั๊ม น้ำที่กักเก็บในชั้นหินอุ้มน้ำหากได้รับความร้อนจากหินหนืดร้อนใต้พิภพ จะกลายเป็นน้ำร้อนและไอน้ำพลังงานสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ หากแรงดันของน้ำร้อนมีมากพอ น้ำจะพุ่งสูงเกิดเป็นน้ำพุร้อน

หินที่มีรูพรุนที่พบในชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer)

บ่อน้ำในชนบทของเขตราชสถาน ประเทศอินเดีย



ภาพแสดงพื้นที่หน้าตัดของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (confined aquifer) และชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (unconfined aquifer)

Auger drilling system ระบบการเจาะแบบเกลียว

การเจาะลงไปใต้ผิวดินโดยใช้แรงกดที่หัวเจาะพร้อมกับการหมุน หัวเจาะมีปลายแหลม ก้านเจาะมีลักษณะเป็นใบมีดเกลียว หัวเจาะและก้านเจาะจะหมุน เจาะลงไปในผิวดินโดยใช้แรงหมุนจากคนหรือมอเตอร์ เศษดิน เศษหิน และเศษวัสดุจากการเจาะจะติดในร่องเกลียว และถูกยกขึ้นมาบนผิวดินเพื่อนำเศษวัสดุออก กระบวนการจะเกิดซ้ำจนกระทั่งได้ขนาดและความลึกของหลุมเจาะตามต้องการ หากหลุมเจาะแห้งแข็ง อาจใช้น้ำช่วยให้พื้นผิวอ่อนตัวและเจาะได้ง่ายขึ้น ระบบการเจาะแบบเกลียวเหมาะกับการเจาะขนาดเล็กที่พื้นผิวไม่แข็งมาก นิยมใช้เจาะเพื่อการก่อสร้าง การทำเหมือง และเก็บตัวอย่าง เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนของของเหลวจากการเจาะ

การเจาะพื้นดินเพื่อวางระบบท่อความร้อนใต้พิภพด้วยระบบการเจาะแบบเกลียว

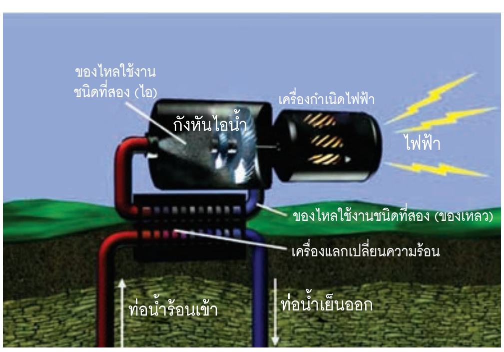
ก้านเจาะแบบเกลียว

หัวเจาะ

เศษดินที่ติดอยู่ในร่องเกลียวของก้านเจาะถูกลำเลียงขึ้นมาบนผิวดิน

binary generation system, binary cycle system ระบบสองวงจร

ระบบสองวงจรเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพที่ผลิตไฟฟ้าจากน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ 38-149 องศาเซลเซียส โดยผ่านน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้ความร้อนกับของไหลชนิดที่สองที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น แอมโมเนีย ฟรีออน ไอโซบิวเทน ไอโซเพนเทน เป็นต้น ซึ่งจะกลายเป็นไอแล้วผ่านเข้าสู่กังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า จากนั้นกลับเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ ส่วนน้ำร้อนหลังจากถ่ายโอนความร้อนให้กับของไหลชนิดที่สองแล้ว จะควบแน่นและถูกฉีดกลับเข้าสู่แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นระบบที่ใช้กันมากเนื่องจากมีแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำจำนวนมาก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ร้อยละ 10-13



ภาพจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบสองวงจร

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพระบบสองวงจร ที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ กำลังการผลิตติดตั้ง 300 กิโลวัตต์

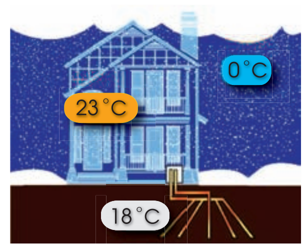
direct geothermal power พลังความร้อนใต้พิภพโดยตรง

การนำพลังความร้อนใต้พิภพมาใช้โดยตรง โดยไม่นำไปผลิตกระแสไฟฟ้าก่อน สามารถกระทำได้ในหลายลักษณะ เช่น ใช้เป็นแหล่งความร้อน (heat source) สำหรับทำความอบอุ่นแก่ที่พักอาศัยหรืออาคารสำนักงาน การใช้เพื่อประโยชน์ทางสุขภาพ การชำระล้างทำความสะอาด การอบทรายร้อน การประกอบอาหาร ตลอดจนเป็นแหล่งความร้อนที่ใช้ในภาคเกษตรและอุตสาหกรรม

การแช่น้ำร้อนรักษาโรคที่น้ำพุร้อน วัดวังขนาย จังหวัดกาญจนบุรี

บ่อต้มไข่สุกใน 3 นาที ที่น้ำพุร้อนสบโป่ง/แม่ขะจาน จังหวัดเชียงราย

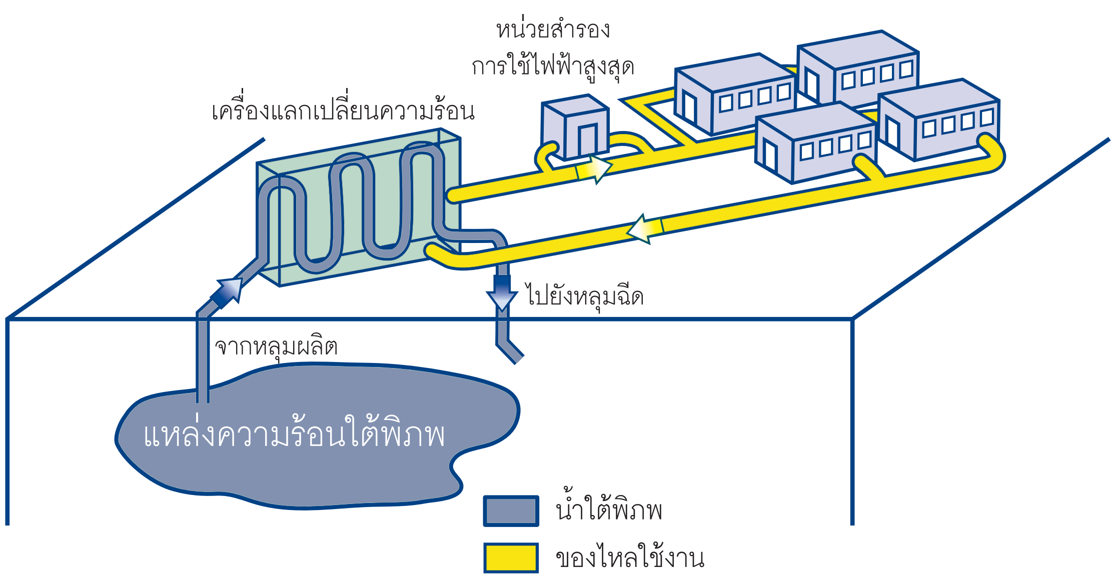
นักท่องเที่ยวอบตัวด้วยทรายร้อนที่หาดพลังงานความร้อนใต้พิภพ อิบูซูกิ คิวชูตอนใต้ ประเทศญี่ปุ่น



แนวคิดการทำความอบอุ่นแก่ที่พักอาศัยในฤดูหนาวด้วยปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ

district heating การให้ความร้อนแก่ชุมชน

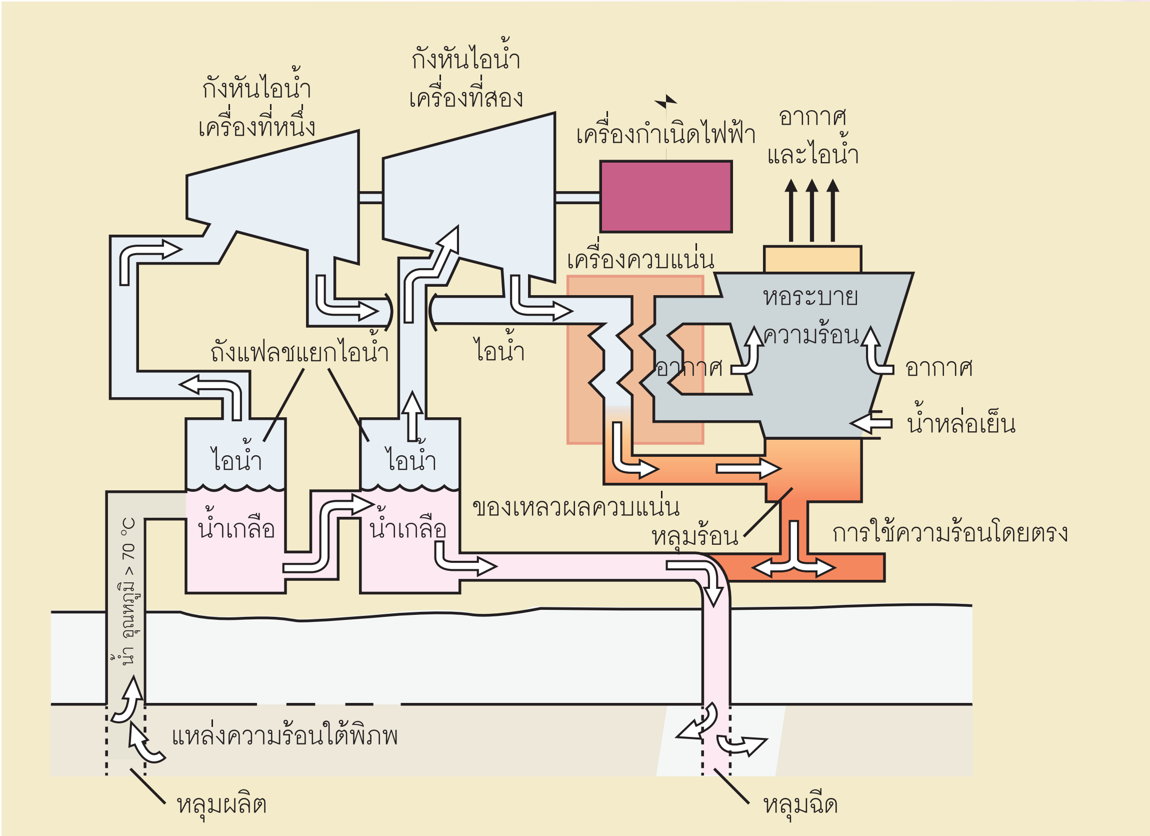
การนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาใช้ให้ความร้อนแก่ชุมชน เช่น ในเขตหนาว โดยติดตั้งระบบปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพขนาดใหญ่ พร้อมวางระบบโครงข่ายท่อรับส่งของไหลใช้งาน (working fluid) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระจายไปยังที่อยู่อาศัยหรือหน่วยงานในชุมชน



การให้ความร้อนแก่ชุมชนจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ

double flash system ระบบแฟลชคู่

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพที่นำเทคโนโลยีผลิตไอน้ำแบบแฟลชมาใช้ เมื่อน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่า 177 องศาเซลเซียส จะวาบเป็นไอน้ำและถูกแยกส่งเข้าสู่กังหันไอน้ำ ในระบบแฟลชคู่น้ำจะถูกวาบเป็นไอน้ำ 2 รอบที่ความดันแตกต่างกัน เพิ่มปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ร้อยละ 20-30 ส่วนที่ยังคงเป็นของเหลวจะถูกส่งกลับไปที่แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบไอน้ำเปียก ระบบน้ำร้อนใต้พิภพร้อยละ 20-25



แผนภูมิโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพระบบแฟลชคู่

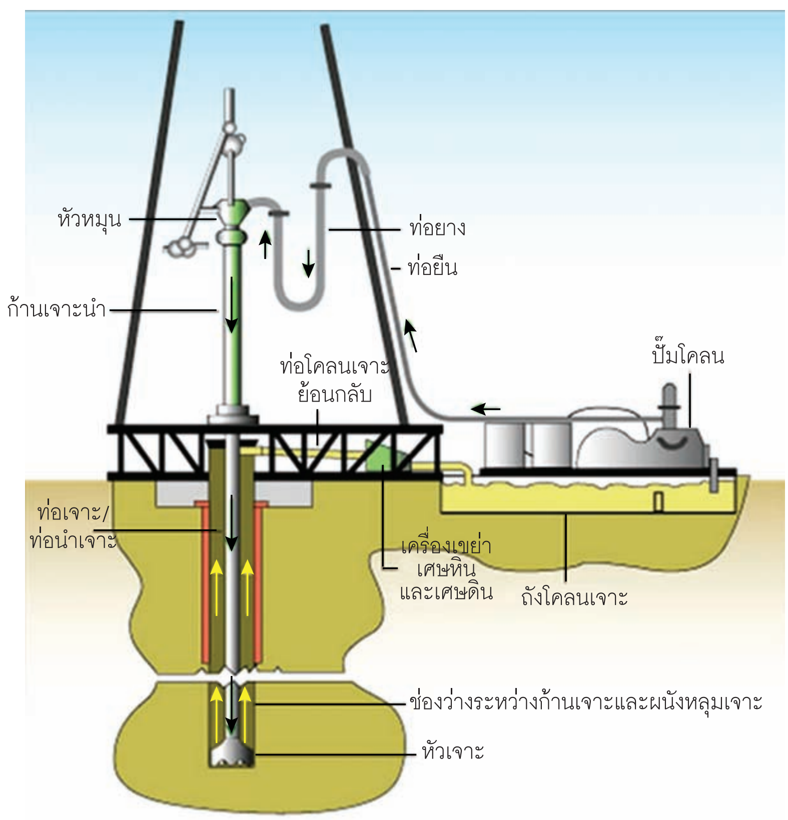
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบแฟลชคู่ ฮัทโชบารุ (Hatchobaru) ประเทศญี่ปุ่น กำลังผลิตติดตั้ง 110 เมกะวัตต์

drilling mud, drilling fluids โคลนเจาะ, ของไหลสำหรับการเจาะ

ของผสมระหว่างโคลนผง สารเพิ่มน้ำหนัก สารควบคุมคุณสมบัติโคลนเจาะ และตัวทำละลายที่ผสมกันจนมีความหนืดข้นตามต้องการ โคลนเจาะจะถูกสูบอัดลงไปในก้านเจาะ เพื่อทำหน้าที่หล่อลื่นหัวเจาะช่วยไม่ให้หัวเจาะร้อน และไหลเวียนระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะจากปากหลุมลงไปก้นหลุมอยู่ตลอดเวลา ความหนืดของโคลนเจาะจะยึดเหนี่ยวเศษดินหินให้แขวนลอยอยู่ก่อนที่จะถูกดันขึ้นมาพร้อมกันยังปากหลุม โดยผ่านช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมและช่วยควบคุมการไหลของน้ำมัน แก๊ส หรือน้ำใต้พิภพขึ้นสู่ปากหลุม นอกจากนี้น้ำหนักของโคลนเจาะยังช่วยต้านแรงดันจากชั้นหินในหลุมป้องกันผนังหลุมเจาะพัง ของไหลสำหรับการเจาะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ โคลนเจาะที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายหลัก (water base mud) โคลนเจาะที่มีน้ำมันเป็นตัวทำละลายหลัก (oil base mud) และที่เป็นของไหลประเภทแก๊ส/อากาศ (pneumatic) หรือโฟม การเลือกใช้ของไหลสำหรับการเจาะขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการเจาะ ชนิดของหลุม พื้นที่ และตำแหน่งที่ทำการเจาะ ลักษณะธรณีวิทยาในบริเวณที่ทำการเจาะ สมบัติของชั้นหินที่ต้องเจาะผ่าน การวางแผนลงท่อกรุ คุณภาพของน้ำ การกัดกร่อน และผลกระทบสิ่งแวดล้อม


โคลนเจาะ

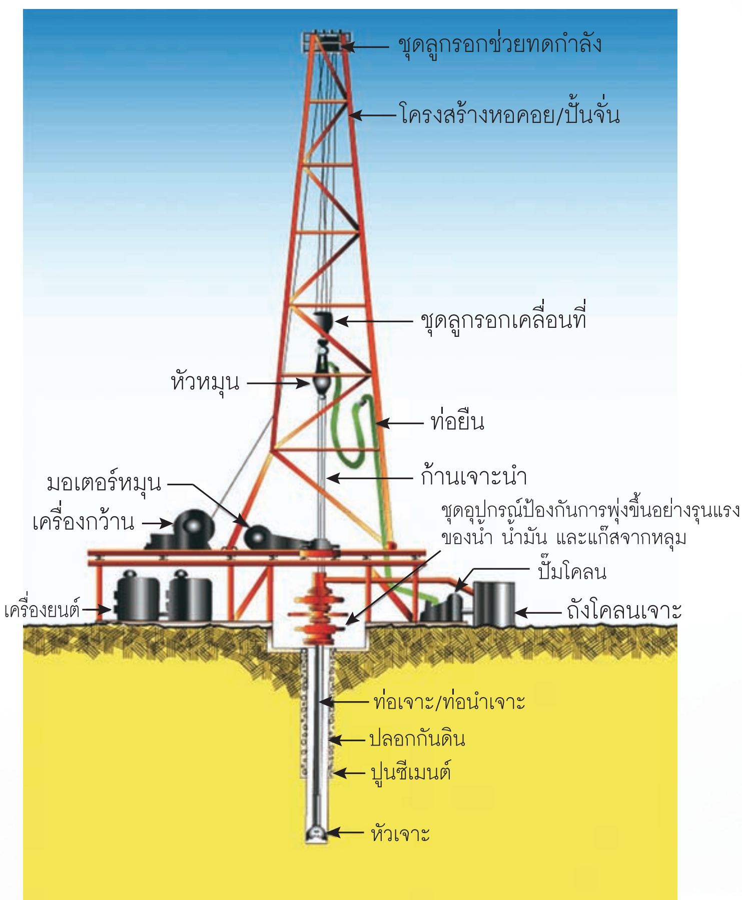

โคลนเจาะที่นำเศษหิน ทราย
หรือกรวดขึ้นมาด้วย



การเคลื่อนที่ของโคลนเจาะ

drilling rig แท่นเจาะ

ชุดอุปกรณ์สำหรับเจาะลงไปในเปลือกโลก ทั้งที่เป็นพื้นดินหรือพื้นน้ำ เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ ประกอบด้วยอุปกรณ์เจาะและอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หรืออาจเป็นชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย แท่นเจาะอาจเป็นหน่วยเคลื่อนที่ที่อุปกรณ์เจาะติดตั้งอยู่บนรถบรรทุก รถพ่วง เรือ หรือเป็นแท่นเจาะที่ติดตั้งถาวรบนบกหรือในทะเล แท่นเจาะแบ่งตามแหล่งที่ใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ แท่นเจาะบนบก (onshore) และแท่นเจาะในทะเล (offshore) วัตถุประสงค์การใช้แท่นเจาะ ได้แก่ ใช้สำหรับเจาะบ่อน้ำ บ่อน้ำมัน บ่อแก๊สธรรมชาติ ใช้ในการเก็บตัวอย่างหิน ดิน แร่ น้ำใต้ดิน และใช้ติดตั้งสิ่งก่อสร้างใต้พื้นผิว อุปกรณ์ อุโมงค์ แท่นเจาะมีหลายประเภท แต่ส่วนประกอบหลักจะคล้ายกัน ได้แก่ 1. ชุดลูกรอกช่วยทดกำลัง (crown block) 2. โครงสร้างหอคอย หรือปั้นจั่น (derrick) ทำจากโลหะ มักมีขายึดติดกับฐาน 4 จุด 3. ชุดลูกรอกเคลื่อนที่ (travelling block) 4. หัวหมุน (swivel) เป็นส่วนรับโคลนเจาะจากท่อตั้งตรง เพื่อส่งให้กับก้านเจาะและหัวเจาะ 5. ท่อยืน (standpipe) สำหรับถ่ายโคลนเจาะ 6. มอเตอร์หมุน (rotary drive) ส่งกำลังงานหมุนให้กับก้านเจาะนำ (kelly) 7. เครื่องกว้าน (draw works) ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบรอกและสายสลิง เพื่อดึงท่อเจาะและหัวเจาะขึ้นลง 8. ก้านเจาะนำ (kelly) เชื่อมต่อมอเตอร์หมุนที่แท่นเข้ากับท่อเจาะ/ท่อนำเจาะเพื่อส่งกำลังหมุนให้กับท่อเจาะ 9. เครื่องยนต์ (engine) ให้กำลังงานแก่มอเตอร์หมุน 10. ชุดอุปกรณ์ป้องกันการพุ่งขึ้นอย่างรุนแรงของน้ำ น้ำมัน และแก๊สจากหลุม (blowout prevention) 11. ปั๊มโคลนเจาะ (mud pump) 12. ถังโคลนเจาะ (mud pit) 13. ท่อเจาะ/ท่อนำเจาะ (drill pipe) ใช้หมุนหัวเจาะและเป็นช่องใส่โคลนเจาะ เพื่อระบายความร้อนหัวเจาะ 14. ปลอกกันดิน (casing) เป็นท่อเหล็กใส่ในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันการพังทลายของผนังหลุมเจาะ ป้องกันโคลนเจาะออกมาด้านนอก ป้องกันของไหลที่ไม่ต้องการเข้ามาในหลุมและช่วยควบคุมความดันของหลุม 15. ปูนซีเมนต์ (cement) เติมในช่องระหว่างหลุมเจาะและท่อกรุ เพื่อยึดท่อกรุให้อยู่กับที่และป้องกันการรั่วระหว่างชั้นหิน 16. หัวเจาะ (drill bit)



องค์ประกอบของแท่นเจาะ

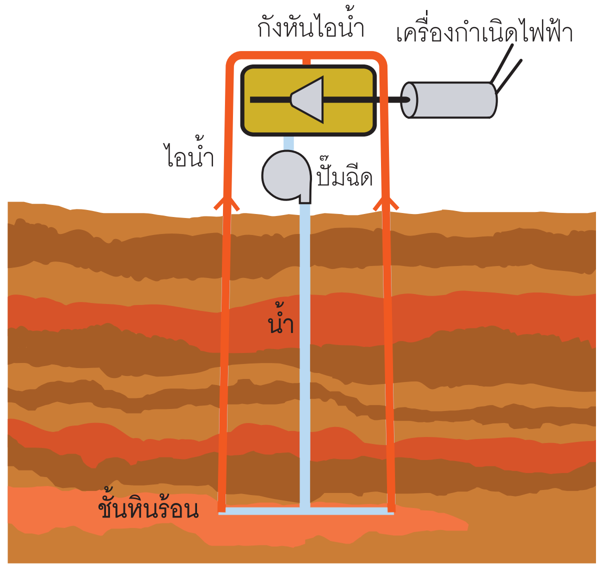
แท่นเจาะแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ประเทศนิวซีแลนด์

แท่นเจาะแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบเคลื่อนที่ได้

แท่นเจาะในทะเลชนิดต่างๆ

dry rock, hot dry rock ชั้นหินแห้ง, ชั้นหินแห้งร้อน

ชั้นหินใต้พิภพที่ร้อนและเป็นแหล่งพลังงานความร้อนปริมาณมหาศาล อุณหภูมิของชั้นหินเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความลึกจากผิวดินและชนิดของหินด้วยอัตรา 0.028-0.1 องศาเซลเซียสต่อความลึก 1 เมตร หินแห้งอุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส เป็นแหล่งความร้อนใต้พิภพที่มีพลังงานเพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอัดฉีดน้ำเข้าไปตามรอยแตกในชั้นหินเพื่อรับความร้อนจากหินแห้ง แล้วจึงหมุนเวียนน้ำร้อนมาสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชั้นหินแห้ง (hot dry rock technology) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีผู้สนใจศึกษากันมาก

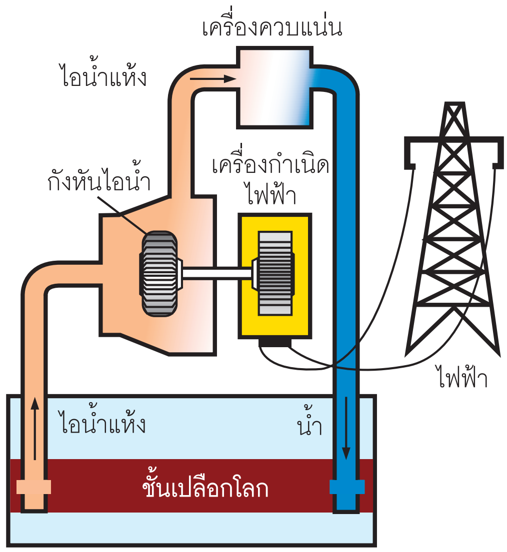


ภาพจำลองแสดงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชั้นหินแห้งใต้พิภพ

dry steam system ระบบไอน้ำแห้ง

ระบบผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ใช้ไอน้ำจากแหล่งความร้อนใต้พิภพที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดวิกฤต (ดู critical point) คือ 373.946 องศาเซลเซียส ผ่านเข้าสู่กังหันไอน้ำโดยตรง ไม่ต้องผ่านหม้อไอน้ำ ระบบไอน้ำแห้งมีข้อดี คือ ไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการกำจัดหยดน้ำจากการควบแน่นของไอน้ำก่อนที่จะป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำ ระบบไม่ซับซ้อน ข้อจำกัดของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพแบบระบบไอน้ำแห้ง คือ แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีไอน้ำอุณหภูมิสูงระดับนี้มีจำนวนไม่มากนัก โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพเกเซอร์ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแห่งแรกที่ใช้ระบบไอน้ำแห้ง และยังเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกด้วย โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าประเภทนี้ใช้ไอน้ำประมาณ 6.5 กิโลกรัมต่อการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพเกเซอร์
ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา
กำลังผลิตติดตั้ง 1,517 เมกะวัตต์



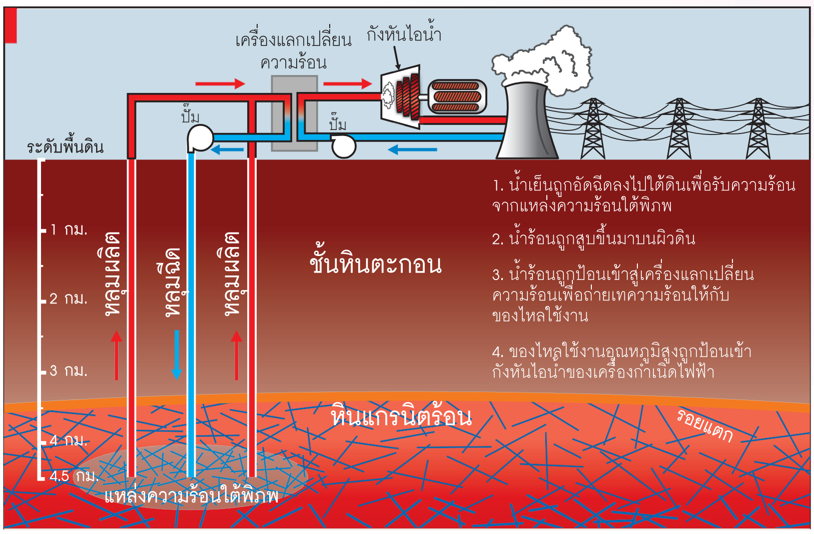
แผนภูมิโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบไอน้ำแห้ง

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบไอน้ำแห้ง
เรคยาเนส (Reykjanes) ประเทศไอซ์แลนด์
กำลังผลิตติดตั้ง 100 เมกะวัตต์

enhanced geothermal system ระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ระบบความร้อนใต้พิภพที่สร้างขึ้นเพื่อเสริมความสามารถของแหล่งหินร้อนใต้ดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย กระบวนการเริ่มต้นด้วยการเจาะหลุมฉีด (injection well) ลงไปยังแหล่งหินร้อน ฉีดอัดน้ำผ่านหลุมลงไปยังแหล่งหินร้อนใต้ดิน ด้วยแรงดันที่สูงพอที่จะทำให้หินร้อนแตกออกเป็นโครงข่าย น้ำรับความร้อนตามช่องแตกของหินร้อน แล้วถูกดูดขึ้นทางหลุมผลิต (production well) เพื่อป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้า และจะถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำ หรือนำไปให้ความร้อนแก่ของไหลชนิดที่สองซึ่งจะกลายเป็นไอ แล้วผ่านเข้าสู่กังหันผลิตไฟฟ้า น้ำเย็นที่ออกจากโรงไฟฟ้าจะถูกฉีดกลับหมุนเวียนไปรับความร้อนยังแหล่งหินร้อนต่อไป

โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพดีเซิร์ท พีค (Desert Peak) รัฐเนวาดา เป็นแห่งแรกของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ผลิตไฟฟ้าเข้าสู่สายส่งด้วยระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ



ระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ

หน่วยสาธิตระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ประสบความสำเร็จแห่งแรกของประเทศสหรัฐอเมริกา บริเวณศูนย์ความร้อนใต้พิภพเกเซอร์ รัฐแคลิฟอร์เนีย

geological exploration การสำรวจธรณีวิทยา

การศึกษาสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ทั้งในภาคสนาม การศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา (geological structure) ของพื้นที่ จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของชั้นหิน การวางตัว และการเรียงลำดับชั้นหิน อายุของหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นหินต่าง ๆ บริเวณที่มีการแปรสภาพของชั้นดิน หิน อันเนื่องมาจากอิทธิพลทางความร้อน ทั้งนี้เพื่อประเมินชั้นหินที่อาจจะเป็นแหล่งกักเก็บ และปิดกั้นแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยทั่วไปการสำรวจธรณีวิทยาแต่ละครั้งจะครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50-100 ตารางกิโลเมตร ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ และศักยภาพของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพนั้น

การสำรวจธรณีวิทยา

geology ธรณีวิทยา

ศาสตร์ที่ศึกษาองค์ประกอบ โครงสร้าง กระบวนการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของโลก ผลที่ครอบคลุมถึงกำเนิดของโลก วัสดุและรูปร่างลักษณะของโลก ประวัติความเป็นมาและกระบวนการที่กระทำต่อโลกทั้งในอดีตและปัจจุบัน แรงกระทำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือยังคงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมี มวลสารและส่วนประกอบของโลก อาศัยการตีความจากรูปแบบและสภาวะแวดล้อมที่ยังคงเหลือให้เห็นในปัจจุบัน โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์สร้างเป็นทฤษฎี เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่บนผิวโลกจนไปถึงแกนกลางชั้นในของโลก เช่น การเกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด การเกิดน้ำพุร้อน โคลนเดือด เป็นต้น ความรู้ทางธรณีวิทยามีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้โดยเฉพาะการสำรวจแหล่งความร้อนใต้พิภพเพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองทดแทนการใช้ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ

การสำรวจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

geophysical exploration การสำรวจธรณีฟิสิกส์

การสำรวจลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดิน การเรียงลำดับชั้นหิน และสมบัติทางฟิสิกส์ของชั้นหินชนิดต่างๆ เช่น สมบัติเชิงแม่เหล็กไฟฟ้า สมบัติในการเป็นตัวกลางของคลื่น โดยใช้เครื่องมือทางธรณีฟิสิกส์ช่วยตรวจวัดสมบัติของหินที่อยู่ใต้ผิวดินลึกลงไปในพื้นที่สำรวจ เทคนิคทางด้านธรณีฟิสิกส์ที่นิยมนำมาใช้ คือ การสำรวจค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก (magnetic survey) การสำรวจค่าความโน้มถ่วง (gravity survey) การสำรวจคลื่นสั่นสะเทือน (seismic survey) และการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistivity survey) ผลการสำรวจค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก และค่าความโน้มถ่วงช่วยกำหนดขอบเขต และรูปร่างของแอ่งตะกอนในอดีตใต้ผิวดินลึกลงไป ว่ามีศักยภาพพอที่จะเป็นแหล่งกักเก็บความร้อนมากน้อยเพียงใด ผลการสำรวจคลื่นสั่นสะเทือนช่วยกำหนดขอบเขตพื้นที่สำรวจให้แคบลง และผลการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าจะช่วยประเมินลักษณะการเรียงตัวของชั้นหินโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินและระดับน้ำใต้ดิน เพื่อกำหนดตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจที่แน่นอนในลำดับถัดไป

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือน
แหล่งความร้อนใต้พิภพ

การสำรวจค่า
ความต้านทานไฟฟ้า

การสำรวจค่าความเข้ม
สนามแม่เหล็กโลก

การสำรวจค่าความโน้มถ่วง
แหล่งความร้อนใต้พิภพ

geothermal bathing การอาบน้ำแร่

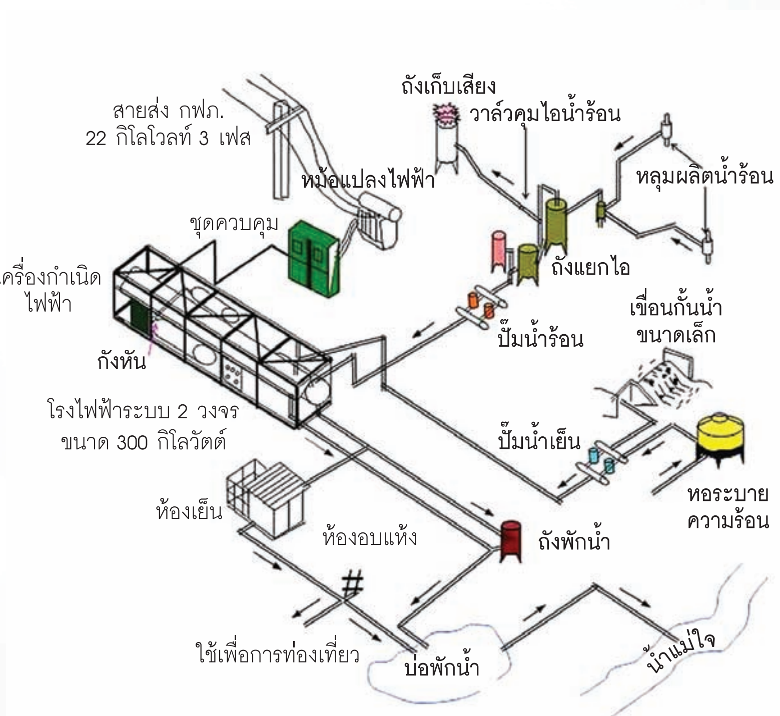
การใช้น้ำร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในการอาบชำระล้าง มักทำเพื่อประโยชน์ทางสุขภาพ

การแช่น้ำร้อนที่น้ำพุร้อนบริเวณทะเลสาบแมมมอธ แคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

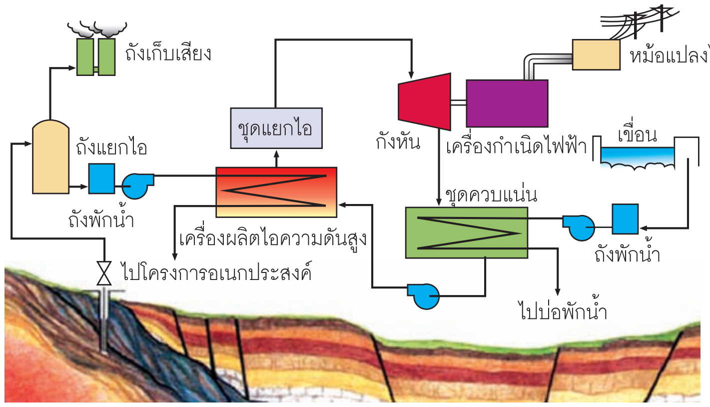
การแช่น้ำร้อนที่น้ำพุร้อนบ้านบ่อคลึง จังหวัดราชบุรี

geothermal electricity in Thailand การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย

ประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพเพียง 1 แห่ง คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง ตั้งอยู่ที่ตำบลม่อนปิ่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ติดกับบ่อน้ำพุร้อนฝาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดำเนินการสำรวจศักยภาพการพัฒนาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ อำเภอสันกำแพงและอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 เป็นต้นมา โดยได้รับความร่วมมือด้านวิชาการและผู้เชี่ยวชาญจากองค์การเพื่อการจัดการด้านพลังงานประเทศฝรั่งเศส ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 พบว่าน้ำร้อนจากหลุมเจาะระดับตื้นของแหล่งฝางมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2531 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้จัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบสองวงจร ขนาดกำลังผลิต 300 กิโลวัตต์ มาติดตั้งเป็นโรงไฟฟ้าสาธิตที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นแห่งแรก เป็นโรงไฟฟ้าระบบสองวงจร (ดู binary generation system) โรงไฟฟ้าใช้น้ำร้อนจากหลุมเจาะระดับตื้นที่มีอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มีปริมาณการไหล 16.5 ถึง 22 ลิตร/วินาที มาถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงาน กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ประมาณปีละ 1.2 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ถูกส่งเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อจ่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้า น้ำร้อนที่นำไปใช้ในโรงไฟฟ้า เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงานแล้ว อุณหภูมิจะลดลงเหลือ 77 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้ในการอบแห้ง หรือห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตรได้ น้ำอุ่นบางส่วนที่ปล่อยทิ้งจากกระบวนการเป็นน้ำสะอาดที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยตรง



แผนผังการทำงานของโครงการอเนกประสงค์ พลังงานความร้อนใต้พิภพฝางใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า พัฒนาเป็นห้องเย็น ห้องอบแห้ง และใช้เพื่อการท่องเที่ยว



ผังการทำงานโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง ระบบสองวงจร ขนาด 300 กิโลวัตต์


โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

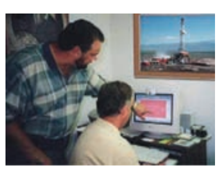

น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่

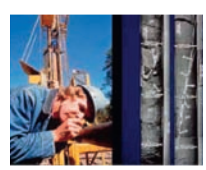

ห้องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพ น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่

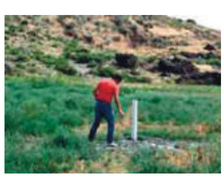
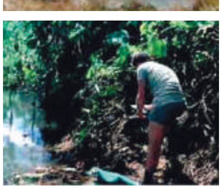

ห้องทำความเย็นพลังงานความร้อนใต้พิภพ น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่

geothermal exploring and drilling การสำรวจและการเจาะพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การสำรวจทั้งบนผิวดินและใต้ผิวดินเพื่อนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาใช้ประโยชน์ ให้ข้อมูลขนาดของแหล่งกักเก็บความร้อน อุณหภูมิ ความดัน ปริมาณน้ำร้อนและไอน้ำ และระดับความลึก ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจธรณีวิทยา (ดู geological exploration) การสำรวจธรณีฟิสิกส์ (ดู geophysical exploration) และการเจาะสำรวจเพื่อตรวจสอบสมมติฐานทางธรณีวิทยา ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของชั้นหิน ศึกษาสมบัติของของไหล และแหล่งกักเก็บความร้อน วัดค่าอัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพ และอัตราการถ่ายเทความร้อน (ดู geothermal gradient and heat flow) เพื่อประเมินความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจก่อนตัดสินใจลงทุนเพื่อผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป



นักธรณีวิทยาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม



การเจาะสำรวจและการศึกษาตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจ

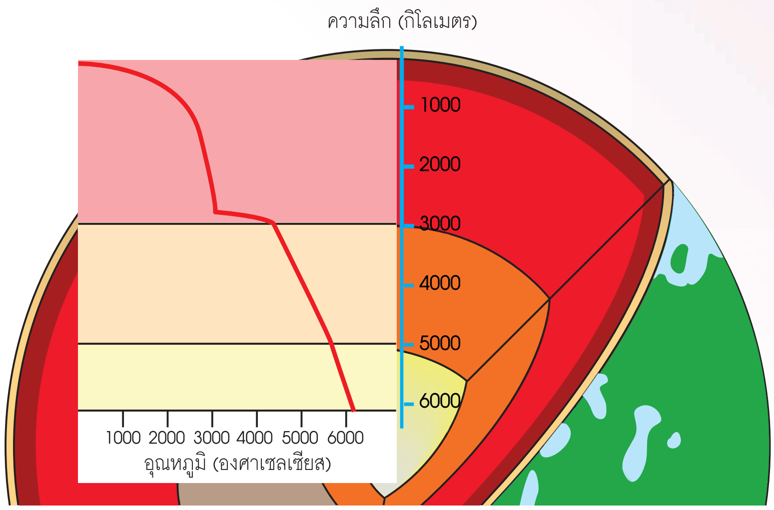




การสำรวจสมบัติทางไฟฟ้า ทางแม่เหล็ก ทางคลื่นสั่นสะเทือน จากการสำรวจภาคสนาม

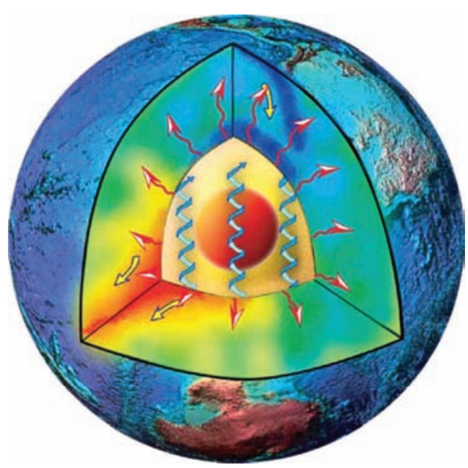

การเจาะหลุมผลิต

geothermal gradient and heat flow อัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพ และอัตราการถ่ายเทความร้อน

อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามระดับความลึกของชั้นเปลือกโลก และฟลักซ์ความร้อน (heat flux) ต่อหน่วยพื้นที่ที่ถ่ายเทจากแกนโลกชั้นในมายังผิวโลกในหนึ่งหน่วยเวลา เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลือกโลก (crust) ต่ำกว่าอุณหภูมิของแกนโลกชั้นใน (inner core) ซึ่งอาจมีอุณหภูมิสูงกว่า 6,000 องศาเซลเซียส ความร้อนจากแกนโลกชั้นในจึงถ่ายเทผ่านเนื้อโลก (mantle convection cells) มาที่ผิวโลกอยู่ตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยของอัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพประมาณ 25 องศาเซลเซียสต่อความลึก 1 กิโลเมตรจากระดับผิวโลก อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่า 65 และ 101 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร (mW/m^2) ในบริเวณภาคพื้นทวีป และภาคพื้นสมุทรตามลำดับ การถ่ายเทความร้อนอาศัยกระบวนการพาความร้อนของเนื้อโลกซึ่งเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง เมื่อเนื้อโลกถูกทำให้ร้อนจะทำให้ความหนาแน่นลดลง และเคลื่อนตัวขึ้นสู่ด้านบนขณะเดียวกันเนื้อโลกส่วนที่เย็นซึ่งมีความหนาแน่นสูงและหนักกว่าจะจมลงสู่ด้านล่าง กระบวนการพาความร้อนของเนื้อโลกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดเวลาตราบเท่าที่แกนโลกชั้นในยังคงร้อนอยู่ การสำรวจธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ (ดู geological exploration และ geophysical exploration) ทำให้ทราบค่าอัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพและอัตราการถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ที่สำรวจ และสามารถประเมินความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ในการเจาะหลุม เพื่อดึงพลังงานความร้อนใต้พิภพขึ้นมาใช้



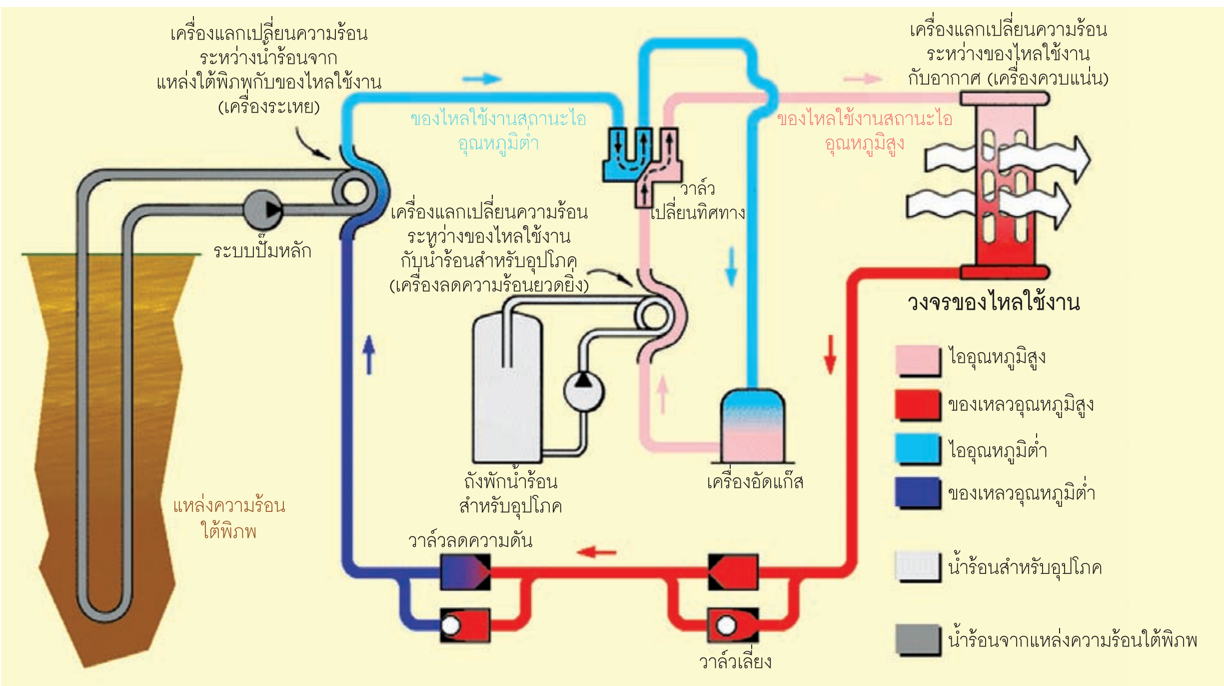
อัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพ



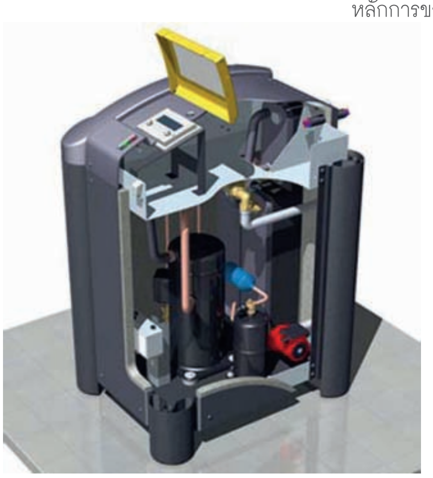
การเคลื่อนที่ของฟลักซ์ความร้อนขึ้นมายังพื้นผิวโลก

geothermal heat pump ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ

อุปกรณ์ในการถ่ายเทความร้อนจากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังที่ที่มีอุณหภูมิสูง โดยอาศัยแหล่งความร้อนจากใต้พิภพที่มีอุณหภูมิไม่สูงนัก (ดู geothermal reservoirs) ระบบปั๊มความร้อนใช้หลักการเดียวกับระบบทำความเย็น (refrigeration) สามารถเปลี่ยนจากระบบหนึ่งไปเป็นอีกระบบหนึ่งได้ โดยใช้วาล์วเปลี่ยนทิศทาง (reversing valve) ในระบบปั๊มความร้อน น้ำร้อนหรือไอน้ำจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ (heat source) จะผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (เครื่องระเหย) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลใช้งาน (working fluid) จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นกลายเป็นไอ และถูกส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (เครื่องควบแน่น) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งรับความร้อนภายนอก (heat sink) เช่น อากาศ และเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวอีกครั้ง อากาศที่รับความร้อนจากของไหลใช้งานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวอย่างการใช้งาน คือการทำให้อากาศภายในบ้านอบอุ่นขึ้นในฤดูหนาว



หลักการของปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ



ภาพตัดขวางปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การติดตั้งต้นแบบปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ
และการติดตั้งเชิงพาณิชย์

geothermal power plant โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ

โรงงานที่ประกอบด้วยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนใต้พิภพ โดยใช้กังหันไอน้ำแปลงพลังงานความร้อนในน้ำร้อนหรือไอน้ำจากแหล่งความร้อนใต้พิภพเป็นกระแสไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้าระบบไอน้ำแห้ง (ดู dry steam system) ระบบไอน้ำเปียก (ดู hydrothermal system) ระบบสองวงจร (ดู binary generation system, binary cycle system) ระบบแฟลชคู่ (ดู double flash system) และระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ (ดู enhanced geothermal system) โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพจะมีประสิทธิภาพต่ำเพียงประมาณร้อยละ 10-23 เนื่องจากไอน้ำทำงานที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินหรือปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิง

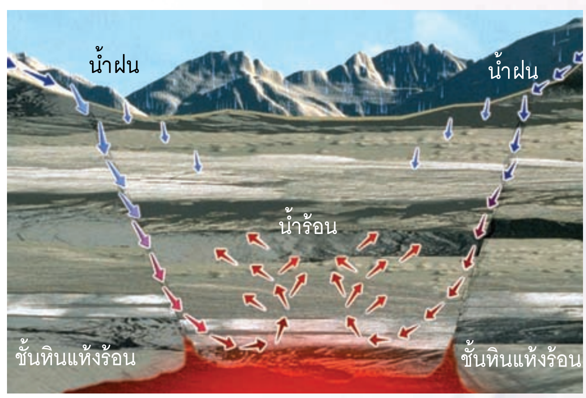
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบไอน้ำแห้ง เนสฮาเวลเลียร์ (Nesjavellir) ประเทศไอซ์แลนด์กำลังการผลิตติดตั้ง 120 เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพสวาร์เซนกิ (Svartsengi) ประเทศไอซ์แลนด์ กำลังการผลิตติดตั้ง 76.5 เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบสองวงจร อำเภอฝาง กำลังการผลิตติดตั้ง 300 กิโลวัตต์

geothermal reservoirs แหล่งความร้อนใต้พิภพ

กลุ่มชั้นหินใต้ผิวโลกที่สามารถพัฒนาขึ้นเป็นแหล่งความร้อนใต้พิภพได้ โดยอาศัยการพาความร้อน (heat convection) จากการใช้ของไหลใช้งาน เช่น น้ำนำความร้อนขึ้นมาใช้งานบนผิวโลก เพื่อให้ความร้อนโดยตรงหรือผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งความร้อนใต้พิภพแบ่งตามอุณหภูมิได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1. แหล่งความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิสูง มีอุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส เกิดที่แผ่นเปลือกโลกธรณีภาคชั้นนอก (lithosphere) หรือบริเวณภูเขาไฟมีพลัง (active volcanism) เช่น ชั้นหินแห้งร้อน (ดู dry rock, hot dry rock) แหล่งความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิสูงมักนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยฉีดน้ำลงไปพาความร้อนขึ้นมา 2. แหล่งความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิปานกลาง มีอุณหภูมิระหว่าง 100-150 องศาเซลเซียส 3. แหล่งความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิต่ำ มีอุณหภูมิ 30-100 องศาเซลเซียส แหล่งความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิต่ำพบในบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำ (ดู aquifer) มักนำไปใช้ในระบบให้ความร้อนแก่ชุมชนและอุตสาหกรรม 4. แหล่งความร้อนใต้พิภพที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส มักนำไปใช้ให้ความร้อนแก่ที่พักอาศัยในฤดูหนาว

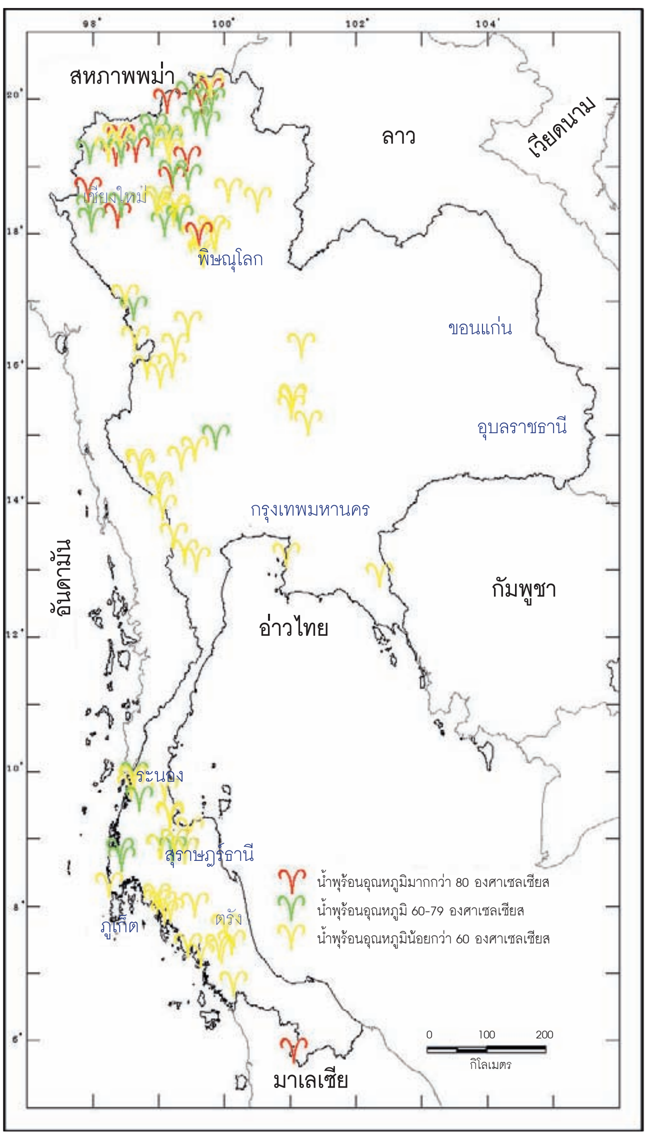


การเกิดแหล่งความร้อนใต้พิภพ

แหล่งความร้อนใต้พิภพยังอาจแบ่งเป็น แหล่งความร้อนใต้พิภพที่อยู่บนพื้นผิวโลก (surface geothermal reservoirs) เช่น น้ำพุร้อน (ดู spring, hot spring) และแหล่งความร้อนใต้พิภพที่อยู่ใต้พื้นผิวโลกซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น ชั้นหินแห้ง ชั้นหินแห้งร้อน ชั้นหินอุ้มน้ำ อาจเรียกรวมว่า แหล่งความร้อนใต้พิภพใต้พื้นผิวโลก (underground geothermal reservoirs)

geothermal resources in Thailand แหล่งความร้อนใต้พิภพของประเทศไทย

ในประเทศไทยพบแหล่งน้ำพุร้อน 112 แหล่ง กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคใต้ วัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินอยู่ในช่วง 40-100 องศาเซลเซียส แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยแบ่งตามอุณหภูมิแหล่งกักเก็บและปริมาณน้ำร้อนได้ 4 ประเภท ได้แก่ แหล่งที่มีศักยภาพพลังงานสูงมีอุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส และมีลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาที่สามารถกักเก็บน้ำร้อนได้มากในระดับที่ไม่ลึกมากนัก เช่น แหล่งสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งแม่จัน จังหวัดเชียงราย แหล่งแม่จอก จังหวัดแพร่ เป็นต้น แหล่งที่มีศักยภาพพลังงานปานกลางมีอุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส ลักษณะโครงสร้างกักเก็บน้ำร้อนได้มาก เช่น แหล่งโป่งกุ่ม จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งโป่งนาคำ จังหวัดเชียงราย แหล่งโป่งสัก จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นต้น แหล่งที่มีศักยภาพพลังงานปานกลาง ลักษณะโครงสร้างกักเก็บน้ำร้อนได้น้อย เช่น แหล่งป่าแป๋ จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งจังหวัดแม่ฮ่องสอน แหล่งแจ้ซ้อน จังหวัดลำปาง เป็นต้น และแหล่งที่มีศักยภาพพลังงานต่ำลักษณะโครงสร้างกักเก็บน้ำร้อนได้น้อย เช่น แหล่งปิงโค้ง จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งโป่งปู่เฟือง จังหวัดเชียงราย แหล่งแม่นะ จังหวัดแม่ฮ่องสอน แหล่งโป่งน้ำร้อน จังหวัดลำปาง เป็นต้น



แผนที่แหล่งน้ำพุร้อนของประเทศไทย

น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน จังหวัดลำปาง

น้ำพุร้อนสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

น้ำพุร้อนโป่งเดือด/ป่าแป๋ จังหวัดเชียงใหม่

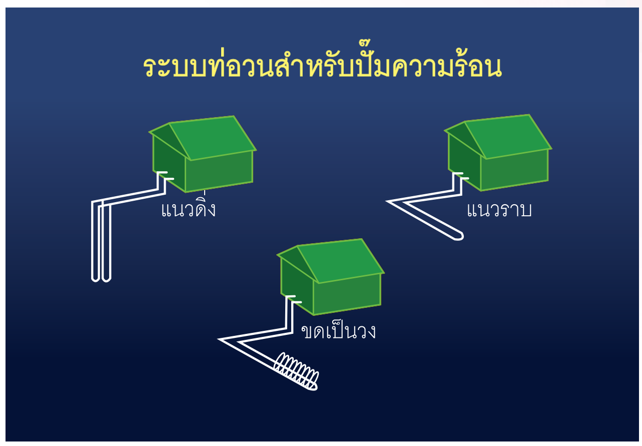
น้ำพุร้อนรัตนโกสัย (ท่าสะท้อน)
จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ground loop ระบบท่อวน

ระบบท่อที่ฝังอยู่ในพื้นดินที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลใช้งาน (working fluid) กับแหล่งความร้อนใต้พิภพ ของไหลใช้งานอาจเป็นน้ำร้อน หรือไอน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์โดยตรง หรือเป็นสื่อนำความร้อนที่ไหลหมุนเวียนอยู่ในระบบ ซึ่งสามารถนำความร้อนนั้นไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้

ระบบท่อวนสำหรับปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ ทำจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE - high density polyethylene)

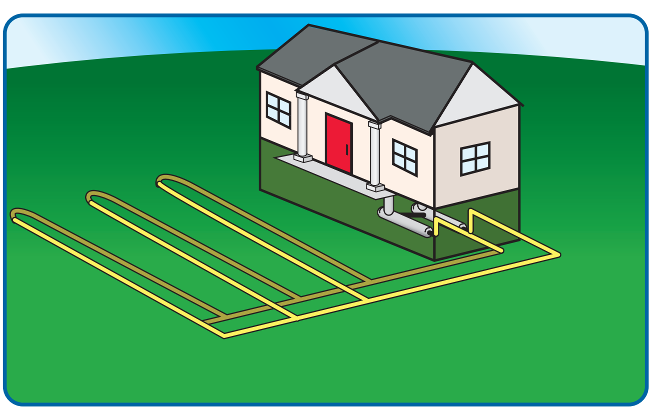
การวางระบบท่อวนสำหรับปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ บริเวณที่พักอาศัย



ระบบท่อวนแบบต่างๆ สำหรับปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ

horizontal ground loop ระบบท่อวนแนวราบ

รูปแบบการวางท่อของระบบปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรปิดที่อยู่ในแนวราบ (ดู ground loop) ทำให้อากาศภายในบ้านอบอุ่นขึ้นในฤดูหนาว แหล่งน้ำจากในบ้านหรืออาคารหมุนเวียนมารับความร้อนจากแหล่งความร้อนใต้พิภพ และเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำร้อนหรือไอน้ำกลับเข้าสู่อาคาร ระบบท่อวนแนวราบเหมาะกับการติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่กว้างและมีแหล่งความร้อนอยู่ระดับใกล้ผิวดิน

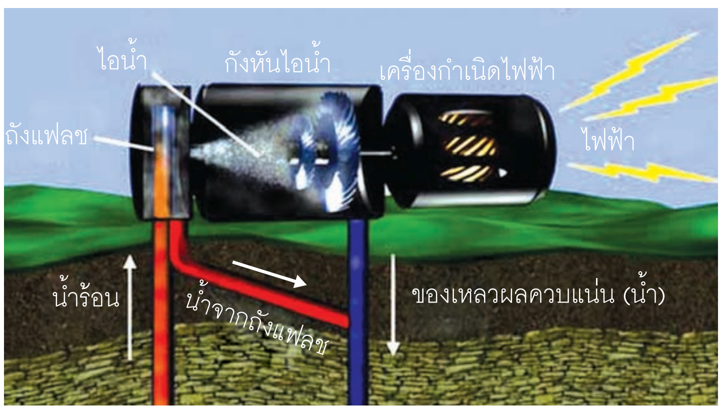


ระบบท่อวนแนวราบ

การวางระบบท่อวนแนวราบ บริเวณที่พักอาศัย

hydrothermal system ระบบไอน้ำเปียก ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ไอน้ำเปียกจากแหล่งความร้อนใต้พิภพที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤต (ดู critical point) ก่อนที่ไอน้ำเปียกจะถูกป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำ จะต้องแยกหยดน้ำออก เพื่อลดการสะสมของตะกอนแร่ธาตุในไอน้ำบนใบพัดกังหันไอน้ำ ไอน้ำที่ใช้หมุนกังหันในโรงไฟฟ้าแบบนี้ควรมีอุณหภูมิประมาณ 155-165 องศาเซลเซียส และมีความดันอยู่ในช่วง 0.5-0.6 เมกะปาสกาล โดยทั่วไปการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแบบนี้จะต้องใช้ไอน้ำประมาณ 8 กิโลกรัม ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง



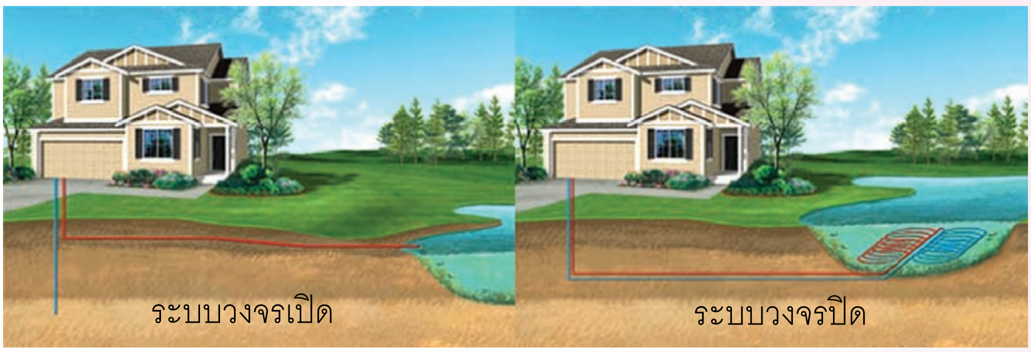
ภาพจำลองหลักการของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพระบบไอน้ำเปียก, ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบไอน้ำเปียก ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ เฮลลิไชไธ (Hellisheiði) ประเทศไอซ์แลนด์
กำลังการผลิตติดตั้ง 303 เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ระบบไอน้ำเปียก ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ วายัง วินดู (Wayang Windu) ประเทศอินโดนีเซีย
กำลังการผลิตติดตั้ง 227 เมกะวัตต์

open-loop geothermal heat pump system ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรเปิด

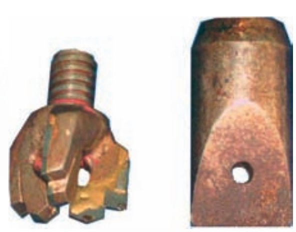
อุปกรณ์ในการถ่ายเทความร้อนจากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังที่ที่มีอุณหภูมิสูง โดยอาศัยแหล่งความร้อนจากใต้พิภพในรูปของน้ำร้อนหรือไอน้ำ ระบบปั๊มความร้อนมีหลักการทำงาน คือ เมื่อน้ำร้อนหรือไอน้ำจากแหล่งความร้อนใต้พิภพถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลใช้งาน (working fluid) แล้ว จะถูกส่งกลับไปยังแหล่งความร้อนต้นกำเนิดโดยไม่มีการนำมาหมุนเวียนซ้ำอีก ซึ่งต่างจากระบบปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรปิด (closed-loop geothermal heat pump) ที่น้ำร้อนหรือไอน้ำจะหมุนเวียนอยู่ในระบบอย่างต่อเนื่อง เหมาะกับการใช้งานเมื่อแหล่งความร้อนสะอาดและมีปริมาณมากพอ ใช้ทำให้อากาศภายในบ้านอบอุ่นขึ้นในฤดูหนาว



แนวคิดการวางระบบท่อน้ำร้อน-น้ำเย็นแบบวงจรเปิด และแบบวงจรปิดสำหรับปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ

percussion drilling system ระบบการเจาะแบบกระแทก

การเจาะลงไปใต้ผิวดินโดยใช้แรงกระแทกของหัวเจาะกระแทก (chopping bit) ซึ่งมีขนาดใหญ่และหนัก อุปกรณ์ที่ใช้ในการเจาะประกอบด้วย ปลอกกันดิน (casing) ที่ต้องตอกลงไปในดินก่อน ก้านเจาะ (drill rod) แบบท่อกลวงต่อกับหัวเจาะแบบกระแทก ลวดสลิงร้อยเข้ากับหัวเจาะทำหน้าที่ในการยกหัวเจาะขึ้นลง เพื่อกระแทกดิน หิน ให้แตกออก การบิดตัวของลวดสลิงทำให้หัวเจาะหมุน คว้านตำแหน่งที่เจาะเป็นรูกลม เศษหิน เศษดินที่แตกออก จะถูกนำขึ้นมาโดยใช้ลมเป่า (air compressor) หรือปั๊มโคลนเจาะที่มีกำลังพอที่โคลนเจาะจะดึงเศษดินที่ระดับก้นหลุมขึ้นมายังผิวดิน วิธีการเจาะแบบกระแทกเหมาะกับการเจาะหินและดินแข็ง



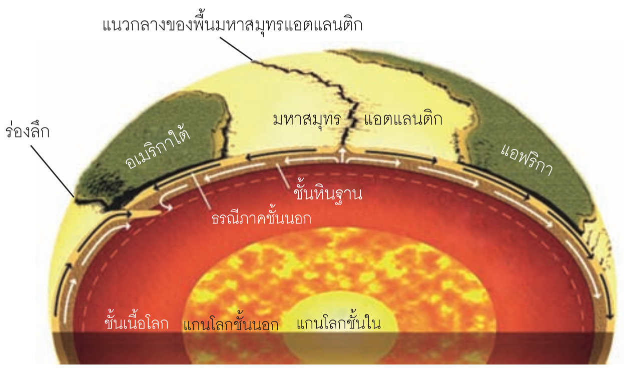
หัวเจาะกระแทก

ปลอกกันดิน

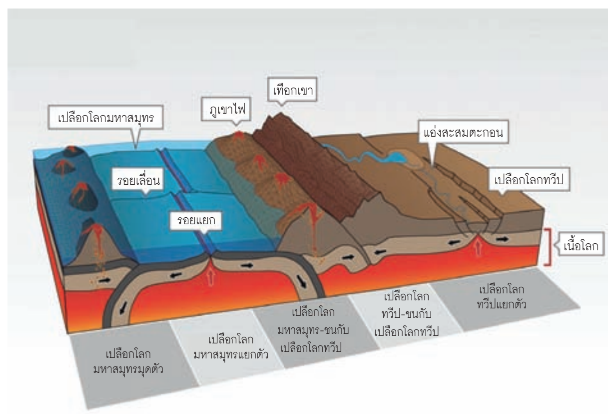
แท่นเจาะแบบกระแทกเคลื่อนที่ได้ ติดตั้งบนรถบรรทุก

plates tectonic ธรณีภาคแปรสัณฐาน

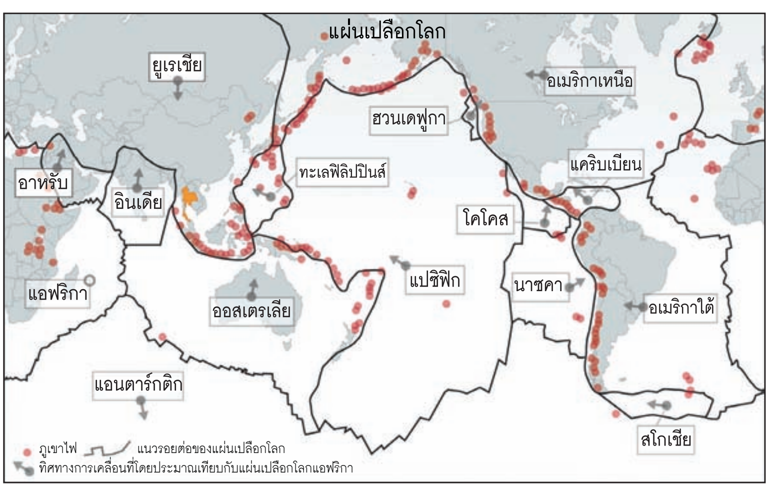
ทฤษฎีธรณีวิทยาที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลกอันเป็นผลเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (plates) ที่ประกอบกันขึ้นเป็นผิวโลก แผ่นเปลือกโลกเหล่านี้อาจเรียกว่าธรณีภาคชั้นนอก (lithosphere) ที่ประกอบด้วยเปลือกโลก (crust) และชั้นเนื้อโลกส่วนบน (upper mantle) วางตัวอยู่บนชั้นหินฐาน (asthenosphere) ซึ่งประกอบด้วยหินหนืดร้อน (magma) สามารถเลื่อนไหลได้คล้ายของเหลวด้วยความเร็วระดับเซนติเมตรต่อปี การเลื่อนไหลของหินหนืดร้อนในชั้นหินฐานเป็นสาเหตุให้แผ่นเปลือกโลกเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นไปได้ใน 3 ลักษณะ ได้แก่ การเคลื่อนที่แยกออกจากกัน (divergent boundary) เกิดเป็นศูนย์กลางรอยแยก (ดู spreading center) การมุดตัวเข้าหากัน (convergent boundary) เกิดเป็นเขตมุดตัว (ดู subduction zone) และการเคลื่อนผ่านกัน (transform boundary) แผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิดมักเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกเหล่านี้



ภาพตัดขวางแสดงธรณีสัณฐานของโลก



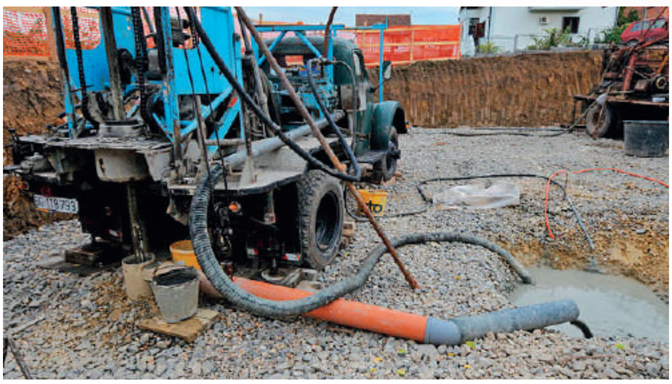
ภาพตัดขวางแสดงการเคลื่อนที่ของธรณีภาคชั้นนอก ในลักษณะแยกออกจากกัน การมุดตัวเข้าหากันและการเคลื่อนผ่านกันของภาคพื้นทวีปและภาคพื้นสมุทรตามทฤษฎีธรณีภาคแปรสัณฐาน



ภาพแสดงธรณีภาคชั้นนอกตามทฤษฎีธรณีภาคแปรสัณฐาน (ดู plates tectonic) ประกอบด้วย แผ่นเปลือกโลกหลัก (primary plates) ที่ครอบคลุมพื้นที่ทวีปหลักจำนวน 7 แผ่น ได้แก่ แผ่นแอฟริกา (African Plate) แผ่นแอนตาร์กติก (Antarctic Plate) แผ่นออสเตรเลีย (Australian Plate) แผ่นยูเรเซีย (Eurasian Plate) แผ่นอเมริกาเหนือ (North American Plate) แผ่นอเมริกาใต้ (South American Plate) และแผ่นแปซิฟิก (Pacific Plate) กับแผ่นเปลือกโลกรอง (secondary plates) ซึ่งมีขนาดเล็กจำนวน 8 แผ่น ได้แก่ แผ่นอาหรับ (Arabian Plate) แผ่นอินเดีย (Indian Plate) แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Philippine Sea Plate) แผ่นฮวนเดฟูกา (Juan de Fuca Plate) แผ่นแคริบเบียน (Caribbean Plate) แผ่นโคโคส (Cocos Plate) แผ่นนาซคา (Nazca Plate) และแผ่นสโกเชีย (Scotia Plate) แผ่นเปลือกโลกรองครอบคลุมเฉพาะภาคพื้นสมุทร ยกเว้นแผ่นอาหรับและแผ่นอินเดีย ที่ครอบคลุมภาคพื้นทวีปด้วย

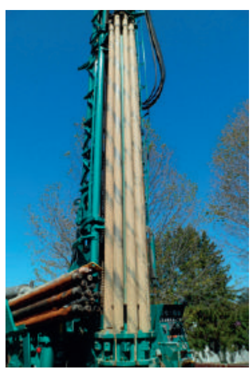
rotary drilling system ระบบการเจาะแบบหมุน

การเจาะลงไปใต้ผิวดินโดยใช้การหมุน และแรงกดของหัวเจาะ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเจาะหลุมประกอบด้วยก้านเจาะแบบกลวง (hollow drill rod) ปลายท่อทั้งสองข้างเป็นเกลียว ก้านเจาะท่อแรกด้านหนึ่งหมุนเกลียวเข้ากับหัวเจาะ (bit) ซึ่งอาจจะเป็นหัวเจาะตัด (cutting bit) หรือหัวเจาะเก็บตัวอย่าง (coring bit) หัวเจาะทำจากเพชร หรือทังสเตนคาร์ไบด์ (tungsten carbide) ด้านบนยึดอยู่กับก้านเจาะนำ (kelly) ขณะเจาะก้านเจาะท่อแรกที่ติดหัวเจาะจะหมุนไปกับหัวเจาะ และกดหัวเจาะในเวลาเดียวกัน น้ำหนักกดทำให้หินหรือดินเม็ดหยาบแตกออก และหัวเจาะจะเบียดเศษหินหรือเศษดินเม็ดหยาบขนาดใหญ่ออกด้านข้าง ขณะเจาะต้องปั๊มของเหลว เช่น น้ำหรือโคลนเจาะ (drilling mud) เข้าไปยังก้านเจาะและพ่นออกทางรูที่อยู่บนหัวเจาะ ของเหลวเหล่านี้นอกจากทำหน้าที่หล่อลื่นและลดความร้อนที่เกิดขึ้นในหัวเจาะจากการเสียดสีกับหินแล้ว ยังช่วยนำเศษดินหรือหินขนาดเล็กขึ้นจากหลุมโดยผ่านขึ้นมาตามช่องว่างระหว่างผนังของหลุมสำรวจและก้านเจาะ เมื่อหัวเจาะเจาะลึกลงจนปลายก้านเจาะอยู่ใกล้กับระดับพื้นแท่นเจาะ เกลียวปลายก้านเจาะที่ติดกับท่อนำเจาะจะถูกคลายออก เพื่อนำก้านเจาะอันถัดไปมาหมุนเกลียวต่อกับก้านเจาะอันแรกทำให้ความยาวของก้านเจาะเพิ่มขึ้นทีละท่อจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ



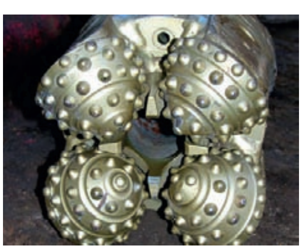
แท่นเจาะแบบหมุนเคลื่อนที่ได้

หัวเก็บตัวอย่าง



ก้านเจาะพร้อมใช้
ที่แขวนอยู่กับปั้นจั่น

หัวเจาะ

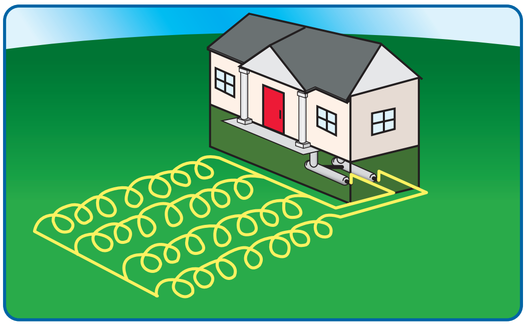


หัวเจาะเก็บตัวอย่าง

ก้านเจาะ

slinky ground loop ระบบท่อวนแบบขดเป็นวง

ระบบท่อวน (ดู ground loop) แนวราบอีกลักษณะหนึ่งที่ได้รับการออกแบบให้ท่อขดเป็นวง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อากาศภายในบ้านอบอุ่นขึ้นในฤดูหนาว เหมาะกับการติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่แคบ

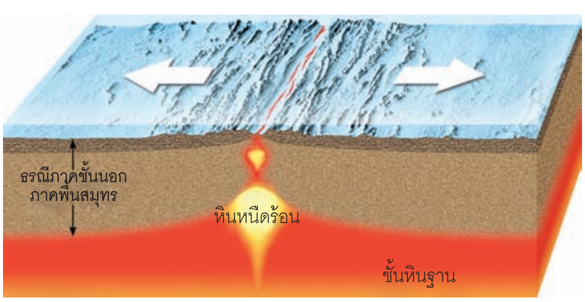

ระบบท่อวนแบบขดเป็นวง


การวางระบบท่อวนแบบขดเป็นวง บริเวณที่พักอาศัย ในรัฐไอดาโฮ ประเทศสหรัฐอเมริกา

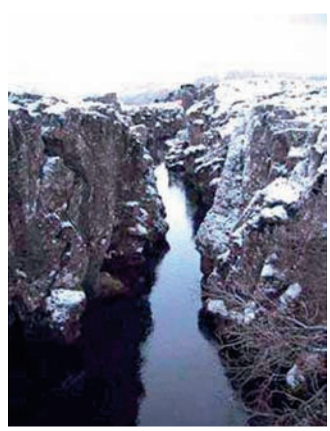
spreading center ศูนย์กลางรอยแยก

รอยแยกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะแยกออกจากกัน (divergent boundary) บริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกที่อยู่ในทะเลตามทฤษฎีธรณีภาคแปรสัณฐาน (ดู plates tectonic) แผ่นเปลือกโลกที่แยกออกจากกันเกิดเป็นรอยแยกในธรณีภาคชั้นนอก (lithosphere) ส่งผลให้หินหนืดร้อน (magma) จากชั้นหินฐาน (asthenosphere) สามารถเลื่อนไหลขึ้นมาตามรอยแยกสู่ธรณีภาคชั้นนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า หินหนืดร้อนจะปลดปล่อยพลังงานและเย็นตัวลงเกิดเป็นแนวภูเขาไฟหินบะซอลต์ (basalt) ใต้ทะเลที่มีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 ตัวอย่างของศูนย์กลางรอยแยก เช่น บริเวณแนวกลางของพื้นมหาสมุทรแอตแลนติก (Mid-Atlantic ridge) เกาะไอซ์แลนด์ (Iceland) หรือรอยแยกบริเวณแผ่นแอฟริกา เป็นต้น


ศูนย์กลางรอยแยกระดับน้ำทะเลอันเป็นผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะแยกออกจากกันที่เกาะไอซ์แลนด์



การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะแยกออกจากกัน


ภาพแสดงศูนย์กลางรอยแยกบนเกาะไอซ์แลนด์ เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะแยกออกจากกัน บริเวณแนวกลางของพื้นมหาสมุทรแอตแลนติก

spring, hot spring น้ำพุ, น้ำพุร้อน

น้ำที่ไหลออกมาหรือพุ่งขึ้นจากพื้นดินตามธรรมชาติ เกิดขึ้นจากแรงดันของน้ำใต้ชั้นหินที่กักเก็บน้ำในเปลือกโลกชั้นนอก (crust) ด้วยอัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน ตั้งแต่น้ำซึมไปจนถึงพุ่งเป็นกระแสน้ำไหลแรง เช่น แหล่งโอเอซิส (oasis) ในทะเลทรายเป็นน้ำสะอาด เนื่องจากไหลผ่านชั้นหินหลายชั้น ก่อนที่จะออกมาสู่ผิวดิน มีแร่ธาตุละลายอยู่หลายชนิด ชั้นน้ำใต้ดินบริเวณภูเขาไฟได้รับความร้อนจากหินหนืดร้อน (magma) ใต้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นน้ำพุร้อน อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำพุร้อนขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อัตราการไหลเวียนของน้ำในชั้นใต้ดิน ปริมาณความร้อนในชั้นใต้ดินและปริมาณน้ำผิวดินที่มาผสมกับน้ำร้อนใต้ดิน น้ำพุร้อนแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ 1. น้ำพุร้อนเกเซอร์ (geyser) เป็นน้ำพุร้อนขนาดใหญ่มีน้ำร้อนและไอน้ำพุ่งขึ้นมาเป็นระยะ ๆ ที่ระดับความสูงต่างกัน 2. น้ำพุร้อน (hot spring) หรือบ่อน้ำร้อน (hot pool) เป็นแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิตั้งแต่อุ่นจนถึงเดือด 3. บ่อไอเดือดหรือพุแก๊ส (fumarole) เป็นบ่อที่มีเฉพาะไอน้ำพุ่งขึ้นมา พบมากบริเวณภูเขาไฟ 4. บ่อโคลนเดือดหรือพุโคลน (mud pot) เกิดจากไอน้ำใต้พื้นดินโคลนเคลื่อนที่ดันให้โคลนพุ่งขึ้นมา น้ำพุร้อนแบ่งตามแร่ธาตุที่มี ได้แก่ 1. น้ำพุร้อนทั่วไป (simple spring) มีอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยแร่ธาตุน้อยกว่า 1 กรัมต่อลิตร 2. น้ำพุร้อนคาร์บอเนต (carbonate spring) มีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยแร่ธาตุน้อยกว่า 1 กรัมต่อลิตร แต่มีคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบสูงกว่าน้ำพุร้อนทั่วไป 3. น้ำพุร้อนเกลือหรือน้ำพุร้อนน้ำเค็ม (salt spring) คือ น้ำพุร้อนทั่วไปที่ประกอบด้วยแร่ธาตุมากกว่า 1 กรัมต่อลิตร 4. น้ำพุร้อนแอลคาไล (alkaline spring) คือ น้ำพุร้อนเกลือที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงกว่า 8.5

บ่อน้ำพุร้อนริมทางระหว่างทะเลสาบเยลโลว์สโตน (Yellowstone Lake) กับทะเลสาบซิลแวน (Sylvan Lake) ประเทศสหรัฐอเมริกา

บ่อน้ำพุร้อนโอลด์เฟธฟูล (Old Faithful Geyser) บริเวณพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยหินลาวา ภายในอุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตน (Yellowstone National Park) ประเทศสหรัฐอเมริกา

น้ำพุร้อนโป่งเดือดป่าแป๋ อุทยานแห่งชาติห้วยน้ำดัง จังหวัดเชียงใหม่

บ่อน้ำพุร้อนสตร็อกกัวร์ (Strokkur) อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะไอซ์แลนด์ ขณะหยุดนิ่ง (ซ้าย) และทุก 4-8 นาที จะมีน้ำพุพุ่งสูง 15-20 เมตร บางครั้งพุ่งสูงถึง 40 เมตร (ขวา)

บ่อน้ำพุร้อนแกรนด์พริสแมติก (Grand Prismatic Spring) บริเวณแอ่งน้ำพุร้อนมิดเวย์ (Midway Geyser Basin) ภายในอุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตน (Yellowstone National Park) ประเทศสหรัฐอเมริกา

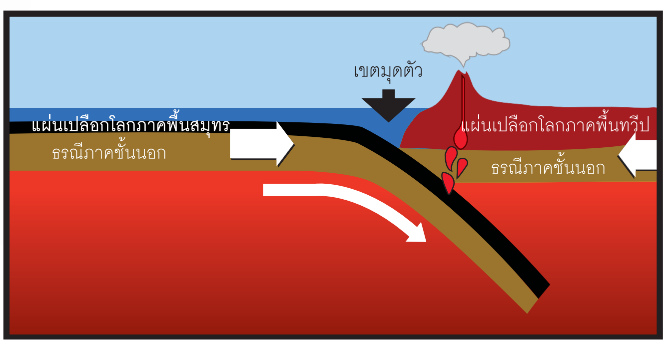
subduction zone เขตมุดตัว

บริเวณที่มีการยุบตัวของพื้นผิวโลกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะมุดตัวเข้าหากัน (convergent boundary) ตามทฤษฎีธรณีภาคแปรสัณฐาน (ดู plates tectonic) โดยแผ่นเปลือกโลกแผ่นหนึ่งมุดตัวเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งและจมลงสู่ชั้นหินฐาน (asthenosphere) ที่ประกอบไปด้วยหินหนืดร้อน (magma) ด้วยความเร็วระดับเซนติเมตรต่อปี ความร้อนจากหินหนืดส่งผลให้ชั้นเนื้อโลก (mantle) บางส่วนเกิดการหลอมเหลวกลายเป็นหินหนืดสะสมในชั้นหินฐาน ทำให้มีพลังงานสูงขึ้น และปลดปล่อยพลังงานโดยการระเบิดออกเป็นภูเขาไฟ การเกิดของเขตมุดตัวสามารถจำแนกตามลักษณะของแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวเข้าหากัน ได้แก่ แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นสมุทรมุดตัวเข้าหาแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีป (oceanic-continental convergence) เช่น การเกิดเทือกเขาแอนดีส (Andes) ในทวีปอเมริกาใต้ หรือคาสเคด เรนจ์ (Cascade Range) ในภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกา แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นสมุทรมุดตัวเข้าหาแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นสมุทร (oceanic-oceanic convergence) เช่น เกาะเกิดใหม่แนวภูเขาไฟ (volcanic island arcs) และแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปมุดตัวเข้าหาแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีป (continental-continental convergence) เช่น การเกิดเทือกเขาหิมาลัย (the Himalayas) จากแผ่นออสเตรเลีย-อินเดียมุดตัวเข้าหาแผ่นยูเรเซีย เทือกเขาแอลป์ (Alps) เทือกเขาอูราล (Urals) และเทือกเขาแอปพาเลเชีย (Appalachia) เป็นต้น

เขตมุดตัวแบบภาคพื้นสมุทร-ภาคพื้นทวีป บริเวณเทือกเขาแอนดีสในประเทศชิลี

ภูเขาไฟระเบิดที่เกิดขึ้นในบริเวณเขตมุดตัวแบบภาคพื้นสมุทร-ภาคพื้นสมุทร บนเกาะไวท์ (White Island) ประเทศนิวซีแลนด์

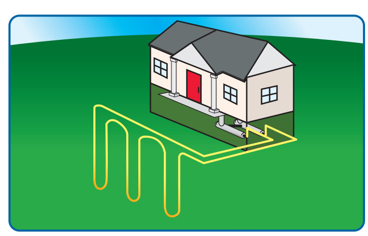
เขตมุดตัวแบบภาคพื้นทวีป-ภาคพื้นทวีป บริเวณยอดเขามาคาลู (Makalu, 8,463 เมตร) ในเทือกเขาหิมาลัย



ภาพแสดงการเกิดเขตมุดตัว ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกในลักษณะเข้าหากัน

vertical ground loop ระบบท่อวนแนวดิ่ง

รูปแบบการวางท่อของระบบปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรปิด ที่อยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับพื้นดิน (ดู ground loop) ใช้ทำให้อากาศภายในบ้านอบอุ่นขึ้นในฤดูหนาว แหล่งน้ำจากในบ้านหรืออาคารหมุนเวียนมารับความร้อนจากแหล่งความร้อนใต้พิภพ และเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำร้อนหรือไอน้ำกลับเข้าสู่อาคาร ระบบท่อวนแนวดิ่งเหมาะกับการติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่แคบและมีแหล่งความร้อนอยู่ลึกจากผิวดินไป



ระบบท่อวนแนวดิ่ง

HYDRO ELECTRICITY

ไฟฟ้าพลังน้ำ

พลังงานยิ่งใหญ่มหาศาล

พลังงานในน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำไหลหรือแอ่งน้ำในที่สูง เราก็สามารถกักเก็บและบริหารจัดการการระบายน้ำ เพื่อใช้ในการชลประทาน การเกษตร หรือแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ จะใช้งานให้เกิดประโยชน์ร่วมกันทั้งสองด้านก็ได้ เขื่อนหรือฝายมีหลายรูปแบบหลายขนาด กังหันน้ำ โรงไฟฟ้าพลังน้ำก็เช่นเดียวกัน และมีเทคโนโลยีหลากหลายให้เลือกใช้เพื่อรักษาสมดุลระหว่างการผลิตพลังงาน การเกษตร สิ่งแวดล้อม และเป็นประโยชน์แก่ชุมชน

ไฟฟ้าพลังน้ำ

Mind Map

Hydro Electricity
ไฟฟ้าพลังน้ำ

- ขนาดโรงไฟฟ้า
  - large hydroelectric power plant
    โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่
  - small/mini hydroelectric power plant
    โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก
  - micro hydroelectric power plant
    โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋ว
- hydropower
  พลังน้ำ
- weir
  ฝาย
  - rubber weir
    ฝายยาง
- spillway
  ทางน้ำล้น
- small hydroelectric power plant map in Thailand
  แผนที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศไทย
- dam
  เขื่อน, ทำนบ
  - buttress dam
    เขื่อนกลวง, เขื่อนครีบ
  - concrete dam
    เขื่อนคอนกรีต
  - earth dam, earth-fill dam
    เขื่อนดิน
  - rock fill dam
    เขื่อนหินทิ้ง

- hydroelectric power plant configurations
  องค์ประกอบโรงไฟฟ้าพลังน้ำ
  - canal
    คลองส่งน้ำ
  - forebay, surge tank
    อ่างลดแรงดัน, ถังลดแรงดัน
  - headrace
    ระบบผันน้ำ
  - intake
    อาคารรับน้ำ
  - penstock
    ท่อส่งน้ำ
  - power house
    อาคารโรงไฟฟ้า
    - generator
      เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
    - governor
      เครื่องควบคุมความเร็วรอบ
    - control switchboard
      ตู้แผงและอุปกรณ์ควบคุม
    - water turbine
      เครื่องกังหันน้ำ
      - impulse turbine
        กังหันแบบแรงกระแทก
      - reaction turbine
        กังหันแบบแรงโต้
  - sand sluice
    ประตูระบายทราย
  - step-up substation, switch yard
    สถานีไฟฟ้าย่อยแปลงแรงดันสูง, ลานไกไฟฟ้า
  - trash rack
    ตะแกรงกันขยะ
  - tailrace
    ทางน้ำทิ้ง
  - transmission line
    สายส่งไฟฟ้า

- power plant types
  ประเภทโรงไฟฟ้า
  - pumped storage hydro plant
    โรงไฟฟ้าแบบสูบน้ำกลับ
  - regulating pond hydro plant
    โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก
  - reservoir hydro plant
    โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่
  - run-of-river hydro plant
    โรงไฟฟ้าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี

buttress dam เขื่อนกลวง, เขื่อนครีบ

เขื่อนกลวงมีโครงสร้างซึ่งรับแรงภายนอก เช่น แรงดันของน้ำที่กระทำต่อผนังกั้นน้ำที่เป็นแผ่นเรียบ หรือครีบ (buttress) ที่รับผนังกั้นน้ำ และถ่ายแรงไปยังฐานรากมีลักษณะเป็นรูปแผ่นคอนกรีต และมีค้ำยันด้านหลังมักจะเป็นเขื่อนคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้วัสดุก่อสร้างน้อย โดยทั่วไปแล้วเป็นเขื่อนที่ประหยัดมาก แต่มีความปลอดภัยน้อยกว่าเขื่อนแบบถ่วงน้ำหนักจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม

เขื่อน Roselend ในประเทศฝรั่งเศส

canal คลองส่งน้ำ

ทางน้ำ หรือคลองน้ำที่รับน้ำจากแหล่งน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นคลองดาดคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีท่อส่งน้ำติดตั้งในระดับท้องคลองส่งน้ำเพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่ท่อส่งน้ำ

คลองส่งน้ำ

concrete dam เขื่อนคอนกรีต

เขื่อนเก็บกักน้ำก่อสร้างด้วยวัสดุคอนกรีต จำเป็นต้องมีชั้นหินฐานรากที่แข็งแรงมาก รับน้ำหนักได้ดี แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก (gravity dam) หรือเรียกว่าแบบฐานแผ่ อาศัยการถ่ายน้ำหนักของตัวเขื่อนลงชั้นฐานราก รูปตัดของตัวเขื่อนมักเป็นรูปสามเหลี่ยมเป็นแนวตรงตลอดความยาวเนื่องจากตัวเขื่อนมีขนาดใหญ่มาก ตัวอย่างของเขื่อนประเภทนี้ในประเทศไทย คือ เขื่อนแม่มาว และเขื่อนกิ่วลม อีกประเภทหนึ่ง คือ เขื่อนคอนกรีตแบบโค้ง (arch dam) มีคุณสมบัติต้านแรงดันของน้ำและแรงภายนอกอื่นๆ โดยความโค้งของตัวเขื่อนเหมาะกับบริเวณหุบเขาที่มีลักษณะเป็นรูปตัว U และมีหินฐานรากที่แข็งแรง เมื่อเปรียบเทียบกับเขื่อนแบบถ่วงน้ำหนักเขื่อนแบบนี้มีรูปร่างแบบบางกว่ามาก ทำให้ราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า แต่ข้อเสียของเขื่อนแบบนี้ คือ การออกแบบและการดำเนินการก่อสร้างค่อนข้างยุ่งมาก ต้องมีขั้นตอนปรับปรุงฐานรากให้มีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย เขื่อนภูมิพลซึ่งเป็นเขื่อนขนาดใหญ่แห่งแรกในประเทศไทย มีลักษณะผสมระหว่างแบบถ่วงน้ำหนักและแบบโค้งซึ่งให้ทั้งความแข็งแรงและประหยัด

เขื่อนกิ่วลม จังหวัดลำปาง

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่มาว จังหวัดเชียงใหม่

control switchboard ตู้แผงและอุปกรณ์ควบคุม

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า แผงวงจรหรือแผงสวิตช์ อาจเป็นแผงเดี่ยวขนาดใหญ่หรือหลายแผงประกอบเข้าด้วยกัน ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ทางด้านหน้า หรือด้านหลัง หรือทั้งสองด้านอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ภายในประกอบด้วย ชุดควบคุม ชุดเครื่องมือวัด ชุดป้องกัน และหลอดแสดงสัญญาณ เป็นต้น

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน

dam เขื่อน, ทำนบ

สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่สำหรับกั้นทางน้ำซึ่งเป็นต้นน้ำ ทำให้น้ำถูกสะสม และกักเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อน ใช้การควบคุมการระบายน้ำในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนเพื่อป้องกันอุทกภัยและเพื่อการชลประทาน ใช้ประโยชน์จากพลังน้ำเหนือเขื่อนผลิตกระแสไฟฟ้า ระดับน้ำเหนือเขื่อนต้องอยู่ต่ำกว่าสันเขื่อนเสมอ ถ้าปริมาณน้ำเหนือเขื่อนมากเกินกว่าที่ออกแบบไว้จะถูกระบายออกไปตามทางน้ำล้นยังฝั่งท้ายน้ำเพื่อควบคุมปริมาณและเพื่อความปลอดภัย จำแนกชนิดของเขื่อนตามชนิดของวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ เขื่อนหินทิ้ง เขื่อนดิน เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก เขื่อนคอนกรีตแบบโค้ง และเขื่อนกลวงหรือเขื่อนครีบ

เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก

earthdam, earth-fill dam เขื่อนดิน

เขื่อนที่ก่อสร้างด้วยการถมดินบดอัดแน่น มีวัสดุหลักเป็นดินประเภททึบน้ำมีคุณสมบัติและการออกแบบคล้ายคลึงกับเขื่อนหิน แต่วัสดุที่ใช้ถมตัวเขื่อนมีดินเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเขื่อนชนิดนี้ในประเทศไทย ได้แก่ เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแก่งกระจาน และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล เป็นต้น มี 2 ประเภท คือ เขื่อนดินประเภทเนื้อเดียว (homogeneous earth dam) เป็นเขื่อนซึ่งก่อสร้างด้วยดินเหนียวที่เป็นดินประเภททึบน้ำ ปิดทับด้านเหนือน้ำด้วยหินทิ้งหรือหินเรียง เพื่อป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นด้านท้ายน้ำ มักจะปลูกหญ้าป้องกันการพังทลายของดิน และเขื่อนดินประเภทแบ่งโซน (zoned-earth dam) ตัวเขื่อนจะแบ่งโครงสร้างเขื่อนเป็นโซน โดยแกนกลางของเขื่อนจะเป็นชั้นดินเหนียวทึบน้ำ มีชั้นกรองเป็นวัสดุประเภทกรวดหรือทราย ชั้นถัดจากแกนเขื่อนจะเป็นดินประเภทกึ่งทึบน้ำ และปิดทับด้านเหนือน้ำด้วยหินทิ้งหรือหินเรียง เพื่อป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นเช่นเดียวกับเขื่อนดินประเภทเนื้อเดียว

เขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

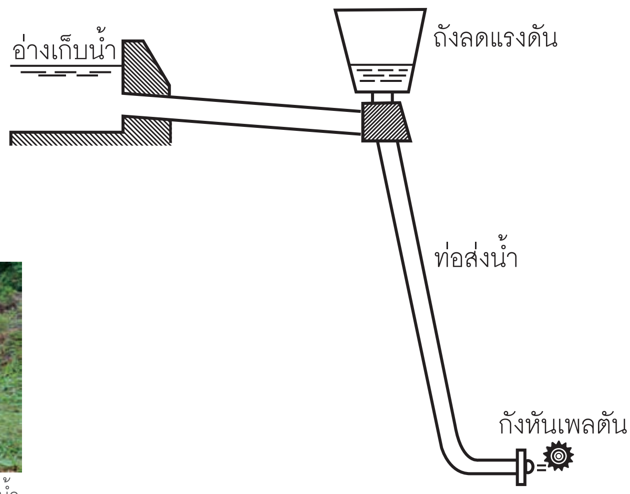
โครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยประทาว จังหวัดชัยภูมิ

เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่

forebay, surge tank อ่างลดแรงดัน, ถังลดแรงดัน

อาคารหรือถังที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ลดแรงดันที่เกิดขึ้นในท่อขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของน้ำหรือแรงกระแทกในท่ออย่างกะทันหัน ซึ่งอาจทำให้ท่อหรือหัวฉีดน้ำเสียหายได้ สร้างอยู่ระหว่างตัวเขื่อนกับโรงไฟฟ้า ถ้าโรงไฟฟ้าอยู่ใกล้กับตัวเขื่อนอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องมีอ่างหรือถังลดแรงดันน้ำนี้ โดยทั้งนี้การใช้อ่างหรือถังลดแรงดันจะขึ้นอยู่กับลักษณะแต่ละพื้นที่


อ่างลดแรงดัน



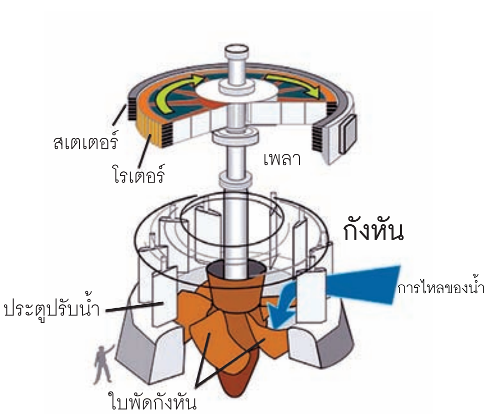
ถังลดแรงดัน


ถังลดแรงดัน โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ
แม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน


อ่างลดแรงดัน โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ
คลองลำปลอก จังหวัดตรัง

generator เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กตามหลักการของ ไมเคิล ฟาราเดย์ คือ การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่แม่เหล็กผ่านขดลวดตัวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมนั้น โดยมากจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับซึ่งมีทั้งแบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้ตามโรงไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดแบบ 3 เฟสทั้งหมด เนื่องจากสามารถผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เป็นสามเท่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 1 เฟส

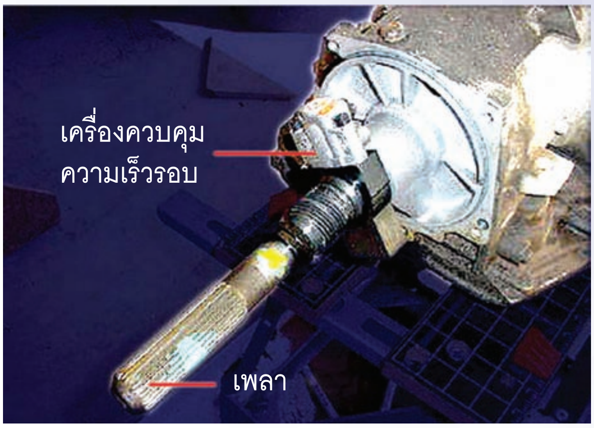



เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ
ห้วยน้ำขุ่น จังหวัดเชียงราย


เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ
แม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน

governor เครื่องควบคุมความเร็วรอบ

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบให้คงที่เพื่อการผลิตไฟฟ้าให้ได้ระดับแรงดัน และความถี่อยู่ในเกณฑ์กำหนด ถ้าความเร็วรอบลดลงก็จะส่งสัญญาณไปยังแหล่งต้นกำลังงาน ให้เพิ่มกำลังในการหมุนมากขึ้นเพื่อเข้าสู่สภาวะปกติต่อไป



อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

headrace ระบบผันน้ำ

น้ำจากอาคารรับน้ำจะถูกส่งไปยังโรงไฟฟ้าโดยระบบผันน้ำ อาจเป็นคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำแรงดันต่ำ ซึ่งมีความลาดชันต่ำ ความยาวของระบบผันน้ำขึ้นอยู่กับความต้องการของความสูงหัวน้ำสำหรับใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ การก่อสร้างโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กชนิดที่มีฝายทดน้ำมีความจำเป็นต้องมีระบบผันน้ำดังกล่าว

ระบบผันน้ำ

ท่อส่งน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำคลองลำปลอก จังหวัดตรัง

คลองส่งน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน

hydroelectricity ไฟฟ้าพลังน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากพลังน้ำ โดยใช้พลังงานจลน์ของน้ำซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูงหรือการไหลของน้ำ หรือการขึ้น-ลงของคลื่นไปหมุนกังหันน้ำ (ดู turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ดู generator) โดยพลังงานที่ได้จากไฟฟ้าพลังน้ำนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำและประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าและพลังงานจากพลังน้ำ

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังน้ำ คำนวณได้จาก

$$W = PT$$

เมื่อ W = ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

P = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

T = ระยะเวลาในการผลิต (ชั่วโมง)

hydropower พลังน้ำ

พลังหรือกำลังที่เกิดจากการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นพลังที่มีอานุภาพมาก พลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ของน้ำซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำ และการปล่อยน้ำจากที่สูง หรือการขึ้น-ลงของคลื่น แปลงเป็นพลังงานกลขับเคลื่อนกังหันน้ำ (ดู turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ดู generator) เรียกว่า ไฟฟ้าพลังน้ำ (ดู hydroelectricity) การแปลงรูปพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ความสูงของหัวน้ำ และความเร็วของน้ำ ขั้นตอนต่าง ๆ มีการสูญเสีย (loss) เช่น ความฝืดของผิววัสดุที่น้ำไหลผ่าน การรั่วไหลของน้ำ เป็นต้น สมการรวมแสดงความสัมพันธ์การแปลงพลังงานน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้า ได้แก่

$$P = \gamma Q H \eta / 1000$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องกังหันน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

H = ความสูงของหัวน้ำ (เมตร)

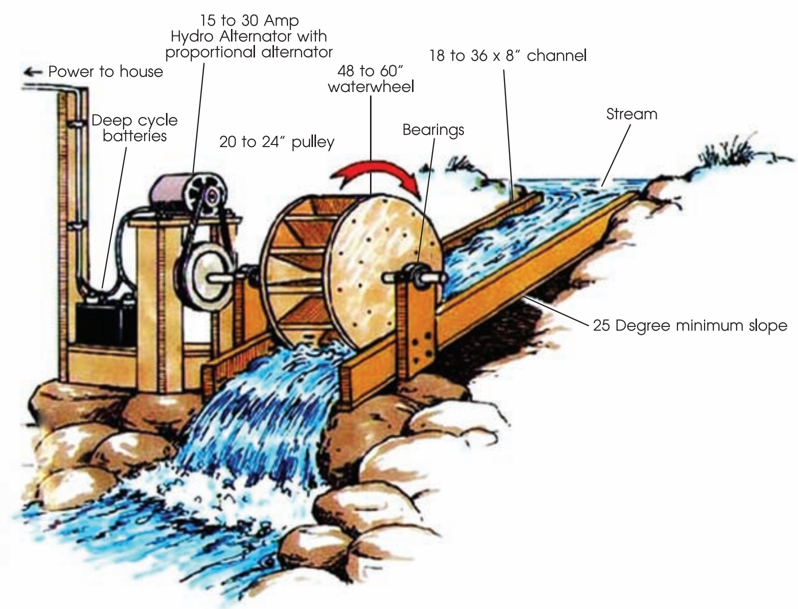
γ = หน่วยของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อน้ำ มีค่าเท่ากับ 9,806 นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร

η = ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปกติจะอยู่ระหว่าง 0.5-0.9

impulse turbine กังหันแบบแรงกระแทก

กังหันที่หมุนโดยอาศัยแรงฉีดของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำจากที่สูง หรือหัวน้ำ (water head) สูง ไหลลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดกระแทกกังหันให้หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. แบบใช้กับหัวน้ำต่ำ กำลังผลิตน้อย เรียก แบบแบงกี (Banki type) เหมาะกับน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ และให้กำลังการผลิตค่อนข้างน้อย ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม

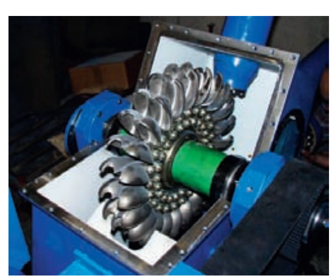


กังหันน้ำแบงกี

2. แบบใช้กับหัวน้ำปานกลาง เรียก แบบเทอร์โก (Turgo type) กังหันที่พัฒนาจากกังหันแบบเพลตัน จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างตื้น กังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำสูงปานกลางเพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก

กังหันน้ำเทอร์โก

3. แบบใช้กับหัวน้ำสูง กำลังผลิตมาก เรียก แบบเพลตัน (Pelton type) มีลักษณะคล้ายถ้วย 2 ใบทำจากโลหะ วางเป็นวงกลมยึดติดแน่นกับวงล้อ ผลิตพลังงานกลจากเพลา และการเคลื่อนไหวของการหมุนกังหันเพลาจะถูกส่งโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่ระดับหัวน้ำสูงกว่า 250 เมตร หรือน้อยกว่าก็ได้ในกรณีที่เป็นระบบเล็ก การทำให้กังหันน้ำนี้หมุน อาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก



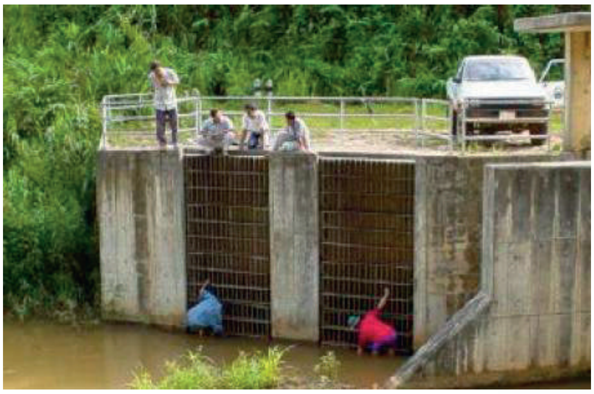
กังหันน้ำเพลตัน

intake อาคารรับน้ำ

อาคารโครงสร้างคอนกรีตสำหรับรับน้ำจากลำน้ำหน้าฝายทดน้ำหรือหน้าเขื่อน เข้าสู่ระบบผันน้ำ และระบบส่งน้ำ โดยปกติจะวางแนวอยู่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของลำน้ำ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำที่จะใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งระบบเปิด-ปิดด้วยบานประตู ติดตั้งตะแกรงป้องกันเศษขยะที่ลอยมากับน้ำ และมีประตูระบายตะกอนทราย ที่สามารถระบายตะกอนทรายซึ่งไหลมากับน้ำไม่ให้เข้าสู่ระบบผันน้ำได้ อาคารรับน้ำอาจก่อสร้างใกล้กับฝายทดน้ำหรือเขื่อน หรืออาจแยกกันขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ

large hydroelectric power plant โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่

โรงไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้ามากกว่า 30 เมกะวัตต์ ตัวอย่างเช่น โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก มีกำลังผลิต 779.2 เมกะวัตต์ เขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีกำลังผลิต 240 เมกะวัตต์ รวมกำลังการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใต้การดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี พ.ศ. 2553 รวม 2,886.27 เมกะวัตต์



อาคารรับน้ำและตะแกรงกันขยะ
โครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยน้ำขุ่น จังหวัดเชียงราย

เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เป็นโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่
โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้า 779.2 เมกะวัตต์

micro hydroelectric power plant โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋ว

โรงไฟฟ้ามีขนาดกำลังผลิตน้อยกว่า 200 กิโลวัตต์ ตัวอย่างเช่น โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน ที่บ้านแม่กำปอง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 80 กิโลวัตต์ ดูแลโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ แม่กำปอง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

penstock ท่อส่งน้ำ
ท่อที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำ หรือด้านเหนือเขื่อน ส่งไปยังอาคารโรงไฟฟ้าเป็นทางน้ำผ่านเพื่อหมุนเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความยาวและขนาดท่อขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้า

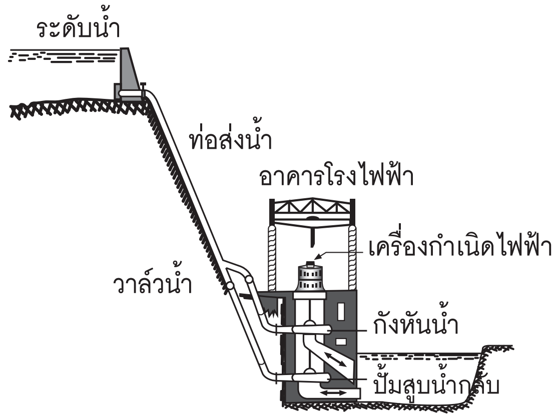
โครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยลำสินธุ์ จังหวัดพัทลุง

powerhouse อาคารโรงไฟฟ้า
อาคารสำหรับควบคุมดูแลอุปกรณ์และระบบการทำงานของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ ภายในอาคารโรงไฟฟ้าประกอบด้วย เครื่องกังหันน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องควบคุมความเร็วรอบ ตู้แผง และอุปกรณ์ควบคุม

บ้านแม่กำปอง จังหวัดเชียงใหม่

โครงการแม่กึมหลวง จังหวัดเชียงใหม่

pumped storage hydro plant โรงไฟฟ้าแบบสูบน้ำกลับ
โรงไฟฟ้าที่สามารถสูบน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำลงมา แล้วนำกลับขึ้นไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีก ประโยชน์ของโรงไฟฟ้าชนิดนี้เกิดจากการแปลงพลังงานที่เหลือใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เช่น เวลาเที่ยงคืน นำไปสะสมไว้ในรูปของการเก็บน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อที่จะสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง เช่น เวลาหัวค่ำ ตัวอย่างของโรงไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้าเขื่อนศรีนครินทร์ หน่วยที่ 4 ซึ่งสามารถสูบน้ำกลับขึ้นไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ได้ พื้นที่อ่างเก็บน้ำ 419 ตารางกิโลเมตร มีความจุมากเป็นอันดับหนึ่ง คือ 17,745 ล้านลูกบาศก์เมตร โรงไฟฟ้าเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 5 เครื่อง รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น 720,000 กิโลวัตต์

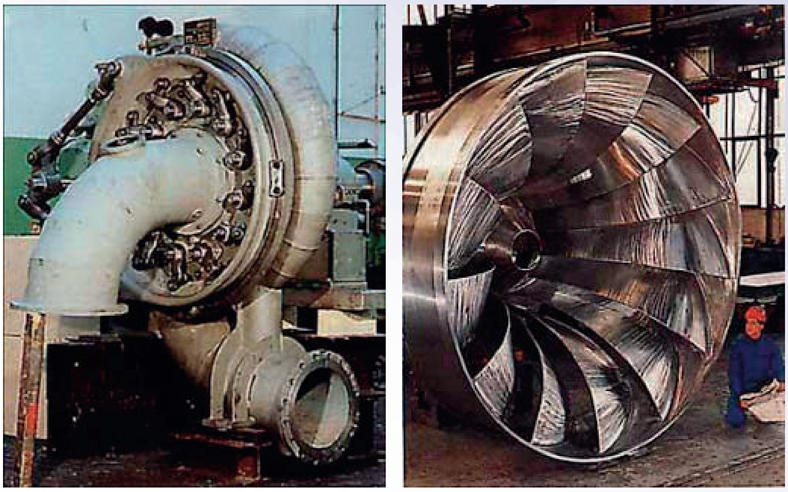


เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี

reaction turbine กังหันแบบแรงโต้

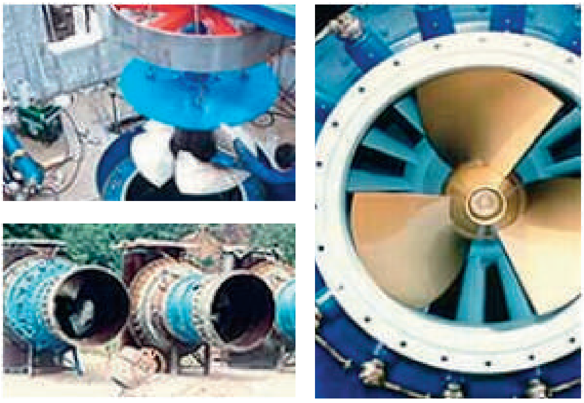
กังหันที่หมุนโดยใช้แรงดันของน้ำที่เกิดจากความต่างระดับของน้ำด้านหน้า และด้านท้ายของกังหันกระทำต่อใบพัด ระดับด้านท้ายน้ำจะอยู่สูงกว่าระดับบนของปลายท่อปล่อยน้ำออกเสมอ กังหันชนิดนี้เหมาะกับอ่างเก็บน้ำที่มีความสูงปานกลางและต่ำ แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1. กังหันฟรานซิส (Francis turbine) หลักการทำงาน คือ น้ำที่ถูกส่งออกมาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อก้นหอยที่ประกอบอยู่รอบ ๆ ตัวกังหัน ท่อก้นหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อเพื่อเพิ่มแรงดันและความเร็วของน้ำ ภายในท่อก้นหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ตลอดเวลา น้ำที่ไหลในท่อก้นหอยจะแทรกตัวผ่านลิ้นนำน้ำเข้า เพื่อเข้าสู่ตัวกังหัน ทำให้วงล้อของกังหันน้ำหมุนได้



กังหันฟรานซิส

2. กังหันคาปลาน (Kaplan turbine) หรือกังหันแบบใบพัดน้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหัน ใช้กับงานที่มีหัวน้ำต่ำ ใบพัดของกังหันคาปลานเป็นใบพัดที่สามารถปรับได้ตามมุมของซี่ใบพัดโดยอัตโนมัติตามแรงอัดหรือแรงฉีดแรงน้ำ โดยจะสัมพันธ์กับความแรงที่หัวฉีดน้ำ เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีความสูงหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1-70 เมตร



กังหันคาปลาน

3. กังหันเดเรียซ (Deriaz turbine) หรือกังหันแบบที่มีการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกน กังหันแบบนี้ใช้กับกรณีที่มีหัวน้ำสูง ส่วนของใบพัดจะเคลื่อนที่ได้เมื่อมีน้ำไหลผ่าน และมีลักษณะคล้ายกับกังหันฟรานซิส

กังหันเดเรียซ

regulating pond hydro plant โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

โรงไฟฟ้าที่สามารถบังคับการไหลของน้ำได้ในช่วงสั้นๆ เช่น ประจำวันหรือประจำสัปดาห์ สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการได้ดีกว่าโรงไฟฟ้าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี แต่อยู่ในช่วงเวลาที่จำกัดตามขนาดของอ่างเก็บน้ำ ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าเขื่อนท่าทุ่งนา จังหวัดกาญจนบุรี โรงไฟฟ้าเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 5 ชั้น กว้าง 20 เมตร ยาว 50 เมตร สูง 45.78 เมตร ติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 2 เครื่อง แต่ละเครื่องให้กำลังผลิต 19 เมกะวัตต์ รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น 38 เมกะวัตต์ ให้พลังงานเฉลี่ยปีละ 170 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง และโรงไฟฟ้าขนาดเล็กบ้านสันติ จังหวัดยะลา

เขื่อนท่าทุ่งนา จังหวัดกาญจนบุรี

reservoir hydro plant โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่

โรงไฟฟ้าที่มีเขื่อนกั้นน้ำขนาดใหญ่และสูง กั้นขวางลำน้ำไว้ ทำให้เกิดเป็นทะเลสาบใหญ่ ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำในฤดูฝน และนำไปใช้ในฤดูแล้งได้ นับว่ามีประโยชน์มาก เพราะสามารถควบคุมการใช้น้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าเสริมในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดปี ประเทศไทยจัดไว้ในประเภทโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก

เขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

rock fill dam เขื่อนหินทิ้ง

เขื่อนที่ใช้หินเป็นวัสดุถม จำเป็นต้องมีดินฐานรากที่แข็งแรงมาก มักใช้หินที่หาได้จากบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ มีผนังกันน้ำซึมอยู่ตรงกลางแกนเขื่อนหรือด้านหน้าหัวเขื่อน โดยวัสดุที่ใช้ทำผนังกันน้ำซึมอาจจะเป็นดินเหนียว คอนกรีตหรือวัสดุกันซึมอื่นๆ เช่น ยางแอสฟัลท์ก็ได้ ตัวอย่างเขื่อนชนิดนี้ในประเทศไทย ได้แก่ เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนบางลาง เป็นต้น แบ่งย่อยออกเป็น เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว แบบแกนกลางแกนดินเหนียว แบบแกนเฉียงแกนดินเหนียว แบบปิดด้านเหนือน้ำ เขื่อนหินทิ้งแกนผนังบาง และเขื่อนหินทิ้งดาดหน้าด้วยคอนกรีต

เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี

เขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี

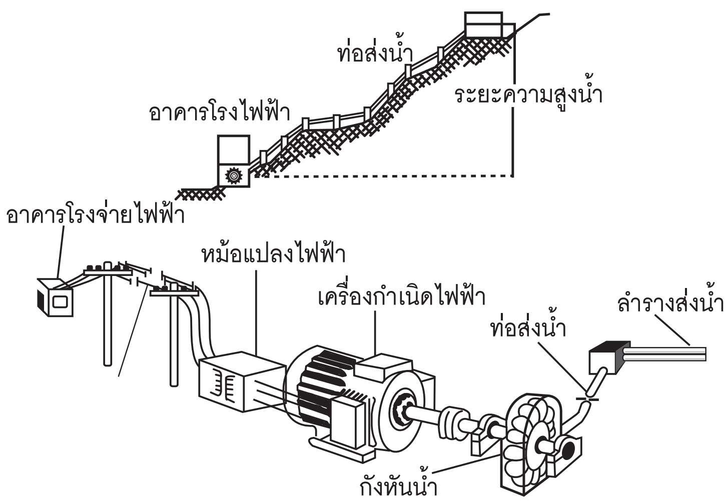
rubber weir ฝายยาง

เป็นฝายทดน้ำที่สามารถปรับระดับน้ำเหนือฝายได้ โดยอาศัยการยุบและพองตัวของท่อยางขนาดใหญ่ที่วางอยู่บนฐานคอนกรีตซึ่งตั้งขวางลำน้ำ โดยการอัดอากาศหรือน้ำภายในท่อยาง โดยทั่วไปขนาดของฝายยางขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและความกว้างของลำน้ำ ฝายยางจึงมีประโยชน์หลายด้าน เช่น การควบคุมระดับน้ำ การควบคุมน้ำท่วมในฤดูน้ำหลาก การป้องกันน้ำเค็มไม่ให้ทำลายพื้นที่การเกษตร การปรับและเพิ่มปริมาณน้ำที่เก็บ การไล่ตะกอนหน้าฝาย การเพิ่มพื้นที่การเกษตรในฤดูเพาะปลูก

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำน้ำขะมึน จังหวัดพิษณุโลก

run-of-river hydro plant โรงไฟฟ้าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี

โรงไฟฟ้าที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ผลิตไฟฟ้าโดยน้ำที่ไหลตามธรรมชาติของลำน้ำในบางช่วง หากน้ำมีปริมาณมากเกินกว่าที่โรงไฟฟ้าจะรับไว้ได้ก็ต้องปล่อยทิ้งไป ส่วนใหญ่ติดตั้งอยู่กับเขื่อนผันน้ำชลประทานซึ่งมีน้ำไหลผ่านตลอดปี การออกแบบกำลังการผลิตติดตั้งมักจะคำนวณจากอัตราการไหลของน้ำประจำปีช่วงต่ำสุดเพื่อที่จะสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำลังศึกษาเพื่อก่อสร้างที่เขื่อนผันน้ำเจ้าพระยา จังหวัดชัยนาท และเขื่อนผันน้ำวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี มีความจุ 8,860 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ยปีละ 5,369 ล้านลูกบาศก์เมตร ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่องบริเวณปล่อยน้ำ ขนาดกำลังผลิต 100,000 กิโลวัตต์ รวมกำลังผลิต 300,000 กิโลวัตต์ ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 760 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่กึมหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน




โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่กึมหลวง จังหวัดเชียงใหม่

sand sluice ประตูระบายทราย

สิ่งก่อสร้างที่ทำหน้าที่ช่วยในการระบายทรายที่ตกทับถมบริเวณหน้าฝายโดยมากมักจะสร้างติดกับฝายทางด้านที่มีประตูหรือท่อปากคลองส่งน้ำ ลักษณะเป็นช่องระบายซึ่งมีระดับพื้นต่ำกว่าพื้นของประตูหรือท่อปากคลองส่งน้ำ โดยจะมีขนาดความกว้างตามปริมาณของตะกอนทรายที่คาดว่าจะต้องระบายทิ้งไป หรือตามปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ต้องการระบายในฤดูน้ำหลากนั้น



ประตูระบายทราย

small hydroelectric power plant, mini hydroelectric power plant โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

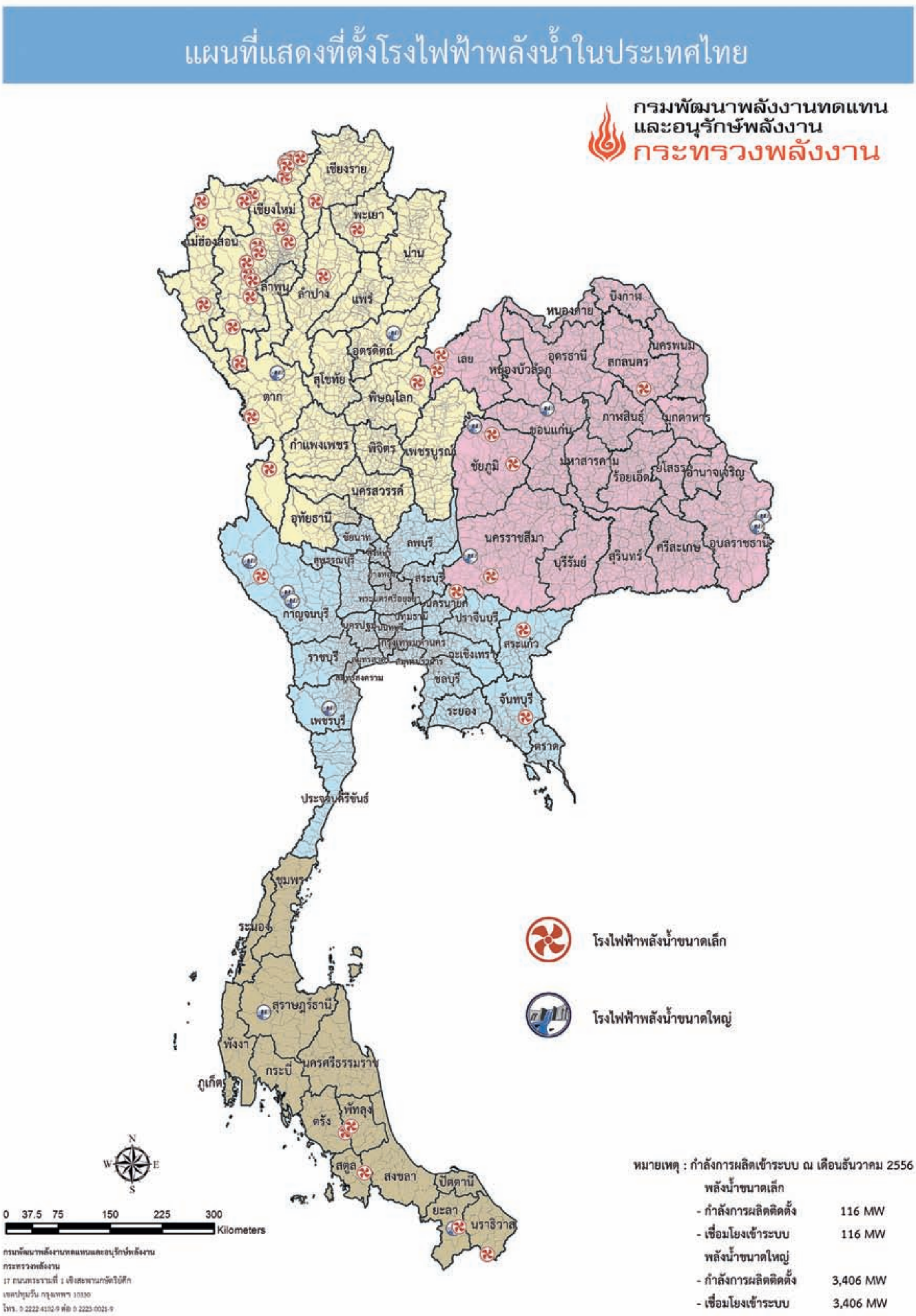
โรงไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิตอยู่ระหว่าง 200 กิโลวัตต์ ถึง 30 เมกะวัตต์ ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำคีรีธาร จังหวัดจันทบุรี เป็นโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน มีกำลังผลิตไฟฟ้า 12.20 เมกะวัตต์ สามารถสรุปเป็นตารางกำลังการผลิต ที่อยู่ภายใต้การดูแลของแต่ละหน่วยงาน ดังนี้

หน่วยงานรับผิดชอบ	กำลังการผลิต (เมกะวัตต์)
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	60.46
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน	43.32
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	8.65

โรงไฟฟ้าพลังน้ำคีรีธาร จังหวัดจันทบุรี

small hydroelectric power plant map in Thailand แผนที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศไทย

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ 200 กิโลวัตต์ขึ้นไป กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 ถึงปี พ.ศ. 2555 ก่อสร้างแล้วเสร็จรวม 25 แห่ง และได้โอนไปอยู่ภายใต้การดำเนินงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 3 แห่ง โดยยังอยู่ภายใต้การดำเนินงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 22 แห่ง มีกำลังการผลิตรวม 43.318 เมกะวัตต์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เฉลี่ยต่อปี 124.32 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือผลิตพลังงานได้เทียบเท่าน้ำมันดิบ 27.54 พันตันน้ำมันดิบ ลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ดู carbon dioxide) ประมาณ 72,254 ตัน นอกจากนี้ ยังมีโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างอีก 4 โครงการ คือโครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำคลองทุ่งเพล จังหวัดจันทบุรี โครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำลุ่มน้ำน่านตอนบน จังหวัดน่าน โครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำแม่กะไน จังหวัดแม่ฮ่องสอน และโครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำห้วยแม่อุสุ จังหวัดตาก



แผนที่แสดงโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศไทย ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม 2556 ดูแผนที่เพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

spillway ทางน้ำล้น

โครงสร้างอาคารชลศาสตร์ที่สำคัญของเขื่อน เป็นส่วนโครงสร้างที่มีค่าก่อสร้างสูงที่สุดในงานเขื่อน ก่อสร้างด้วยวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้ประโยชน์ในการระบายน้ำส่วนเกินออกมายังท้ายน้ำ เพื่อควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นตัวเขื่อน ซึ่งจะทำให้เขื่อนเกิดความเสียหาย แบ่งประเภทของทางน้ำล้นตามลักษณะการควบคุมได้เป็น ทางน้ำล้นแบบควบคุมได้ (controlled spillway) ประกอบด้วยประตูน้ำบานเลื่อน เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ออกแบบให้อ่างเก็บน้ำสามารถจุน้ำได้ปริมาณสูงสุด โดยสามารถปล่อยน้ำได้ตามความต้องการด้วยการควบคุม และทางน้ำล้นแบบควบคุมไม่ได้ (uncontrolled spillway) ไม่มีประตูน้ำ เมื่อระดับน้ำในอ่างสูงจนถึงระดับที่ออกแบบไว้ จะไหลล้นผ่านสันฝายของทางน้ำล้น

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา
จังหวัดแม่ฮ่องสอน

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยประทาว จังหวัดชัยภูมิ

step-up substation, switch yard สถานีไฟฟ้าย่อยแปลงแรงดันสูง, ลานไกไฟฟ้า

สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมและป้องกันความผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบผลิตกำลังไฟฟ้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้า มีหน้าที่หลัก คือ แปลงแรงดันจากระบบผลิตให้สูงขึ้นในระดับต่าง ๆ เพื่อเข้าสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้าต่อไป

ลานไกไฟฟ้าโครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน

tailrace ทางน้ำทิ้ง

ทางสำหรับปล่อยน้ำที่ไหลออกจากกังหันน้ำลงสู่ลำน้ำด้านท้ายเขื่อน ติดตั้งที่ระดับต่ำกว่าคลองส่งน้ำ โดยเป็นส่วนประกอบของอาคารโรงไฟฟ้า (ดู powerhouse)

ทางน้ำทิ้งเขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่กืมหลวง จังหวัดเชียงใหม่

transmission line สายส่งไฟฟ้า

ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยหม้อแปลงและระบบสายส่ง โดยหม้อแปลงทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง ส่งเข้าสู่ระบบสายส่ง โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปยังผู้ใช้ หรืออาจเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ความยาวของสายไฟจากอาคารโรงไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะทาง ส่วนความสามารถของการจ่ายไฟขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำ

สายส่งไฟฟ้า

trash rack ตะแกรงกันขยะ

ตะแกรงหรือลูกกรงเหล็กที่ติดตั้งบริเวณก่อนทางเข้าท่อส่งน้ำหรือพื้นที่รับน้ำเพื่อดักสิ่งที่ลอยมากับน้ำ เช่น เศษกิ่งไม้ วัชพืช หรือของลอยน้ำอื่นๆ ป้องกันไม่ให้น้ำพัดพาเข้าสู่ท่อส่งน้ำทำอันตรายต่อกังหันได้ ขนาดของตะแกรงขึ้นอยู่กับขนาดท่อหรือพื้นที่รับน้ำ โดยเป็นส่วนประกอบของอาคารรับน้ำ (ดู intake)

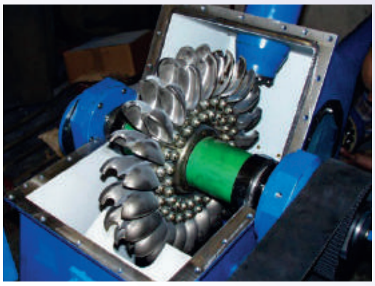
ตะแกรงกันขยะ

water turbine เครื่องกังหันน้ำ

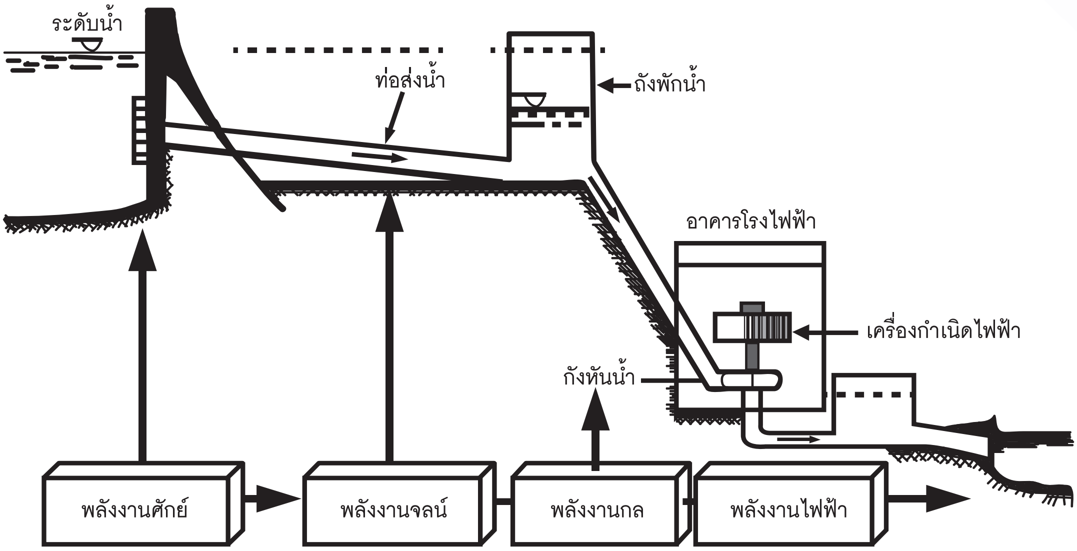
เครื่องจักรกลที่ทำงานโดยอาศัยแรงปะทะของน้ำที่ไหลมาจากท่อทางน้ำกับใบกังหันแรงของน้ำมีมากพอ พอที่จะทำให้กังหันน้ำหมุนเป็นการแปลงพลังงานของน้ำที่ไหลตกลงมาปะทะใบกังหันโดยอิสระในรูปพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานกลหมุนแกนของกังหันซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กังหันน้ำคาปลาน

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่กึมหลวง จังหวัดเชียงใหม่



กังหันน้ำเพลตัน



ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของพลังงานน้ำ

weir ฝาย

เขื่อนทดน้ำประเภทหนึ่ง สร้างขึ้นทางต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติขวางทางน้ำ ทำหน้าที่ทดน้ำ และให้น้ำไหลล้นข้ามไปบนสันของฝายได้ เมื่อสร้างที่ลำน้ำซึ่งจะใช้เป็นต้นน้ำของโครงการชลประทาน ฝายจะทำหน้าที่เป็นอาคารทดน้ำ หรือเขื่อนทดน้ำสำหรับทดน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำให้มีระดับสูง จนน้ำสามารถไหลเข้าคลองส่งน้ำได้ตามปริมาณที่ต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก ส่วนน้ำที่เหลือจะไหลล้นข้ามสันฝายไป จึงจำเป็นต้องสร้างฝายให้มีความสูงมากพอสำหรับทดน้ำให้เข้าคลองส่งน้ำได้ และจะต้องมีความยาวมากพอที่จะให้น้ำที่ไหลมาในฤดูน้ำไหลล้นข้ามฝายไปได้อย่างปลอดภัย โดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมตลิ่งสองฝั่งลำน้ำที่บริเวณด้านเหนือฝายมากเกินไปด้วย โดยทั่วไปแล้วฝายจะเป็นอาคารที่มีขนาดความสูงไม่มากนัก และมีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู


ฝายน้ำล้น จังหวัดกาญจนบุรี


ฝายทดน้ำบ้านหนองไม้เอื้อย 2 จังหวัดกาญจนบุรี


โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน

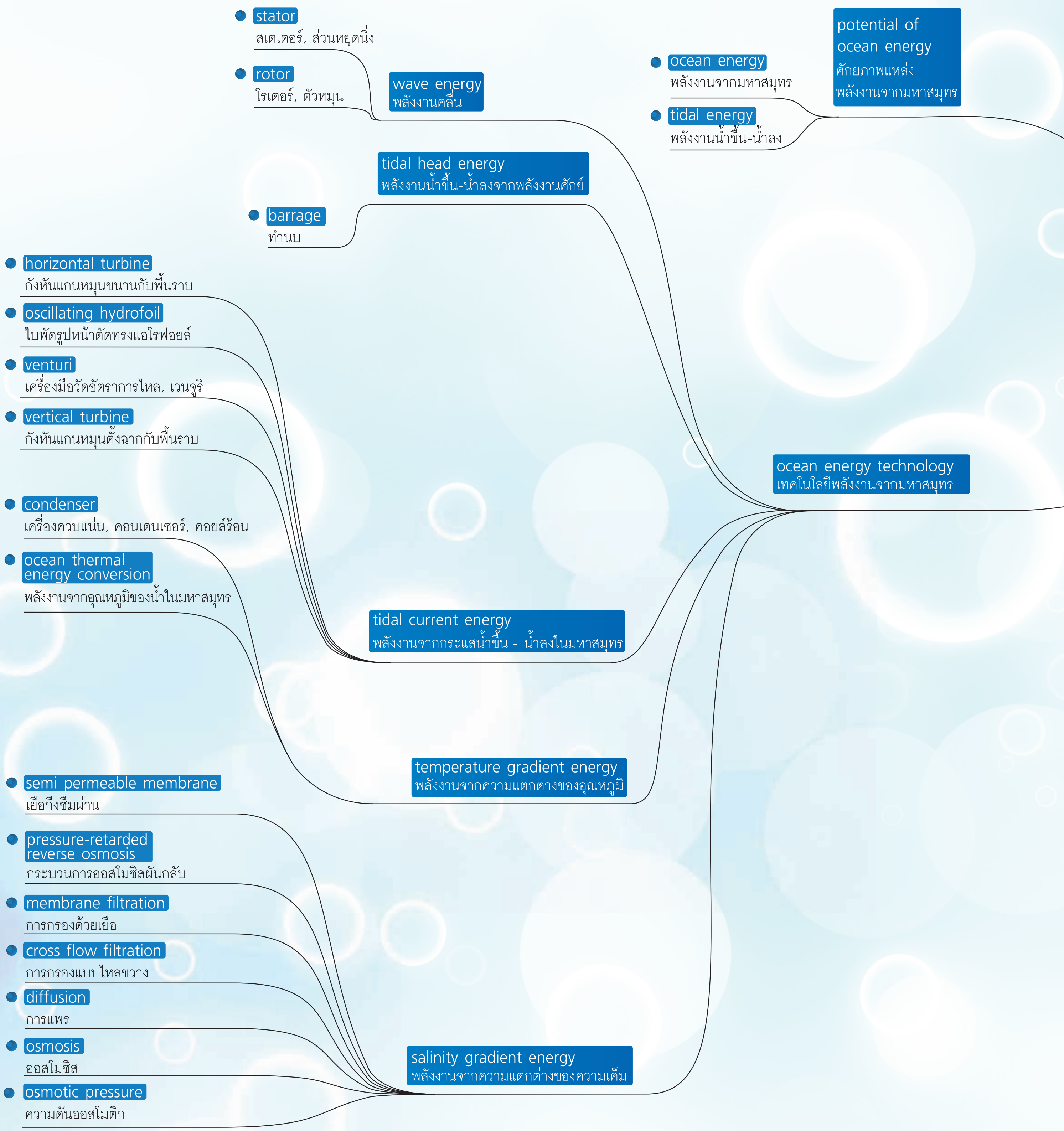
OCEAN ENERGY

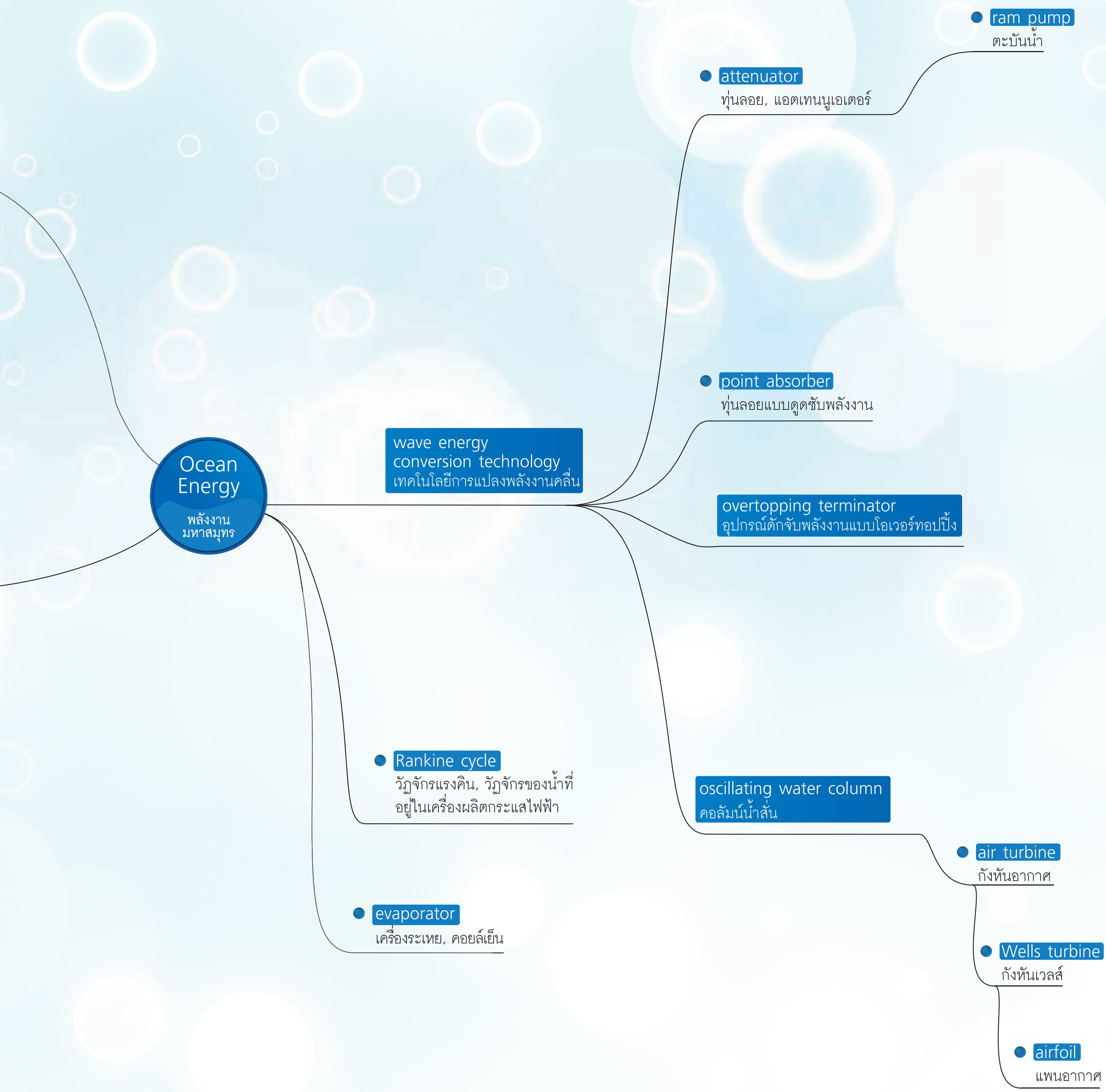
พลังงานมหาสมุทร

พลังงานหลายรูปแบบให้เลือกใช้

จากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลก ทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ทั้งการระเหย การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ และเกิดกระแสลม จากแรงดึงดูดระหว่างโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดน้ำขึ้น-น้ำลง กระแสน้ำและคลื่นในทะเล และมหาสมุทร ความแตกต่างความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเล ทั้งหมดนี้นำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลิตน้ำจืด ผลิตทั้งความเย็นและความร้อนได้ โดยใช้กังหัน โรเตอร์ ทุ่นลอย หรือเยื่อกึ่งซึมผ่าน แต่การนำมาใช้ประโยชน์ยังไม่มากนัก

Mind Map


stator
สเตเตอร์, ส่วนหยุดนิ่ง
rotor
โรเตอร์, ตัวหมุน
wave energy
พลังงานคลื่น
ocean energy
พลังงานจากมหาสมุทร
tidal energy
พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง
potential of ocean energy
ศักยภาพแหล่งพลังงานจากมหาสมุทร
tidal head energy
พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงจากพลังงานศักย์
barrage
ทำนบ
horizontal turbine
กังหันแกนหมุนขนานกับพื้นราบ
oscillating hydrofoil
ใบพัดรูปหน้าตัดทรงแอโรฟอยล์
venturi
เครื่องมือวัดอัตราการไหล, เวนจูริ
vertical turbine
กังหันแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ
ocean energy technology
เทคโนโลยีพลังงานจากมหาสมุทร
condenser
เครื่องควบแน่น, คอนเดนเซอร์, คอยล์ร้อน
ocean thermal energy conversion
พลังงานจากอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร
tidal current energy
พลังงานจากกระแสน้ำขึ้น - น้ำลงในมหาสมุทร
temperature gradient energy
พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิ
semi permeable membrane
เยื่อกึ่งซึมผ่าน
pressure-retarded reverse osmosis
กระบวนการออสโมซิสผันกลับ
membrane filtration
การกรองด้วยเยื่อ
cross flow filtration
การกรองแบบไหลขวาง
diffusion
การแพร่
osmosis
ออสโมซิส
osmotic pressure
ความดันออสโมติก
salinity gradient energy
พลังงานจากความแตกต่างของความเค็ม


Ocean Energy
พลังงานมหาสมุทร
wave energy conversion technology
เทคโนโลยีการแปลงพลังงานคลื่น
attenuator
ทุ่นลอย, แอตเทนนูเอเตอร์
ram pump
ตะบันน้ำ
point absorber
ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงาน
overtopping terminator
อุปกรณ์ดักจับพลังงานแบบโอเวอร์ทอปปิ้ง
oscillating water column
คอลัมน์น้ำสั่น
air turbine
กังหันอากาศ
Wells turbine
กังหันเวลส์
airfoil
แพนอากาศ
Rankine cycle
วัฏจักรแรงคิน, วัฏจักรของน้ำที่อยู่ในเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า
evaporator
เครื่องระเหย, คอยล์เย็น

air turbine กังหันอากาศ

กังหันที่หมุนด้วยการไหลของอากาศ มีหลายประเภท แต่ประเภทที่ใช้ในคอลัมน์น้ำสั่น (ดู oscillating water column) เป็นประเภทกังหันเวลส์ (ดู Wells turbine) ที่อยู่ในประเทศอังกฤษ

airfoil แพนอากาศ

ใบพัด มีลักษณะความโค้งเหมือนปีกเครื่องบิน ออกแบบเพื่อก่อให้เกิดแรงยกเมื่ออากาศไหลผ่าน เป็นลักษณะใบพัดของกังหันเวลส์ (ดู Wells turbine)

attenuator ทุ่นลอย, แอตเทนนูเอเตอร์

โครงสร้างที่จมลงในน้ำเพียงครึ่งเดียวประกอบด้วยส่วนทรงกระบอกเชื่อมกับข้อต่อไฮดรอลิกส์ (การเปลี่ยนพลังงานการไหลเป็นพลังงานกล) เป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น โดยวางขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น มีชุดปั๊มไฮดรอลิกส์ เพื่อขับกังหันผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้หลักการของตะบันน้ำ (ram pump)

ทุ่นลอย

barrage ทำนบ

เขื่อนที่กั้นบริเวณปากทางน้ำที่เป็นช่องแคบ เช่น ปากแม่น้ำช่องน้ำ (estuary) เพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานศักย์ที่เกิดจากความแตกต่าง หรือพิสัยของระดับน้ำขึ้นและระดับน้ำลง

condenser เครื่องควบแน่น, คอนเดนเซอร์, คอยล์ร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระเหยกลายเป็นแก๊ส และเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว มีทั้งชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และชนิดที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ

cross flow filtration การกรองแบบไหลขวาง

การกรองที่มีการป้อนสารละลายขนานกับเยื่อบาง หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลโดยจะมีแรงกระทำต่ออนุภาคในทิศทางต่างๆ ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคกับเยื่อบางสามารถลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อบางได้ ซึ่งเหมาะกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง

diffusion การแพร่

การกระจายตัวของโมเลกุลของสสารจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าด้วยการเคลื่อนที่เชิงสุ่มของโมเลกุล การแพร่ทำให้เกิดการผสมของวัสดุอย่างช้าๆ

evaporator เครื่องระเหย, คอยล์เย็น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความเย็น โดยอาศัยความร้อนที่อยู่รอบคอยล์เย็น ทำให้สารทำความเย็นซึ่งเป็นของเหลวระเหยกลายเป็นแก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม เป็นความเย็นขึ้น

horizontal turbine กังหันแกนหมุนขนานกับพื้นราบ

กังหันที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบ หรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแรง โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้แกนของใบพัดหมุน

membrane filtration การกรองด้วยเยื่อ

การกรองโดยใช้เยื่อบาง เพื่อแยกของเหลวที่มีส่วนประกอบหลายชนิดออกจากกัน ทิศทางการกรองเป็นแบบขวาง (ดู cross flow filtration) โดยใช้แรงดันให้ของเหลวที่ป้อนเข้าเคลื่อนที่ขนานกับผิวของเยื่อ ซึ่งจะไหลออกในทิศตั้งฉากกับเยื่อส่วนที่ไม่ถูกกรองผ่านเยื่อ

ocean energy พลังงานมหาสมุทร

พลังงานธรรมชาติเกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลก ทำให้เกิดการระเหยและการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ เกิดกระแสลม และเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโลก ดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ขึ้น ได้แก่ น้ำขึ้น-น้ำลง กระแสน้ำในทะเลและมหาสมุทร ความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลที่มีความแตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า การผลิตน้ำจืด การผลิตความเย็นและความร้อน แต่การนำมาใช้ประโยชน์ยังไม่มากนัก

ocean energy technology เทคโนโลยีพลังงานจากมหาสมุทร

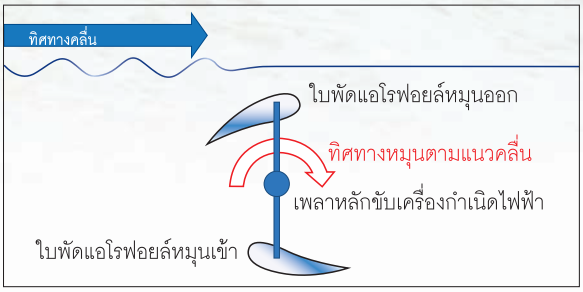
เทคโนโลยีที่นำพลังงานจากมหาสมุทรมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงาน พลังงานจากมหาสมุทร มี 5 ประเภท ได้แก่ พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงจากพลังงานศักย์ (ดู tidal head energy) พลังงานกระแสน้ำจากน้ำขึ้น-น้ำลง (ดู tidal current energy) พลังงานคลื่น (ดู wave energy) พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (ดู temperature gradient energy หรือ ocean thermal energy) และพลังงานจากความแตกต่างของความเค็ม (ดู salinity gradient energy)

ocean thermal energy conversion (OTEC) พลังงานจากอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร

กระบวนการผลิตพลังงาน โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิในทะเลหรือมหาสมุทรมาเป็นหลักการเบื้องต้น ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำอุ่นที่ผิวน้ำ และอุณหภูมิน้ำเย็นที่ระดับลึกลงไป (ประมาณ 1,000 เมตร) มีค่าประมาณ 20 องศาเซลเซียส นำมาขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

oscillating hydrofoil ใบพัดรูปหน้าตัดทรงแอโรฟอยล์

ใบพัดที่ใช้ในกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง มีลักษณะเป็นปีกรูปหน้าตัดทรงแอโรฟอยล์เหมือนเครื่องบิน มีลักษณะหนาด้านหน้าโค้งตอนบน ค่อนข้างแบนด้านใต้ และเรียวแหลมที่ด้านหลัง ขณะที่ใบพัดหมุนก็จะขับเคลื่อนเพลาของใบพัดที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า



ลักษณะการทำงานของไฮโดรฟอยล์

oscillating water column (OWC) คอลัมน์น้ำสั่น

อุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานคลื่นตามแนวตั้งทำให้เกิดแรงอัดอากาศในแนวตั้ง ซึ่งจะไปหมุนกังหันอากาศ (ดู air turbine) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อคลื่นลดระดับลง อากาศจะถูกดันให้ไหลกลับ กังหันจะหมุนกลับอีกรอบเพื่อลดแรงอัด

osmosis ออสโมซิส

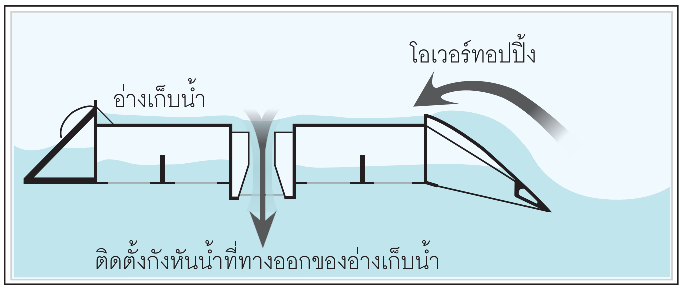
กระบวนการการแพร่โมเลกุลของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำมาก (สารละลายความเข้มข้นต่ำ) ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำน้อย (สารละลายความเข้มข้นสูง) จนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำสองด้านเท่ากัน เป็นกระบวนการทางกายภาพที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่โดยไม่อาศัยพลังงาน

osmotic pressure ความดันออสโมติก

แรงดันที่เกิดขึ้นในออสโมซิส (ดู osmosis) เพื่อต้านการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ค่าแรงดันออสโมซิสของของเหลวจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับสารละลายนั้น น้ำบริสุทธิ์มีแรงดันออสโมติกต่ำที่สุด

overtopping terminator อุปกรณ์ดักจับพลังงานแบบโอเวอร์ทอปปิ้ง

เครื่องมือดักจับพลังงานโดยดักจับน้ำจากทะเลไว้ในอ่างเก็บน้ำ เมื่อยอดคลื่นสูงถึงระดับของอ่างเก็บน้ำ น้ำก็จะถูกดันเข้ามาในอ่างเก็บน้ำ ทำให้ระดับน้ำในอ่างสูงขึ้นกว่าระดับน้ำทะเลรอบอ่าง หลังจากนั้น น้ำจะถูกปล่อยกลับลงสู่ทะเลผ่านกังหันน้ำแบบหัวน้ำต่ำ (ดู low head turbine) ซึ่งจะหมุนกังหันผลิตไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



การดักจับพลังงานคลื่นด้วยอุปกรณ์ดักจับพลังงานแบบโอเวอร์ทอปปิ้ง

point absorber ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงาน

ทุ่นที่ติดตั้งที่พื้นทะเลหรือลอยอยู่ด้านบน ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานการเคลื่อนไหวทุกทิศทาง ต่อกับอุปกรณ์ที่ติดกับพื้นทะเล และเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่ได้จากการดูดซับเป็นพลังงานไฟฟ้า

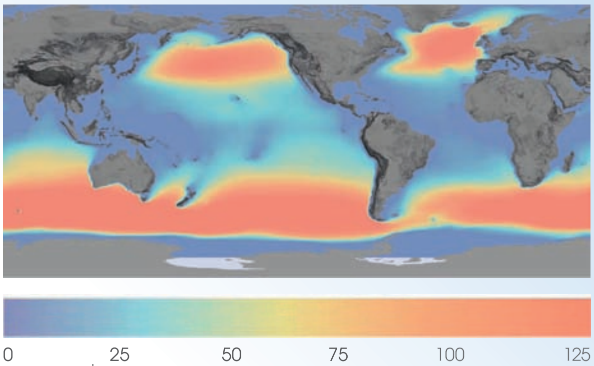

ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงานติดตั้งที่พื้นทะเล

ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงานติดตั้งบนผิวน้ำ โดยบริษัท Finavera Renewables Inc.

potential of ocean energy ศักยภาพแหล่งพลังงานจากมหาสมุทร

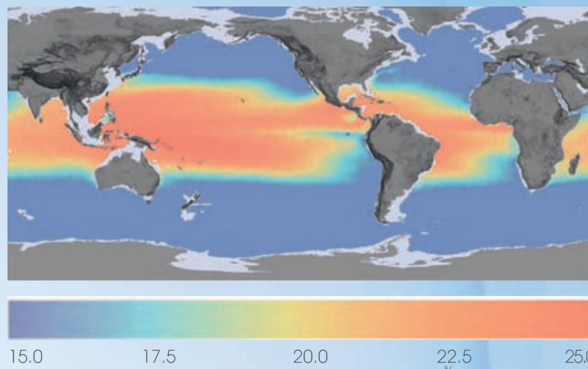
ขีดความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานจากมหาสมุทร ประเมินจากการศึกษาปริมาณและตำแหน่งของแหล่งพลังงานจากมหาสมุทรในด้านพลังงานคลื่น กระแสน้ำขึ้น-น้ำลง ระดับอุณหภูมิแตกต่าง และความเค็มที่ครอบคลุมพื้นที่มหาสมุทรของโลก ข้อมูลจากแผนที่นำไปใช้ประเมินศักยภาพการแปลงพลังงานมหาสมุทรไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานจากมหาสมุทรยังมีต้นทุนสูง เนื่องจากระดับการพัฒนาเทคโนโลยีอยู่ในระดับการสาธิต และยังมีประสบการณ์ไม่มากนัก โดยเฉพาะข้อมูลประกอบการพิจารณาที่สำคัญ เช่น อายุการใช้งาน การเดินเครื่องอุปกรณ์ การบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานจากมหาสมุทร เป็นต้น

ภาพแสดงศักยภาพพลังงานคลื่นปี ค.ศ. 2012



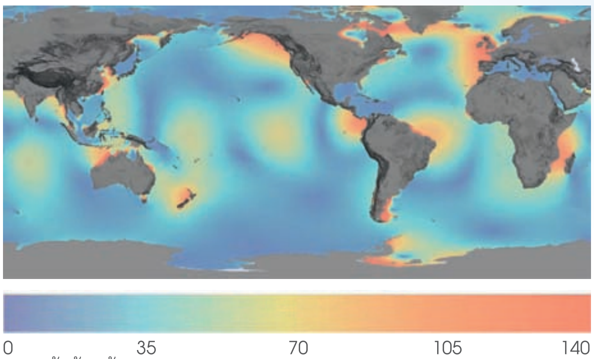
พลังงานคลื่น (กิโลวัตต์/เมตร)

ภาพแสดงศักยภาพพลังงานความแตกต่างของอุณหภูมิ ปี ค.ศ. 2012



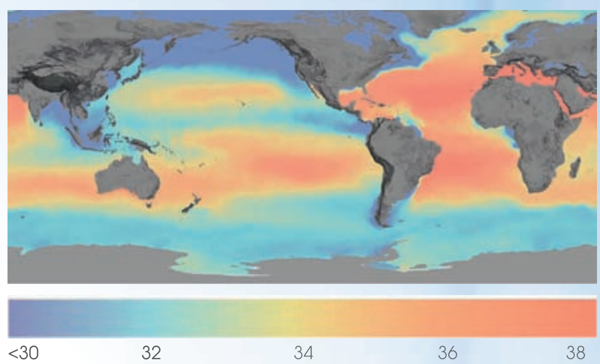
ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความลึกน้ำ 20-1,000 เมตร

ภาพแสดงศักยภาพพลังงานกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง ปี ค.ศ. 2012

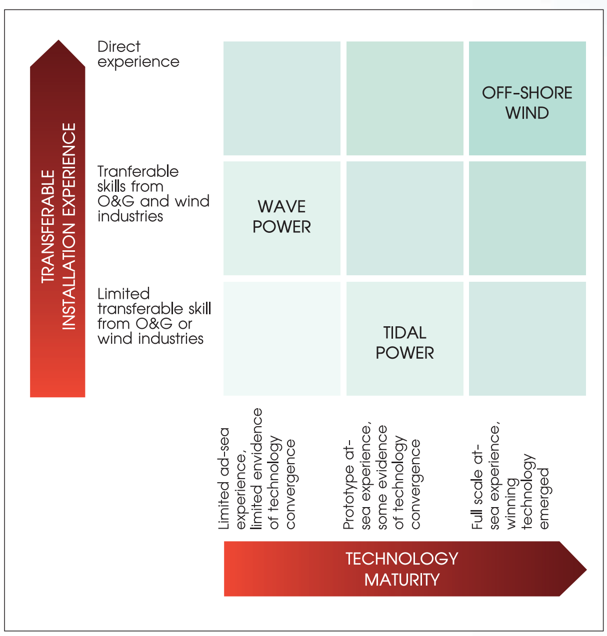


ระยะน้ำขึ้น-น้ำลง (เซนติเมตร)

ภาพแสดงศักยภาพพลังงานจากความแตกต่างของความเค็ม ปี ค.ศ. 2012



ความเข้มข้นความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)



สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานจากมหาสมุทร

pressure-retarded reverse osmosis กระบวนการออสโมซิสผันกลับ

กระบวนการกรองด้วยเยื่อ (ดู membrane filtration) แบบหนึ่ง ใช้ความดันสูงกว่าความดันออสโมติก (ดู osmotic pressure) ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ผ่านเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (ดู semi permeable membrane) ไปยังสารละลายที่เจือจางกว่า ออสโมซิสแบบผันกลับ ใช้เพื่อแยกไอออน ตัวถูกละลาย สารประกอบ การกรองน้ำทะเลเป็นน้ำจืด

ram pump ตะบันน้ำ

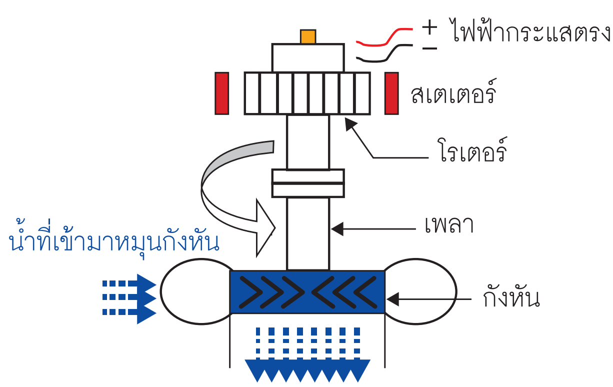
ปั๊มน้ำที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานจากการไหลของน้ำที่มีอัตราความเร็วการไหลของน้ำไหลสูง แต่ความดันต่ำ สามารถนำน้ำขึ้นไปยังพื้นที่สูง ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการทำงาน สามารถทำงานได้ด้วยตัวเองตลอด 24 ชั่วโมง

Rankine cycle วัฏจักรแรงคิน, วัฏจักรของน้ำที่อยู่ในเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

กระบวนการที่จะเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงหรือจากแหล่งความร้อนอื่นไปสู่พลังงานกล (หมุนมอเตอร์เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า) วัฏจักรจะประกอบด้วย น้ำรับความร้อนจากแหล่งความร้อนจากภายนอก แล้วกลายเป็นไอน้ำที่มีความร้อนสูง ไอน้ำไปหมุนมอเตอร์ ทำให้ไอน้ำเสียพลังงานและเย็นลง ไอน้ำความร้อนต่ำจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการควบแน่น เป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากไอน้ำ และไอน้ำจะกลายเป็นน้ำ น้ำจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการเดิมอีกครั้ง กระบวนการทั้งหมดเป็นวัฏจักรปิด

rotor โรเตอร์, ตัวหมุน

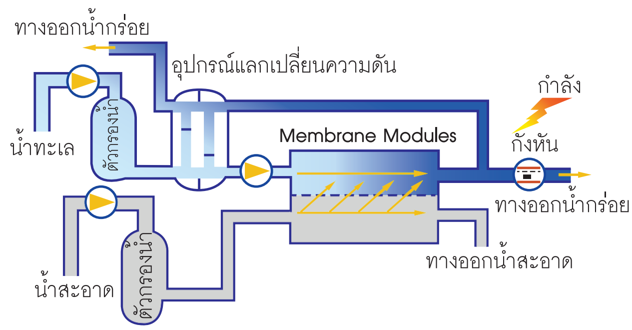
แกนเหล็กทรงกระบอกที่หมุนอยู่ในช่องส่วน Rankine cycle อยู่กับที่ (ดู stator) ทำหน้าที่กำเนิดกำลังกล เคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์เกิดพลังงานกลที่สามารถนำไปใช้งานได้



ตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์

salinity gradient energy พลังงานจากความแตกต่างของความเค็ม

พลังงานที่ได้จากความแตกต่างของความเค็มระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยใช้เทคโนโลยีกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (ดู pressure-retarded reverse osmosis) และเปลี่ยนเป็นพลังงาน หลักการ คือ เมื่อน้ำจืดกับน้ำทะเลที่มีความเค็มสูงมาอยู่ในถังเดียวกัน แต่ถูกกั้นแบ่งจากกันด้วยเยื่อบางๆ ที่โมเลกุลของน้ำซึมผ่านไปได้ แต่โมเลกุลของเกลือผ่านไม่ได้ เมื่อทั้งสองฝั่งมีความเข้มข้นของเกลือไม่เท่ากัน ของเหลวจากฝั่งเข้มข้นน้อยกว่าก็จะซึมผ่านไปยังฝั่งเข้มข้นกว่าตามหลักการออสโมซิส การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำจากฝั่งน้ำจืดก่อให้เกิดพลังงานที่มีโมเมนตัม สามารถหมุนใบพัดให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ เกิดที่บริเวณปากแม่น้ำซึ่งน้ำจืดจากแม่น้ำผสมกับน้ำเค็มจากทะเล ปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยียังอยู่ในขั้นต้นแบบ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เยื่อกึ่งซึมผ่าน (ดู semi permeable osmotic membrane) มีการทดลองในประเทศญี่ปุ่นเป็นเพียงโรงงานที่มีขนาดการผลิตเล็ก คาดว่าก่อนปี ค.ศ. 2015 จะสามารถผลิตโรงไฟฟ้าจากความแตกต่างของความเค็มขนาดการผลิต 2,000 กิโลวัตต์ได้สำเร็จ



การผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

semi permeable membrane เยื่อกึ่งซึมผ่าน

เยื่อที่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนของสารบางชนิดผ่านได้โดยการแพร่ (ดู diffusion) แต่ไม่ยอมให้สารชนิดอื่นผ่าน อัตราการแพร่ผ่านเยื่อ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้นของโมเลกุลของตัวถูกละลายทั้งที่ด้านหน้าและด้านหลังของเยื่อ

stator สเตเตอร์, ส่วนหยุดนิ่ง

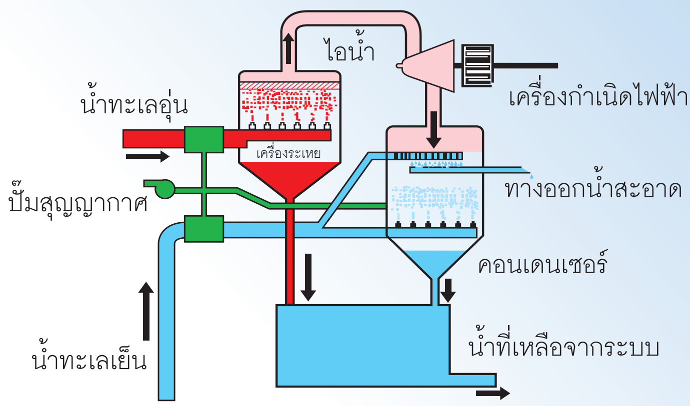
ส่วนหนึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่ มีลักษณะเป็นแผ่นอัดซ้อนประกอบเข้าด้วยกันเป็นแกนเหล็ก มีร่องไว้สำหรับพันขดลวด เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กและเป็นวงจรแม่เหล็ก

temperature gradient energy พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผิวทะเลกับอุณหภูมิของน้ำที่ระดับลึกลงไป ใช้เทคโนโลยีพลังงานจากอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร (ดู ocean thermal energy conversion (OTEC)) อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวน้ำที่อุ่นกว่าและน้ำเย็นที่ระดับลึกลงไปประมาณ 20 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ประมาณ 10 วัตต์ ระบบการผลิตพลังงานจากอุณหภูมิของมหาสมุทรมี 3 แบบ คือ

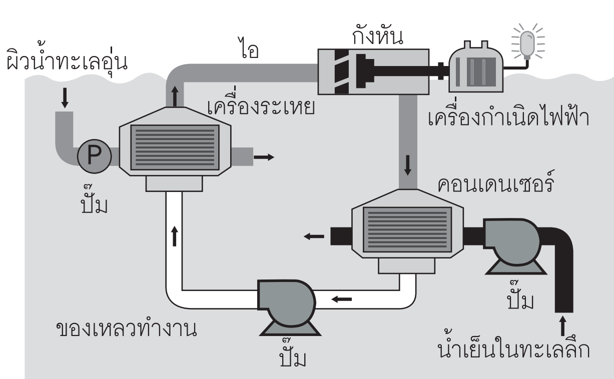
1) **แบบวงจรปิด** (close-cycle system) มีหลักการทำงานตามวัฏจักรแรงคิน (ดู Rankine cycle) โดยแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำอุ่นที่ผิวกับของเหลวทำงาน เช่น แอมโมเนีย ซึ่งเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศจนกลายเป็นไอ นำไอที่ขยายตัวไปขับกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า น้ำทะเลที่เย็นจะไหลผ่านเข้าไปในเครื่องควบแน่น (ดู condenser) ซึ่งทำหน้าที่ควบแน่นไอของของเหลวทำงานให้เป็นของเหลวอีกครั้ง และวนการทำงานทั้งหมดเป็นวงจรปิด

2) **แบบวงจรเปิด** (open-cycle system) มีหลักการทำงานโดยการนำน้ำทะเลอุ่นที่ผิวมาทำให้กลายเป็นไอในสภาพเกือบเป็นสุญญากาศที่อุณหภูมิผิวน้ำ นำไอน้ำที่ขยายตัวไปขับกังหันความดันต่ำที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไอน้ำที่ไม่มีเกลือและเกือบบริสุทธิ์จะกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้งโดยแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำทะเลลึกที่เย็นกว่า ถ้าการกลั่นตัวไม่ได้เกิดจากการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างไอน้ำกับน้ำทะเล สามารถนำน้ำกลั่นตัวไปใช้บริโภคหรือใช้ในการชลประทานได้

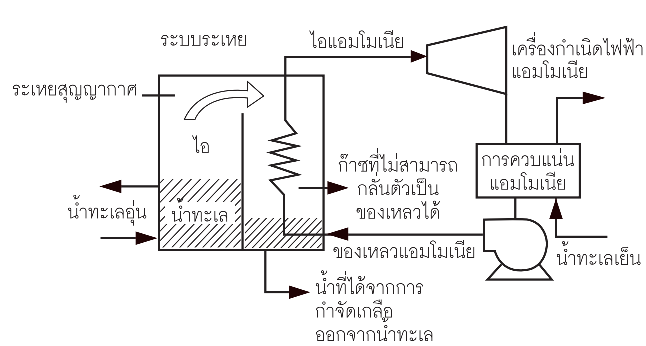


ระบบการผลิตพลังงานแบบวงจรเปิด

3) **แบบลูกผสม** (hybrid system) เป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบวงจรปิดและระบบวงจรเปิด เพื่อให้ควบคุมการผลิตไฟฟ้าและน้ำบริสุทธิ์ในปริมาณที่เหมาะสมได้



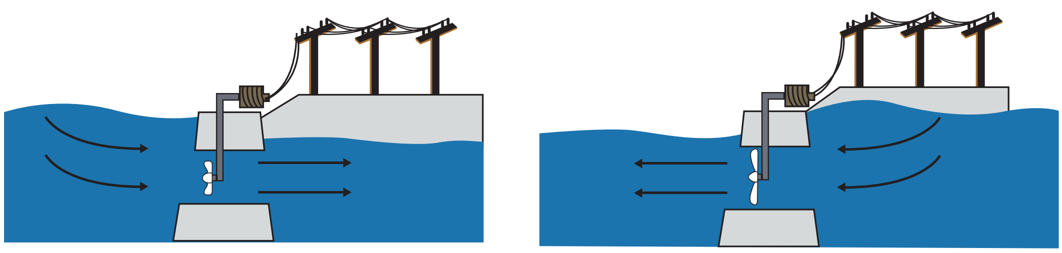
ระบบการผลิตพลังงานแบบวงจรปิด



ระบบการผลิตพลังงานแบบลูกผสม

tidal current energy พลังงานจากกระแสน้ำจากน้ำขึ้น-น้ำลงในมหาสมุทร

พลังงานที่อาศัยหลักการพื้นฐานของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ เช่นเดียวกับเขื่อนพลังน้ำ แต่ใช้ความแตกต่างของระดับหรือพิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงในแต่ละวัน โดยสร้างเขื่อนที่ปากแม่น้ำหรือปากอ่าวที่มีพื้นที่เก็บน้ำได้มาก และมีความแตกต่างของระดับของน้ำขึ้น-น้ำลง เมื่อน้ำขึ้น น้ำจะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และเมื่อน้ำลง น้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ การไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำสามารถนำไปหมุนกังหันน้ำฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยียังอยู่ในขั้นสาธิต ในประเทศนอร์เวย์ ติดตั้งกังหันน้ำต้นแบบขนาด 300 กิโลวัตต์ เพื่อผลิตไฟฟ้าจากกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง เมื่อปี ค.ศ. 2003 นอกจากนี้ยังมีบริษัทในอีกหลายประเทศที่มีการสาธิตเทคโนโลยีนี้ เช่น สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กังหันแกนหมุนขนานกับพื้นราบ (ดู horizontal turbine) กังหันแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ (ดู vertical turbine) เครื่องมือวัดอัตราการไหล (ดู venturi) และใบพัดรูปหน้าตัดทรงแอโรฟอยล์ (ดู oscillating hydrofoil) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ควรมีพิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงมากกว่า 5 เมตร จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน ประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านนี้ต่ำมาก พิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงสูงสุดอยู่ที่ปากน้ำระนองเพียง 2.5 เมตรเท่านั้น



การทำงานของพลังงานกระแสน้ำจากน้ำขึ้น-น้ำลงในมหาสมุทร

tidal energy พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง

พลังงานจากการเคลื่อนที่ของน้ำทะเลจากปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง ที่เป็นอิทธิพลจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ เป็นพลังงานจากธรรมชาติโดยตรง มี 2 ประเภท คือ พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้น-น้ำลงในแม่น้ำ และกระแสน้ำทะเลกับพลังงานศักย์จากความต่างของระดับน้ำขึ้นและระดับน้ำลง แหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงอยู่ในบริเวณชายฝั่งทั้งในทะเล แม่น้ำ และบริเวณปากแม่น้ำ การขึ้นหรือลงของน้ำแต่ละครั้งมีระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง เกิดขึ้นวันละ 1 หรือ 2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งจากเส้นศูนย์สูตร น้ำจะมีระดับสูงขึ้นจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ถึงจุดที่ระดับน้ำสูงสุด และค่อยๆ ลดระดับจนถึงจุดต่ำสุด โดยเวลาที่เกิดจะไม่ตรงกันและเปลี่ยนแปลงทุกวันในช่วง 14 วันระหว่างข้างขึ้นกับข้างแรม

tidal head energy พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงจากพลังงานศักย์

พลังงานศักย์ที่เกิดจากความแตกต่างหรือพิสัยของระดับน้ำขึ้นและระดับน้ำลง จากการทำทำนบ (ดู barrage) กั้น เช่น ทำนบ La Rance Barrage ในประเทศฝรั่งเศส มีขนาด 240 เมกะวัตต์ เริ่มผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1966 ทำนบ Sihwa Barrage ในประเทศเกาหลีใต้ ขนาด 254 เมกะวัตต์ เริ่มผลิตไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2011 เมื่อน้ำขึ้น น้ำจะถูกเก็บไว้เหนือเขื่อน และเมื่อน้ำลง น้ำถูกปล่อยให้ไหลผ่านกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า แต่ในธรรมชาติบริเวณชายฝั่งที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในราคาที่มีความคุ้มค่าทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมมีไม่มากนัก อย่างน้อยพิสัยของระดับน้ำขึ้นและระดับน้ำลง

ไม่ควรน้อยกว่า 4.5 เมตร เช่น โรงไฟฟ้า The Annapolis Tidal Power Plant เป็นโรงไฟฟ้าโรงแรกที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ที่ตั้งของโรงไฟฟ้าอยู่ที่ Cobequid Bay ซึ่งเป็นเวิ้งอ่าวส่วนหนึ่งของ Fundy Bay บริเวณ Minas Basin รัฐ Nova Scotia ประเทศแคนาดา ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง วันละ 5 ชั่วโมง 2 ครั้ง ตามรอบน้ำขึ้น-น้ำลง สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 5,300 เมกะวัตต์ และใช้เงินลงทุนประมาณ 7 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ระบบออกแบบสำหรับความต่างระดับน้ำไม่สูงนัก ประมาณ 6.4 เมตร มีกังหันน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7.6 เมตร ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 50 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง

venturi เครื่องมือวัดอัตราการไหล, เวนจูริ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหล โดยอาศัยการตรวจวัดความดันสูญเสียเมื่อของไหล ไหลผ่านสิ่งกีดขวาง หลักการทำงาน อาศัยการไหลของของไหลเมื่อไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (การลดพื้นที่หน้าตัดหรือช่องการไหล) จะก่อให้เกิดความดันสูญเสียเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วของการไหล

vertical turbine กังหันแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ

กังหันที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ หรือตั้งฉากรับทิศทางการเคลื่อนที่ของแรง โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงที่เคลื่อนมากระทบทำให้ใบพัดหมุน เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

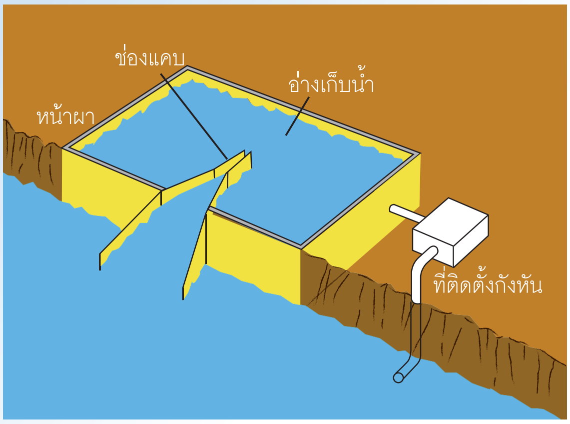
wave energy พลังงานคลื่น

พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของคลื่นในทะเลและมหาสมุทร โดยปกติเกิดจากลม แต่บางกรณีเกิดจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก เช่น แผ่นดินไหว และอื่นๆ มีความพยายามนำพลังงานคลื่นมาใช้ รูปแบบของเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานจากคลื่น เช่น สถานีไฟฟ้าพลังงานคลื่นของไกเซอร์ ทางตอนเหนือของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีลักษณะเป็นสถานีสร้างยึดกับพื้นทะเลบริเวณน้ำตื้น และใช้พลังงานจากคลื่นไปสร้างพลังงานไฮดรอลิกส์ เพื่อนำไปหมุนใบพัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบแหล่งพลังงานคลื่นสูงที่ตำแหน่งละติจูดสูง (ห่างจากเส้นศูนย์สูตร) และมีความเข้มของกำลังของยอดคลื่นที่ระดับน้ำทะเลลึก 60-70 กิโลวัตต์/เมตร และลดลงถึง 20 กิโลวัตต์/เมตร เมื่อคลื่นใกล้ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สเตเตอร์ (ดู stator) โรเตอร์ (ดู rotor) เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ในปัจจุบันจำแนกได้เป็น

แบบคอลัมน์น้ำสั่น oscillating water column (OWC) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตามแนวตั้ง ทำให้เกิดแรงอัดอากาศในแนวตั้ง ซึ่งแรงอัดนั้นจะไปหมุนกังหันอากาศ (ดู air turbine) ทำให้เกิดไฟฟ้าขึ้น เมื่อคลื่นลดระดับลงอากาศจะถูกดันให้ไหลกลับ กังหันจะหมุนอีกรอบ เพื่อลดแรงอัดในเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่นนี้ หากทะเลบริเวณใดมีคลื่นสูง แรงและบ่อย ก็จะทำให้ผลิตพลังงานได้มาก ซึ่งอุปกรณ์นี้มักจะติดตั้งบริเวณแหลมที่ยื่นออกไปในทะเล และมีชายฝั่งเป็นแนวตั้ง

แบบคอลัมน์น้ำสั่น

แบบศูนย์รวมน้ำ focusing device, wave surge เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบศูนย์รวมน้ำ มีลักษณะการทำงานคล้ายกับเขื่อนเก็บน้ำ เพื่อผลิตไฟฟ้า พลังงานคลื่น ทำให้แรงดันเกิดขึ้นเพื่อผลักดันน้ำไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ แล้วปล่อยน้ำกลับมาโดยให้ไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยจะติดตั้งบริเวณหน้าผาบริเวณช่องแคบ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ยอดคลื่นสูงมากขึ้น



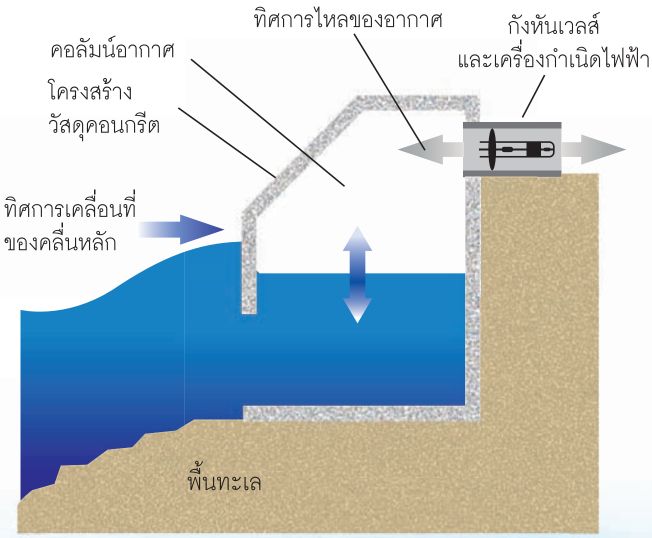
แบบศูนย์รวมน้ำ

wave energy conversion technology เทคโนโลยีการแปลงพลังงานคลื่น

เทคโนโลยีที่แปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานรูปอื่น โดยอาศัยอุปกรณ์ที่สำคัญ เช่น ทุ่นลอยแอตเทนนูเอเตอร์ (ดู attenuator) ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงาน (ดู point absorber) อุปกรณ์ดักจับพลังงานแบบโอเวอร์ทอปปิ้ง (ดู overtopping terminator) และคอลัมน์น้ำสั่น (ดู oscillating water column)

Wells turbine กังหันเวลส์

กังหันอากาศความดันต่ำที่หมุนอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียว ใบพัดมีลักษณะแพนอากาศ (ดู airfoil) ที่สมมาตรกับระนาบของการหมุน และตั้งฉากกับกระแสอากาศ ได้รับการพัฒนาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากแรงอัดอากาศในแนวตั้งที่เกิดในคอลัมน์น้ำสั่น (ดู oscillating water column)

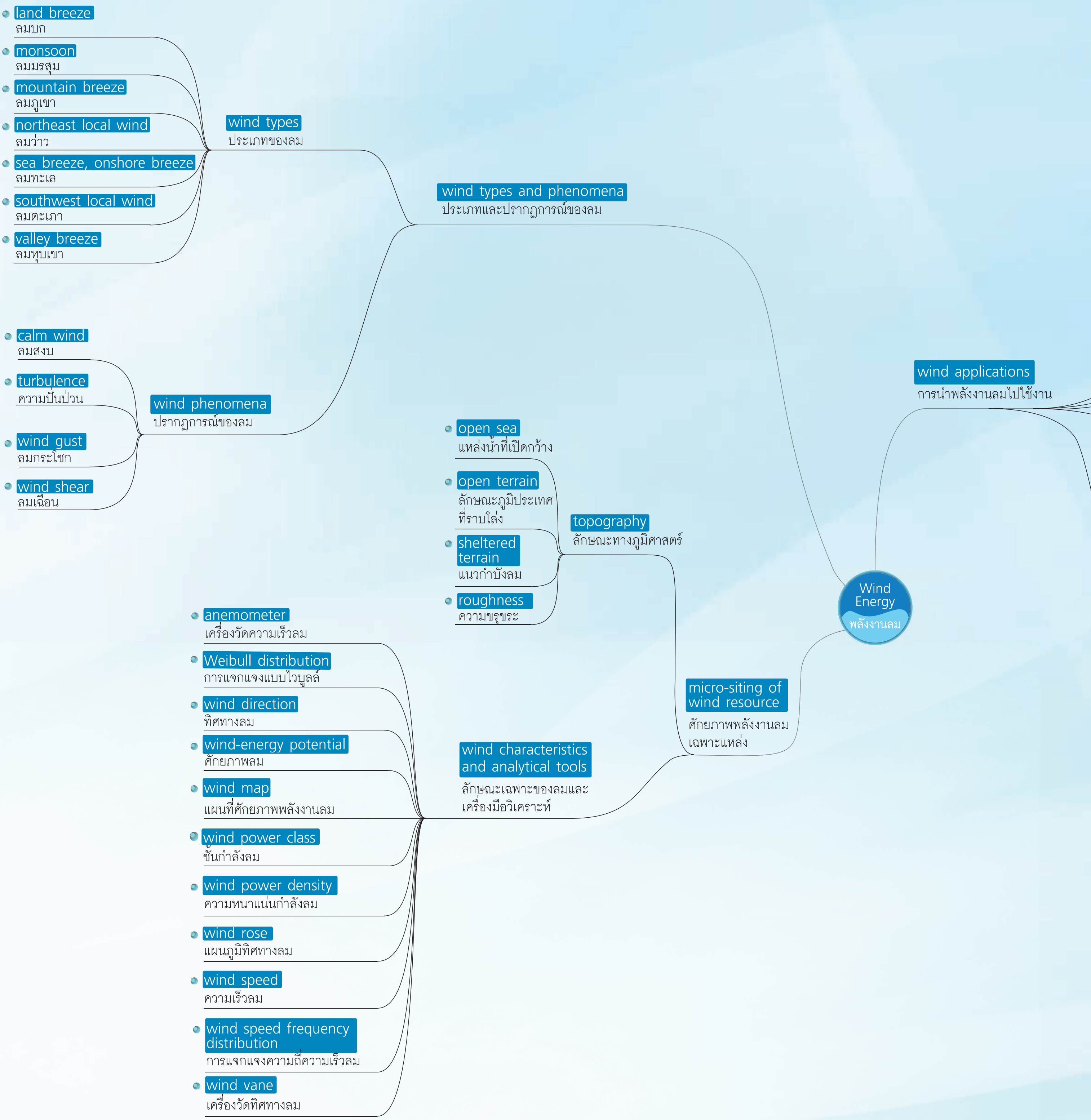


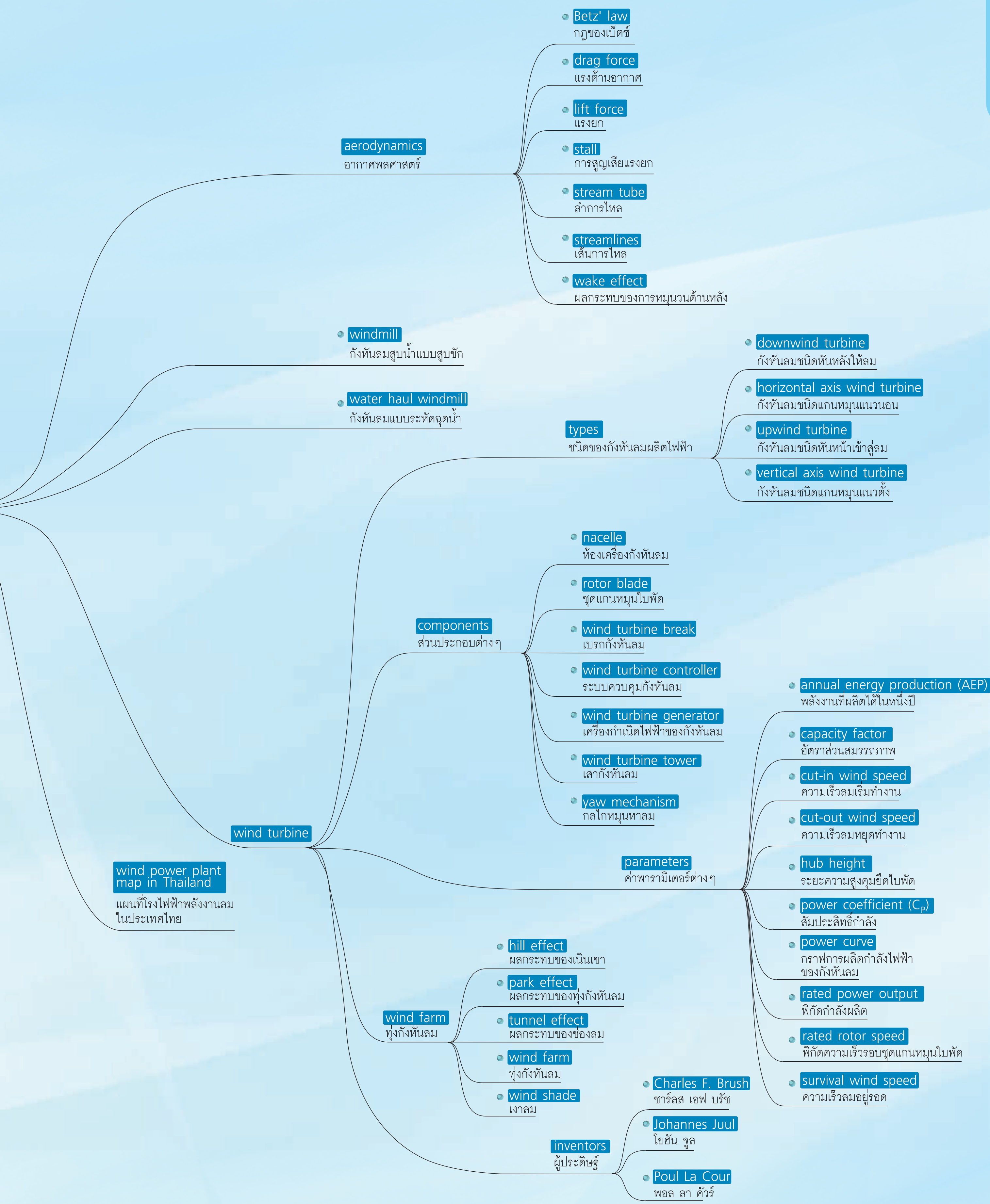
กังหันแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ

จะมีพลังงานอะไรที่สะอาด เป็นมิตรมากกว่านี้อีก

ลมเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิมีพลังในตัวมีทั้งแรงยก แรงดัน แรงผลัก แรงลาก และแรงเฉือน มนุษย์ใช้พลังงานจากลมมาตั้งแต่สมัยโบราณ เพื่อสูบน้ำ บดเมล็ดพืช เราคงคุ้นตากับกังหันลมที่ใช้ฉุดระหัดวิดน้ำในนาเกลือ กังหันลมส่วนใหญ่นิยมใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีหลายรูปแบบ ทั้งแบบแกนหมุนแนวตั้งและแกนหมุนแนวนอน ติดตั้งร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมให้กังหันลมสกัดพลังงานจากลมได้สูงสุด และหยุดทำงานเมื่อความเร็วลมสูงเกินพิกัดหรือเกิดลมกรรโชก ป้องกันความเสียหาย กังหันลมสมัยใหม่มีให้เลือกหลายขนาด และสามารถทำงานได้ที่ความเร็วลมต่ำ กังหันลมจำนวนมากที่ติดตั้งพร้อมระบบควบคุมการทำงานเพื่อผลิตไฟฟ้าเป็นทุ่งกังหันลมที่ให้ปริมาณไฟฟ้ามากพอที่จะทดแทนโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้ การเลือกสถานที่ติดตั้งทุ่งกังหันลมจะใช้ข้อมูลลักษณะทางภูมิศาสตร์ พื้นที่ คุณภาพของลม และปรากฏการณ์ต่างๆ ช่วยประเมินศักยภาพเพื่อประกอบการตัดสินใจติดตั้งทุ่งกังหันลม กังหันลมผลิตไฟฟ้าแห่งแรกของประเทศไทยติดตั้งที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต และข้อมูล ณ ปี 2556 ทุ่งกังหันลมใหญ่ที่สุดอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา รวมกำลังการผลิต 213 เมกะวัตต์

Mind Map


land breeze
ลมบก
monsoon
ลมมรสุม
mountain breeze
ลมภูเขา
northeast local wind
ลมว่าว
sea breeze, onshore breeze
ลมทะเล
southwest local wind
ลมตะเภา
valley breeze
ลมหุบเขา
wind types
ประเภทของลม
wind types and phenomena
ประเภทและปรากฏการณ์ของลม
calm wind
ลมสงบ
turbulence
ความปั่นป่วน
wind gust
ลมกระโชก
wind shear
ลมเฉือน
wind phenomena
ปรากฏการณ์ของลม
wind applications
การนำพลังงานลมไปใช้งาน
open sea
แหล่งน้ำที่เปิดกว้าง
open terrain
ลักษณะภูมิประเทศที่ราบโล่ง
sheltered terrain
แนวกำบังลม
roughness
ความขรุขระ
topography
ลักษณะทางภูมิศาสตร์
Wind Energy
พลังงานลม
anemometer
เครื่องวัดความเร็วลม
Weibull distribution
การแจกแจงแบบไวบูลล์
wind direction
ทิศทางลม
wind-energy potential
ศักยภาพลม
wind map
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม
wind power class
ชั้นกำลังลม
wind power density
ความหนาแน่นกำลังลม
wind rose
แผนภูมิทิศทางลม
wind speed
ความเร็วลม
wind speed frequency distribution
การแจกแจงความถี่ความเร็วลม
wind vane
เครื่องวัดทิศทางลม
micro-siting of wind resource
ศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง
wind characteristics and analytical tools
ลักษณะเฉพาะของลมและเครื่องมือวิเคราะห์



aerodynamics
อากาศพลศาสตร์
Betz' law
กฎของเบ็ตซ์
drag force
แรงต้านอากาศ
lift force
แรงยก
stall
การสูญเสียแรงยก
stream tube
ลำการไหล
streamlines
เส้นการไหล
wake effect
ผลกระทบของการหมุนวนด้านหลัง
windmill
กังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก
water haul windmill
กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ
types
ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า
downwind turbine
กังหันลมชนิดหันหลังให้ลม
horizontal axis wind turbine
กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน
upwind turbine
กังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม
vertical axis wind turbine
กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง
components
ส่วนประกอบต่าง ๆ
nacelle
ห้องเครื่องกังหันลม
rotor blade
ชุดแกนหมุนใบพัด
wind turbine break
เบรกกังหันลม
wind turbine controller
ระบบควบคุมกังหันลม
wind turbine generator
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลม
wind turbine tower
เสากังหันลม
yaw mechanism
กลไกหมุนหาลม
wind turbine
wind power plant map in Thailand
แผนที่โรงไฟฟ้าพลังงานลมในประเทศไทย
parameters
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ
annual energy production (AEP)
พลังงานที่ผลิตได้ในหนึ่งปี
capacity factor
อัตราส่วนสมรรถภาพ
cut-in wind speed
ความเร็วลมเริ่มทำงาน
cut-out wind speed
ความเร็วลมหยุดทำงาน
hub height
ระยะความสูงดุมยึดใบพัด
power coefficient (C_p)
สัมประสิทธิ์กำลัง
power curve
กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม
rated power output
พิกัดกำลังผลิต
rated rotor speed
พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัด
survival wind speed
ความเร็วลมอยู่รอด
wind farm
ทุ่งกังหันลม
hill effect
ผลกระทบของเนินเขา
park effect
ผลกระทบของทุ่งกังหันลม
tunnel effect
ผลกระทบของช่องลม
wind farm
ทุ่งกังหันลม
wind shade
เงาลม
inventors
ผู้ประดิษฐ์
Charles F. Brush
ชาร์ลส เอฟ บรัช
Johannes Juul
โยฮัน จูล
Poul La Cour
พอล ลา คัวร์

anemometer เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องมือสำหรับวัดความเร็วลม มักใช้แบบถ้วยซึ่งมีแกนในแนวตั้งและมีแขนยื่นออกไปสามแขนเพื่อยึดถ้วยดักลม อาศัยแรงลากทำให้เกิดการหมุน คำนวณเป็นความเร็วของการหมุน (รอบต่อนาที) แล้วจึงแปลงให้เป็นความเร็วลม และจัดเก็บข้อมูลที่ได้ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยปกติติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมร่วมกับเครื่องวัดทิศลม เพื่อวัดทิศทางลมร่วมกัน นอกจากนี้ยังมีแบบใบพัด ซึ่งไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ในระบบกังหันลมเครื่องวัดความเร็วลมแบบอื่นๆ เช่น แบบอัลตราโซนิก หรือแบบเลเซอร์ ซึ่งทำงานโดยการตรวจจับการเลื่อนเฟสหรือการสะท้อนแสงจากโมเลกุลของอากาศ เพื่อคำนวณเป็นค่าความเร็วลม แบบลวดร้อน ทำงานโดยวัดความแตกต่างของอุณหภูมิของลวดร้อนที่วางอยู่ในบริเวณที่ต้องการวัดความเร็วลม และลวดร้อนอีกเส้นหนึ่งวางอยู่ในบริเวณที่ไม่มีลม (เงาลม) เครื่องวัดความเร็วลมแบบที่ไม่ใช้แรงทางกลมีข้อดี คือ สามารถลดผลกระทบ ถ้านำไปวัดในบริเวณที่อากาศเย็นจัดจนกลายเป็นน้ำแข็ง ในทางปฏิบัติใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วยได้โดยที่มีตัวทำความร้อนให้เพลา


เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย


เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด


เครื่องวัดความเร็วลมแบบอัลตราโซนิก


เครื่องวัดความเร็วลมแบบเลเซอร์

เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

annual energy production (AEP) พลังงานที่ผลิตได้ในหนึ่งปี

พลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมหรือทุ่งกังหันลมสามารถผลิตได้ในระยะเวลา 1 ปี คำนวณได้จากความเร็วลมที่วัด ณ ตำแหน่งที่จะติดตั้งกังหันลม ร่วมกับกราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม (power curve) ที่คาดว่านำมาติดตั้ง พลังงานที่กังหันลมส่งไปยังระบบไฟฟ้าอาจจะลดลง เนื่องจากผลของเงาลม จากกังหันที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกัน การใช้พลังงานของตัวกังหันลม ความสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าและการหยุดกังหันลมเพื่อทำการซ่อมบำรุง ซึ่งจะต้องนำไปหักออกจากพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหนึ่งปีที่แท้จริง เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญทางเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจลงทุนสร้างทุ่งกังหันลม

Betz' law กฎของเบ็ตซ์

กฎที่แสดงการเปลี่ยนพลังงานจลน์ในลมให้เป็นพลังงานกลโดยใช้กังหันลม และแสดงว่าได้ประสิทธิภาพสูงสุดไม่เกิน 16/27 (ร้อยละ 59)

กฎของเบ็ตซ์ถูกคิดขึ้นเป็นครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Albert Betz ในปี ค.ศ. 1919 และต่อมาในปี ค.ศ. 1926 เขาตีพิมพ์หนังสือชื่อ "Wind-Energie" ซึ่งช่วยเพิ่มความรู้เกี่ยวกับความสามารถของกังหันลมในการสกัดพลังงานจากลมได้เป็นอย่างดี โดยกำลังในลม (P_{wind}) รูปทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัด A และมีความเร็ว v สามารถคำนวณได้จาก

$$P_{wind} = \frac{1}{2}\rho A v^3$$

กำลังที่กังหันลมสกัดจากลม (P) ขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์กำลัง, C_P (ดู power coefficient (C_P)) ตามสมการ

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 C_P$$

กำลังสูงสุดที่สามารถสกัดตามกฎของเบ็ตซ์ (P_{max}) คือ เมื่อ $C_P = C_{P_{max}} = \frac{16}{27}$ ตามสมการ

$$P_{max} = \frac{16}{27}\left(\frac{1}{2}\rho A v^3\right)$$

calm wind ลมสงบ

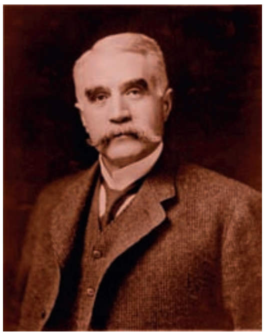
ลมสงบ คือ ลักษณะลมที่เคลื่อนที่น้อยมาก มีความเร็วน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 0.44 เมตรต่อวินาที ตามตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของโบฟอร์ตสเกล (Beaufort scale)

capacity factor (CF) อัตราส่วนสมรรถภาพ

อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่กังหันลมผลิตขึ้นจริงในช่วงระยะเวลาหนึ่งกับพลังงานสูงสุดที่กังหันลมผลิตได้ตลอดเวลาในช่วงเวลาเดียวกัน คำนวณจากพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยปกติแล้วโรงไฟฟ้าพลังงานลมจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึง 40

Charles F. Brush ชาร์ลส เอฟ บรัช

ชาร์ลส เอฟ บรัช (ค.ศ. 1849-1929) เป็นหนึ่งในผู้ก่อตั้งอุตสาหกรรมไฟฟ้าของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้คิดค้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพสูง หลอดไฟฟ้าแบบอาร์ค วิธีการผลิตแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีประสิทธิภาพ ในปี ค.ศ. 1887-1888 บรัชได้สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติตัวแรก เป็นกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในโลก เส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เมตร มีใบพัด 144 ใบ ทำด้วยไม้ ใช้งานได้เป็นเวลาถึง 20 ปี เพื่อบรรจุแบตเตอรี่ ทั้งๆ ที่เป็นกังหันลมขนาดใหญ่ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเพียง 12 กิโลวัตต์ เนื่องจากกังหันลมหมุนช้าและมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งต่ำกว่ากังหันลมของ พอล ลา คัวร์



ชาร์ลส เอฟ บรัช

กังหันลมขนาด 12 กิโลวัตต์ สูง 60 ฟุต หนัก 80,000 ปอนด์ของ ชาร์ลส เอฟ บรัช

cut-in wind speed ความเร็วลมเริ่มทำงาน

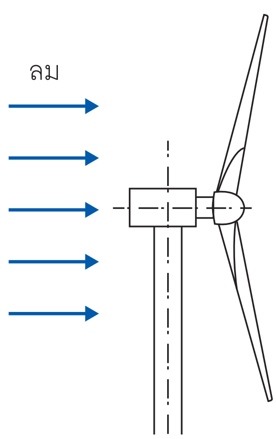
ความเร็วลมต่ำสุด (วัดที่ระดับความสูงของดุมของกังหันลม) ที่กังหันลมเริ่มต้นผลิตพลังงาน ความเร็วลมต่ำสุดที่กังหันลมต้องการใช้สร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานต่างๆ ในระบบส่งกำลัง เช่น แรงเสียดทานของตลับลูกปืน แรงเสียดทานของชุดเกียร์ ความหนืดของระบบ เป็นต้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบพัดของกังหันลมด้วยความเร็วลมเริ่มทำงานในขณะที่กังหันลมหยุดนิ่ง กังหันลมจะยังไม่หมุนทันที จนกว่าจะได้รับลมที่ความเร็วระดับนี้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อน

cut-out wind speed ความเร็วลมหยุดทำงาน

ความเร็วลมสูงสุด (วัดที่ระดับความสูงของดุมของกังหันลม) ที่ทำให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าหยุดทำงาน เมื่อลมมีความเร็วลมสูงมากๆ (มากกว่า 25 เมตรต่อวินาที) ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมจะสั่งให้กังหันลม (กังหันลมกำลังจ่ายพลังงานอยู่ที่พิกัด) หยุดทำงานด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย และสั่งให้โรเตอร์ของกังหันลมอยู่ในสภาวะจอด สำหรับกังหันลมที่ปรับมุมใบพัดได้ ใบพัดของกังหันลมจะหมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งจอด เพื่อลดพลังงานที่ใบพัดของกังหันลมสกัดจากลม กังหันลมที่ปรับมุมใบพัดไม่ได้และมีระบบควบคุมการหมุนหาทิศทางลม (yaw control) กังหันลมจะหมุนด้านข้างเข้าหาลม เพื่อลดพื้นที่การกวาดลมของใบพัดให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อลดพลังงานจากลม กังหันลมอาจหยุดหมุนหรือหมุนช้าโดยไม่จ่ายภาระทางไฟฟ้า

downwind turbine กังหันลมชนิดหันหลังให้ลม

กังหันลมที่โรเตอร์หันหลังให้ลมในขณะทำงาน โรเตอร์ของกังหันลมถูกออกแบบให้หาทิศทางลมโดยหันหลังให้ลม โดยไม่ต้องใช้มอเตอร์ควบคุม ข้อดี คือ ลดอันตรายที่อาจเกิดจากใบพัดแอ่น (ในขณะที่ลมพัดแรง) หมุนมาตีกับเสากังหันลม ระบบหาทิศทางลมไม่ซับซ้อน ทำให้มีราคาถูก ข้อเสีย คือ การเกิดเงาจากเสาของกังหันลมทำให้ความเร็วลมพัดผ่านเสาลดลง ลมเมื่อใบพัดหมุนมาอยู่ในแนวเดียวกันกับเสาทำให้แรงที่เกิดลดลง ส่งผลให้เกิดการกระเพื่อมของแรงบิด ความถี่ของการกระเพื่อมมีค่าเป็นสามเท่าของความเร็วรอบ (สำหรับกังหันลมแบบสามใบพัด)



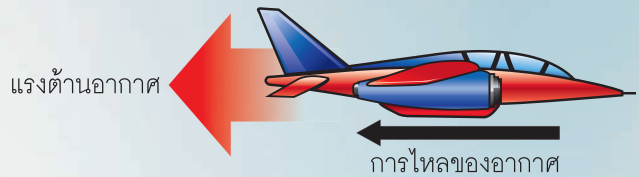
ลักษณะการทำงานของกังหันลมชนิดหันหลังให้ลม


กังหันลมชนิดหันหลังให้ลม

drag force แรงต้านอากาศ

แรงที่มีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่หรือทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายามจะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านกระแสอากาศ

แรงต้านอากาศคำนวณจากสมการ



$$F_D = 0.5\ \rho v^2 C_D A$$

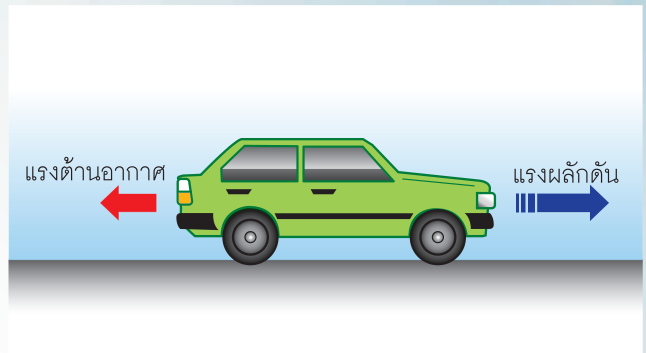
เมื่อ F_D คือ แรงต้านอากาศ (นิวตัน)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

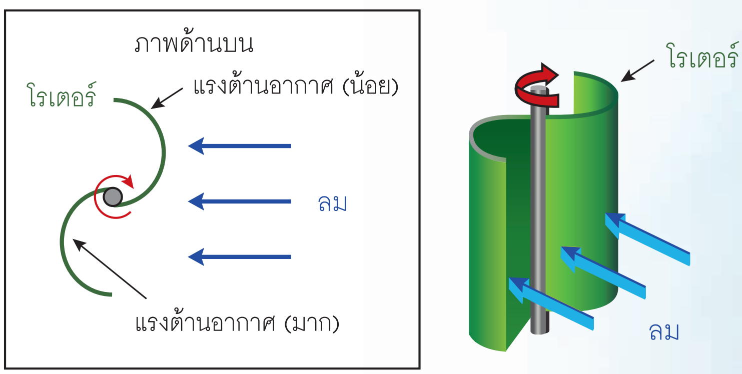
A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

v คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

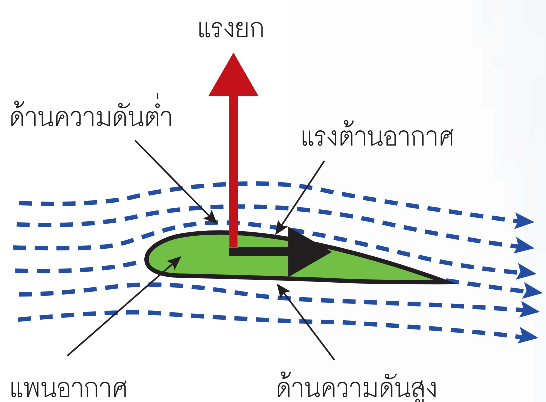
C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (นิวตันต่อตารางเมตร)



ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีผลจากรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างเช่น ทรงกลมกลวงผ่าครึ่งของเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย ถ้าหันด้านเว้าให้ลมค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ 1.42 แต่ถ้าหันด้านโค้งให้ลมค่าจะลดลงเหลือ 0.38 รถยนต์สมัยใหม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศอยู่ระหว่าง 0.27-0.45 เครื่องบินหรือใบพัดกังหันลมมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศน้อยมากประมาณ 0.04 ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากแรงต้านอากาศ เช่น เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย กังหันลมแบบซาโวเนียส (savonious) โดยแรงลมจะผลักใบพัดของกังหันลมทำให้เกิดแรงต้านอากาศขึ้นกับใบกังหันลมทั้งสองด้านที่แตกต่างกัน ทำให้โรเตอร์ของกังหันลมหมุน



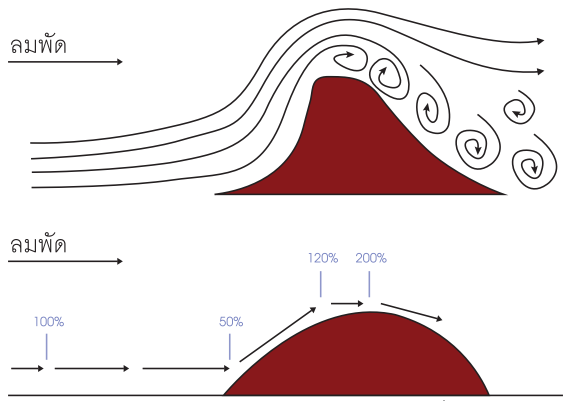
การหมุนเกิดจากความแตกต่างระหว่างแรงต้านอากาศที่เกิดบนพื้นผิวเว้า และพื้นผิวโค้งของโรเตอร์



แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันลมหรือปีกเครื่องบิน

hill effect ผลกระทบของเนินเขา

ผลกระทบของลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่เนินเขา เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านเชิงเขาอากาศจะขยายตัว (ความเร็วลมลดลง) และอากาศจะถูกบีบอัดที่บริเวณยอดเขา ส่งผลทำให้ความเร็วลมสูงขึ้นกว่าบริเวณพื้นที่โดยรอบ (ความเร็วลมมีค่าสูงสุดที่สันเขา) หลังจากอากาศเคลื่อนที่ผ่านสันเขา อากาศจะขยายตัวและเกิดการปั่นป่วน ในพื้นที่ลักษณะนี้ควรติดตั้งกังหันลมที่บริเวณสันเขาเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเต็มที่

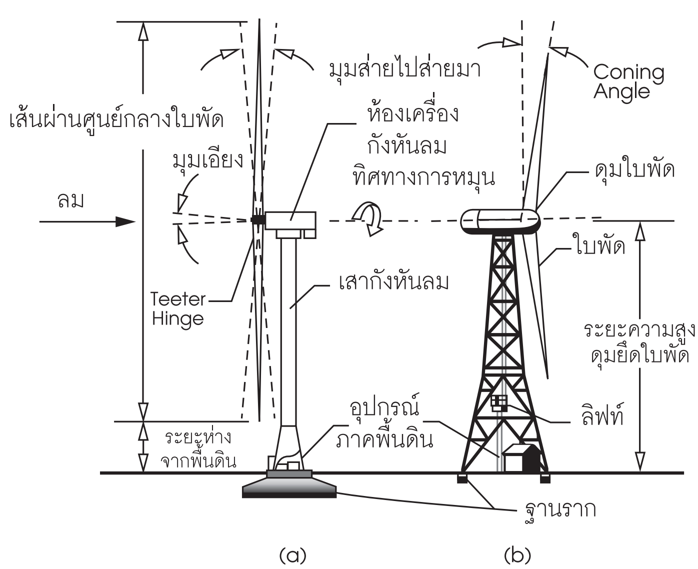


ผลกระทบของเนินเขา (บน) และความเร็วลมเปลี่ยนแปลงจากผลกระทบของเนินเขา (ล่าง)


กังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนยอดเขา

horizontal axis wind turbine (HAWT) กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน

กังหันลมที่เพลาใบพัดกังหันลมหลักและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ด้านบนสุดของเสา และขนานกับพื้นราบในแนวนอนหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม การทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำงานโดยหันหน้าให้ลมและหันหลังให้ลม การหมุนคอของกังหันลมขนาดเล็กจะหันหน้าเข้าหาลมโดยใช้หางเสือ กังหันขนาดใหญ่ใช้เซ็นเซอร์วัดทิศทางลมร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ (servomotor) เพื่อขับเคลื่อนคอให้หันหน้าเข้าหาลม กังหันลมส่วนใหญ่มีกล่องเกียร์เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วรอบของเพลาให้หมุนเร็วขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมระดับเมกะวัตต์ที่มีขายในท้องตลาดเป็นแบบกังหันลมแกนหมุนแนวนอนทั้งสิ้น

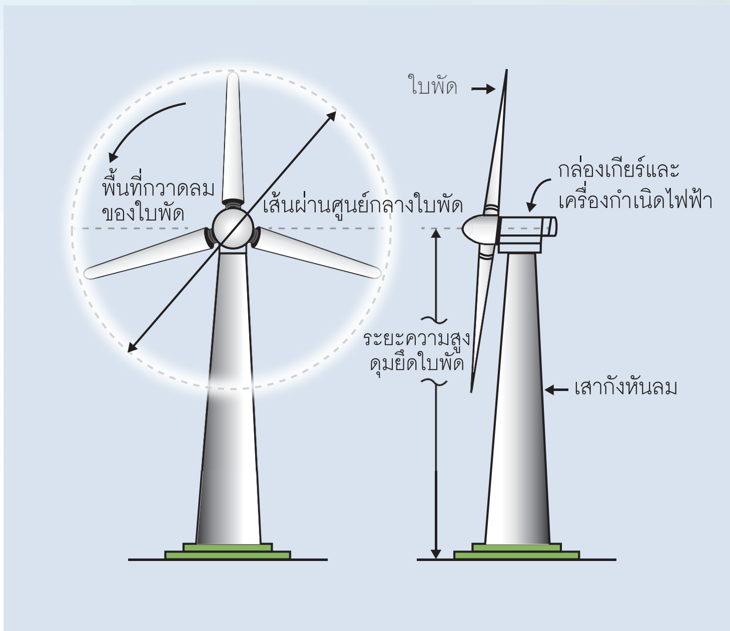


ลักษณะทั่วๆ ไปของกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน

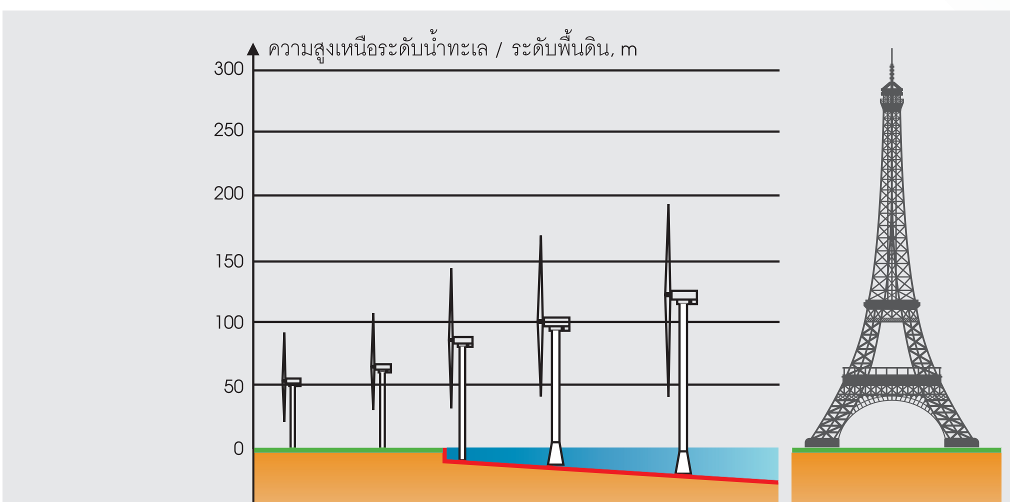

กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน

hub height ระยะความสูงดุมยึดใบพัด

ระยะจากฐานของกังหันลมไปยังดุมแกนหมุนของกังหันลม โดยทั่วไป คือ ระยะความสูงเฉลี่ยของกังหันลมจากพื้นดิน ปัจจุบันกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดที่ติดตั้งเมื่อปี ค.ศ. 2011 และใช้งานแล้ว คือ ขนาด 7.58 เมกะวัตต์ ของบริษัท Enercon รุ่น E126 มีระยะความสูงดุมยึดใบพัด 135 เมตร ทั่วโลกกำลังพัฒนากังหันลมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงมีแนวโน้มที่กังหันลมจะมีขนาดใหญ่และมีความสูงมากขึ้น มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เงียบ และมีราคาเหมาะสมมากขึ้น



การวัดระยะความสูงดุมยึดใบพัด



	1999	2002	2003	~2005	2010?		หอไอเฟล
พิกัดกำลังของกังหันลม P	1	2	3	5	10	MW	
ระยะความสูงดุมยึดใบพัด H	60	70	90	100	120	m	320 m
เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด D	60	70	90	120	160	m	
ความเร็วรอบ n	20	17	13	5-15	3-10	rpm	

แนวโน้มการขยายขนาดและเพิ่มความสูงของกังหันลม

Johannes Juul โยฮัน จูล

โยฮัน จูล เป็นวิศวกรชาวเดนมาร์ค เป็นนักเรียนกลุ่มแรกๆ ของ พอล ลา คัวร์ (ดู Poul la Cour) ในวิชา "Wind Electricians" ในปี ค.ศ. 1904 โดยในทศวรรษที่ 1950 เป็นผู้บุกเบิกการพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้ากระแสสลับตัวแรกของโลก และต่อมาในปี ค.ศ. 1956-1957 ได้สร้างกังหันลมสมัยใหม่ขนาด 200 กิโลวัตต์ สำหรับบริษัทผลิตไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ที่ชายฝั่ง Gedser ทางตอนใต้ของประเทศเดนมาร์ก เป็นกังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม (ดู upwind turbine) ใช้มอเตอร์สำหรับควบคุมการหาทิศทางลม ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส (asynchronous generator) และใบพัดของกังหันลมทั้งสามใบถูกยึดโยงเข้าด้วยกัน การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ผลิตโดยใช้หลักการสูญเสียแรงยก (ดู stall) และมีระบบหยุดฉุกเฉินโดยใช้เบรกที่ปลายใบพัด ซึ่งจะทำงานโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง กังหันลมที่สร้างเป็นกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในโลกอยู่เป็นระยะเวลานาน และสามารถทำงานได้ถึง 11 ปี โดยไม่ต้องทำการบำรุงรักษา

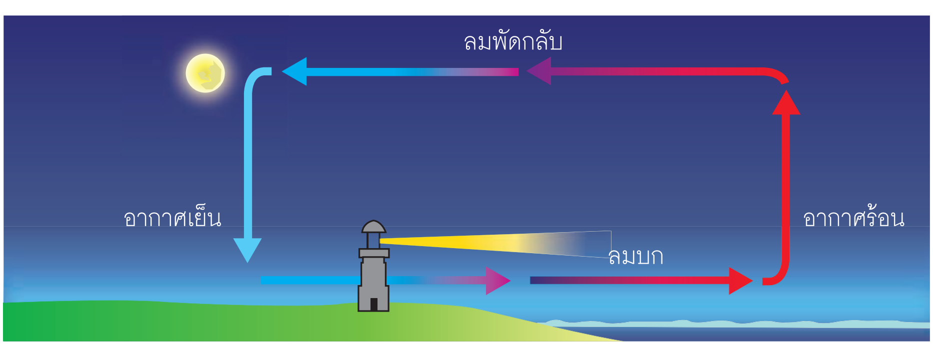
โยฮัน จูล

กังหันลมผลิตไฟฟ้ากระแสสลับตัวแรกของโลก

กังหันลมสมัยใหม่ของโยฮัน จูล ขนาด 200 กิโลวัตต์ ตั้งอยู่ที่ชายฝั่ง Gedser ทางตอนใต้ของประเทศเดนมาร์ก

land breeze ลมบก

ลมประจำถิ่นซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างทะเลกับแผ่นดิน เกิดในเวลากลางคืน พื้นดินจะคายความร้อนที่เก็บสะสมไว้ออกได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อนกว่าพื้นดินจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นดินซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดเป็นลมพัดจากชายฝั่งไปสู่ทะเล เรียกว่า ลมบก มีความแรงของลมน้อยกว่าลมทะเล จึงไม่สามารถพัดออกสู่ทะเลได้ระยะทางไกลเหมือนลมทะเล คือ ได้ระยะทางเพียง 8-10 กิโลเมตร



การเคลื่อนที่ของอากาศขณะเกิดลมบกในเวลากลางคืน

lift force แรงยก

แรงกระทำตั้งฉากกับทิศทางของกระแสอากาศหรือของไหลที่ไหลผ่านวัตถุเป็นแรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักวัตถุนั้นๆ แรงยกคำนวณได้จากสมการ

$$F_L = 0.5\ \rho A v^2 C_L$$

เมื่อ F_L คือ แรงยก (นิวตัน)

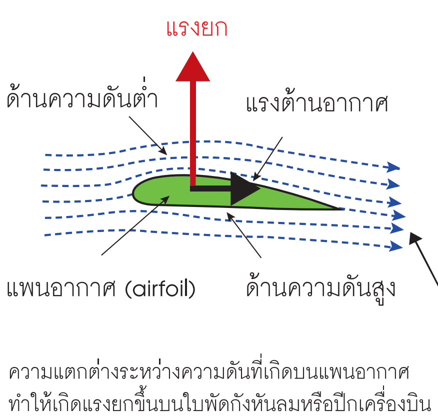
ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

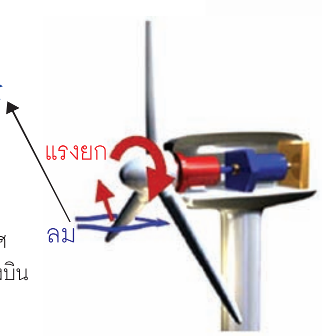
v คือ ความเร็วของของไหล (เมตรต่อวินาที)

C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยก (นิวตันต่อตารางเมตร)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกแปรผันกับรูปร่างและความเรียบของพื้นผิวของวัตถุ ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากแรงยก เช่น เครื่องบิน กังหันลมผลิตไฟฟ้าสมัยใหม่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งแบบแดร์เรียส (Darrieus) โดยแรงลมจะผลักใบพัดของกังหันลมทำให้ด้านล่างของแพนอากาศ เกิดความดันสูง และด้านบนของแพนอากาศเกิดความดันต่ำ ส่งผลทำให้เกิดแรงยกขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับลมทำให้โรเตอร์หมุน



การเกิดแรงยกบนแพนอากาศเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดัน



แรงยกทำให้กังหันลมหมุน

micro-siting of wind resource ศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง

ศักยภาพพลังงานลมของพื้นที่เฉพาะ ประเมินจากข้อมูลด้านต่างๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจว่ามีความเหมาะสมในการสร้างทุ่งกังหันลมหรือไม่ ข้อมูลที่สำคัญ เช่น

- ศักยภาพพลังงานลมของพื้นที่ โดยรวบรวมข้อมูลพื้นที่ด้านต่างๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ติดตั้งสถานีวัดความเร็วลม (จำนวนเสาวัดลมจะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่) เพื่อวัดข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ที่ระดับความสูงต่างๆ และควรทำการตรวจวัดเป็นระยะเวลาอย่างน้อยหนึ่งปี หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเร็วลมเฉลี่ยและกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่ ความถี่ของระดับความเร็วและทิศทางลม การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายชั่วโมง หาศักยภาพและสร้างแผนที่ศักยภาพพลังงานลมโดยใช้โปรแกรมคำนวณหาศักยภาพที่เหมาะสม

- การคัดเลือกชนิดของกังหันลม จัดทำรูปแบบการติดตั้งกังหันลมในพื้นที่เฉพาะ และวิเคราะห์กำลังการผลิตรายปีของกังหันลมโดยใช้โปรแกรมคำนวณหาศักยภาพที่เหมาะสม

- ศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์โดยการประเมินมูลค่าต้นทุนโครงการด้านต่างๆ เช่น มูลค่าการจัดซื้อหรือจัดหาที่ดิน มูลค่าในการซื้อและการติดตั้งระบบกังหันลม มูลค่าในการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า มูลค่าการปฏิบัติงาน และซ่อมบำรุง เป็นต้น และการประเมินมูลค่าผลตอบแทนของโครงการทั้งในทางตรงและทางอ้อม

- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ทรัพยากรทางกายภาพ ทรัพยากรชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และคุณค่าคุณภาพชีวิต เป็นต้น

monsoon ลมมรสุม

ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางไปกับการเปลี่ยนฤดู คือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ครั้งแรกใช้เรียกลมนี้ในบริเวณทะเลอาหรับ ซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน จึงมีที่มาจากคำในภาษาอาหรับว่า "Mausim" ซึ่งแปลว่า ฤดู เกิดในส่วนอื่นของโลกด้วย ลมมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุด คือ ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ ลักษณะการเกิดลมมรสุม เป็นทำนองเดียวกับการเกิดลมบกลมทะเล คือ ในฤดูหนาวอากาศภายในภาคพื้นทวีปเย็นกว่าอากาศในมหาสมุทรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ภาคพื้นทวีปบริเวณไซบีเรียเป็นเขตความกดอากาศสูง ส่วนบริเวณมหาสมุทรอินเดียเป็นเขตความกดอากาศต่ำ อากาศเหนือมหาสมุทรอินเดียซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณไซบีเรียจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศบริเวณไซบีเรียจะไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา อากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงไซบีเรียเป็นอากาศที่ไหลจมลง และทิศทางลมจะเบนไปทางขวา กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือผ่านเข้าไปยังเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ โดยทั่วไปมีลักษณะอากาศดี และเป็นฤดูที่มีอากาศแห้ง ดังนั้นลมมรสุมฤดูหนาวจึงมีลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส เป็นลมที่พัดจากฝั่งออกสู่ทะเล ในฤดูร้อนลมจะพัดเปลี่ยนในทิศทางตรงกันข้ามอากาศภาคพื้นทวีปอุ่นกว่าพื้นน้ำ ซึ่งทำให้ภาคพื้นทวีปเป็นเขตความกดอากาศต่ำ พื้นน้ำเป็นเขตความกดอากาศสูง เกิดลมพัดจากพื้นน้ำที่เป็นเขตความกดอากาศสูงเข้าสู่พื้นดินที่เป็นเขตความกดอากาศต่ำ ในทิศทวนเข็มนาฬิกา กลายเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดจากพื้นน้ำเข้ามานำเอาความชื้นมาด้วย เป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง มรสุมที่มีกำลังแรงจัดที่สุดเกิดในบริเวณเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ ในเอเชียตะวันออก ได้แก่ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนเกาหลี ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกจะแตกต่างจากเอเชียใต้ คือ ในเอเชียตะวันออก ลมมรสุมฤดูหนาวมีกำลังแรงกว่าและมีทิศทางที่คงที่กว่าลมมรสุมฤดูร้อน ความเร็วลมตามชายฝั่งในเดือนมกราคมสูงกว่าเดือนกรกฎาคมหลายเท่า ส่วนลมมรสุมในเอเชียใต้ รวมถึงประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวไม่สามารถแผ่เข้าไปถึงดินแดนเหล่านี้ได้ เพราะมีเทือกเขาหิมาลัยขวางกั้นอยู่จึงได้รับมรสุมโดยตรงเฉพาะในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น และลมจะมีกำลังแรงในฤดูร้อน แม้แต่ในมหาสมุทร คือ ฤดูร้อนลมมีความเร็วเฉลี่ย 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนฤดูหนาวลมมีกำลังอ่อน มีความเร็วน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บริเวณที่มีฝนตกหนักเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมฤดูร้อน คือ เมืองเชอร์ราปันจิ ทางภาคตะวันออกของประเทศอินเดีย มีปริมาณฝนตกในแต่ละปีประมาณ 10,800 มิลลิเมตร ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้งสองฤดู คือ ในช่วงฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคมจนถึงต้นเดือนตุลาคม ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงฤดูหนาว ประมาณปลายเดือนตุลาคมจนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ลมจะเปลี่ยนทิศเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุมฤดูหนาว

ลมมรสุมฤดูร้อน

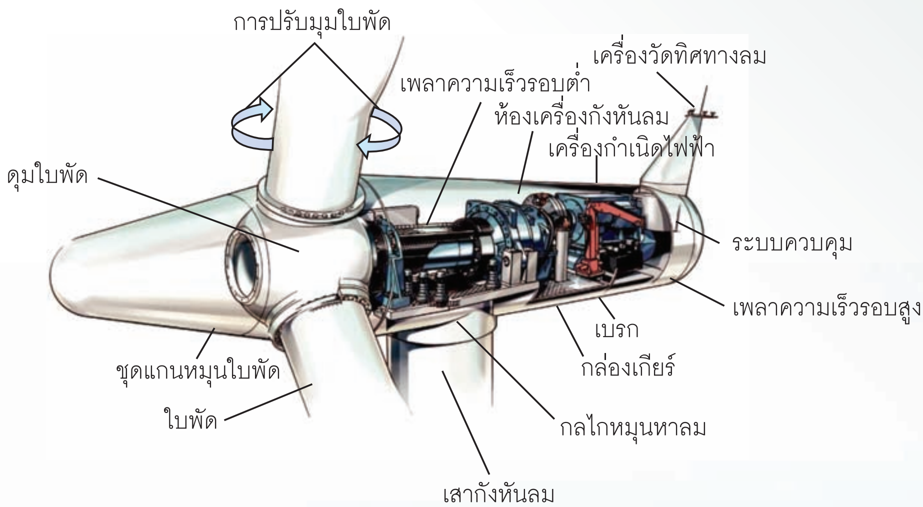
mountain breeze ลมภูเขา

ลมประจำถิ่นเกิดขึ้นประจำวัน เช่นเดียวกับลมบกและลมทะเลเกิดในเวลากลางคืน จากความแตกต่างของความกดอากาศบริเวณภูเขา กล่าวคือ บริเวณภูเขาที่ระดับสูงจะมีอากาศเย็นกว่าที่ระดับต่ำ หรือหุบเขา ความแน่นของอากาศในที่สูงมีมากกว่าในระดับต่ำ ลมจึงพัดลงมาตามลาดเขาซึ่งแรงกว่าลมหุบเขาที่พัดขึ้น

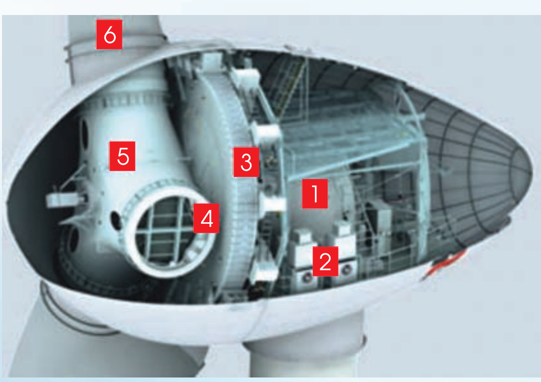
การเกิดลมภูเขาในเวลากลางคืน

nacelle ห้องเครื่องกังหันลม

ห้องเครื่องจักรกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ได้แก่ ระบบเกียร์ (อาจจะไม่มีในกรณีที่เป็นกังหันลมแบบไม่มีเกียร์ทด) ระบบเบรก ระบบส่งกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์ส่วนควบคุม ห้องเครื่องของกังหันลมขนาดใหญ่จะมีหลังคาด้านบนเป็นแพลตฟอร์มใช้รับส่งพนักงานและเครื่องมือต่างๆ ในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมกังหันลม

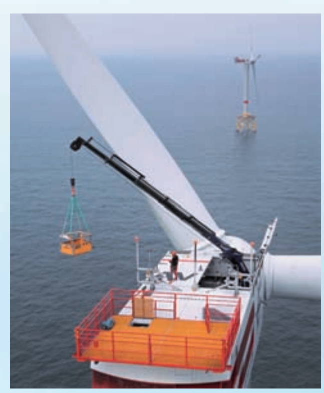


ห้องเครื่องกังหันลมแบบมีเกียร์ทด



1 ระบบส่งกำลังหลัก
2 ตัวขับเคลื่อนหมุนหาทิศทางลม
3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบวงแหวน
4 จุดเชื่อมต่อใบพัด
5 ดุมใบพัด
6 ใบพัด

ห้องเครื่องกังหันลมแบบไม่มีเกียร์ทด



แพลตฟอร์มสำหรับรับส่งพนักงานและเครื่องมือต่างๆ

northeast local wind ลมว่าว

ลมที่พัดจากทิศเหนือไปทิศใต้ตอนต้นฤดูหนาว ส่วนลมในฤดูเล่นว่าว คือ ลมตะเภา ซึ่งพัดจากทิศใต้ไปทิศเหนือในช่วงกลางฤดูร้อน ทั้งลมว่าวและลมตะเภาเป็นลมท้องถิ่นในประเทศ

open sea แหล่งน้ำที่เปิดกว้าง

ส่วนหลักของทะเลหรือมหาสมุทร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่อยู่นอกน่านน้ำและไม่ได้ถูกปิดล้อมโดยพื้นดิน

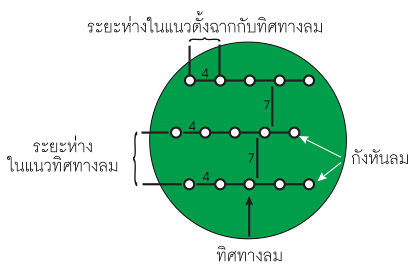
open terrain ลักษณะภูมิประเทศที่ราบโล่ง

ลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบไปด้วย พื้นที่ชายฝั่งทะเล สนามบิน ทุ่งหญ้าที่มีสิ่งกีดขวางกระจัดกระจายเล็กน้อย เช่น ต้นไม้และหญ้าที่มีความสูงอยู่ระหว่าง 1.5 เมตรถึง 10 เมตร

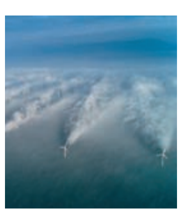
ลักษณะภูมิประเทศที่ราบโล่ง

park effect ผลกระทบของทุ่งกังหันลม

ผลกระทบของความเร็วลมที่ลดลงจากการติดตั้งกังหันลมในทุ่งกังหันลม เนื่องจากผลกระทบของการหมุนวนด้านหลังของของไหล (ดู wake effect) ดังนั้น การเว้นระยะระหว่างกังหันจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยระยะห่างระหว่างกังหันลมควรมีค่า 5 ถึง 9 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดในทิศทางลม และมีค่า 3 ถึง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม ผลกระทบของความเร็วลมที่ลดลงจากการติดตั้งกังหันลมในทุ่งกังหันลมจะส่งผลทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 5



ตำแหน่งการติดตั้งกังหันลม



ผลกระทบของความเร็วลมในทุ่งกังหันลมในทะเล Horns Rev 1

Poul la Cour พอล ลา คัวร์

พอล ลา คัวร์ (ค.ศ. 1846-1908) ชาวเดนมาร์ค เป็นผู้บุกเบิกกังหันลมผลิตไฟฟ้าสมัยใหม่ (ใช้หลักการทางอากาศพลศาสตร์) เขาเป็นทั้งนักอุตุนิยมวิทยา นักประดิษฐ์ และนักการศึกษา พอล ลา คัวร์ ได้สร้างกังหันลมสมัยใหม่ สร้างอุโมงค์ลมของเขาเองสำหรับการทดสอบกังหันลม นอกเหนือจากนี้ ยังสนใจเกี่ยวกับการจัดเก็บพลังงานโดยการใช้ไฟฟ้าจากกังหันลมป้อนเข้าเครื่องแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเพื่อใช้ผลิตไฮโดรเจน (ซึ่งเป็นการเก็บพลังงานรูปแบบหนึ่ง) และยังได้ตีพิมพ์ "The Journal of Wind Electricity" ซึ่งเป็นวารสารฉบับแรกของโลกที่กล่าวถึงการใช้พลังงานลมในการผลิตไฟฟ้า

พอล ลา คัวร์

กังหันลมทดสอบของ พอล ลา คัวร์ ที่โรงเรียนมัธยม Askov Folk ปี ค.ศ. 1897 ที่เอสกอฟ ประเทศเดนมาร์ก

ห้องทดสอบของ พอล ลา คัวร์

power curve กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

กราฟที่แสดงค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ จัดทำโดยผู้ผลิตกังหันลมสามารถใช้คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่แต่ละระดับความเร็วลมและแต่ละทิศทาง โดยการนำค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าคูณจำนวนชั่วโมง การปรากฏของลมต่อปี ที่ระดับความเร็วลมต่างๆ ในแต่ละทิศทาง

กำลังทางไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (P_T) มีค่าน้อยกว่ากำลังที่กังหันลมสกัดจากลมเนื่องจากความสูญเสียที่ระบบเกียร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการ

$$P_T = C_p h_g h_b \left(\frac{1}{2} A v^3 \right)$$

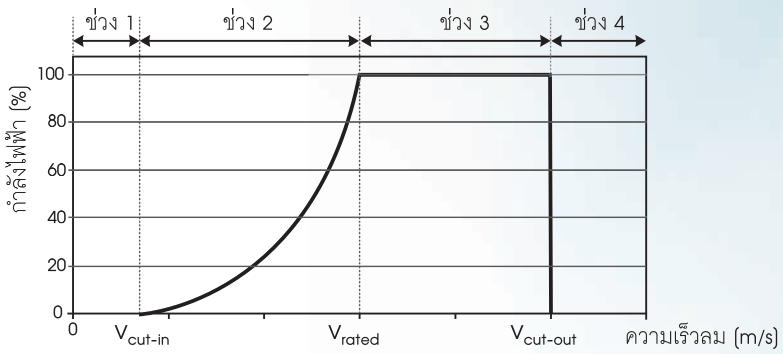
เมื่อ h_g คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

h_b คือ ประสิทธิภาพของระบบเกียร์

C_p คือ ประสิทธิกำลังของกังหันลม

A คือ พื้นที่กวาดลมของใบพัด (ตารางเมตร)

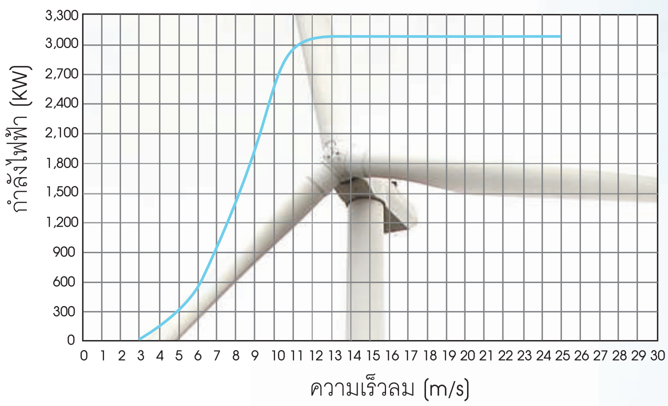
v คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)



กราฟการทำงานของกังหันลม

ในช่วงที่ 1 ความเร็วลมน้อยกว่าความเร็วลมเริ่มทำงาน (V_{cut-in}) กังหันจะไม่ทำงานและช่วงที่ 4 ความเร็วลมสูงกว่าความเร็วลมหยุดทำงาน ($V_{cut-out}$) กังหันจะหยุดทำงาน ในช่วงที่ 2 และ ช่วงที่ 3 จึงเป็นช่วงความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตพลังงานได้

ในช่วงที่ 2 เป็นช่วงความเร็วลมต่ำกว่าพิกัด กำลังที่ผลิตได้แปรผันกับความเร็วลมกำลังสาม ในช่วงที่ 3 เป็นช่วงความเร็วลมสูงกว่าพิกัด กำลังที่ผลิตได้ต้องถูกจำกัดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดกำลัง โดยใช้วิธีจำกัดพลังงานทางอากาศพลศาสตร์ แบบใดแบบหนึ่ง ระหว่างการควบคุมให้เกิดปรากฏการณ์การสูญเสียแรงยก (stall) และการปรับมุมใบพัด



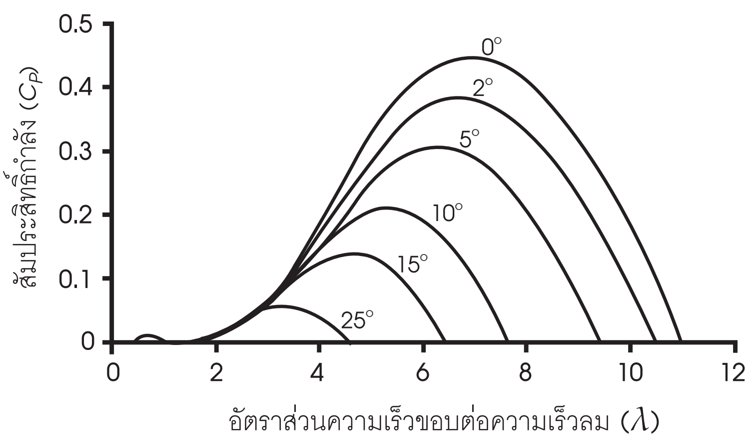
กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้า (power curve) ของกังหันลมขนาด 3 เมกะวัตต์

power coefficient (C_P) สัมประสิทธิ์กำลัง

อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้กับพลังงานลมที่เข้ากังหันลม บ่งบอกถึงประสิทธิภาพทางเทคนิคของกังหันลม

$$C_P = \frac{\text{กำลังที่กังหันลมผลิตได้}}{\text{กำลังทั้งหมดในลมที่มีอยู่}}$$

หรืออาจแสดงได้อีกแบบหนึ่ง คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังที่กังหันผลิตได้กับพื้นที่กวาดลมของกังหันลม ค่าที่ได้ คือ กำลังการผลิตของกังหันลมต่อตารางเมตร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์กำลัง คือ จำนวนใบพัด ตำแหน่งมุมใบพัด และอัตราส่วนความเร็วขอบต่อความเร็วลม (tip speed ratio; λ) ถ้าต้องการกำลังจากกังหันลมสูงสุดต้องควบคุมค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_P) ให้มีค่าสูงสุด



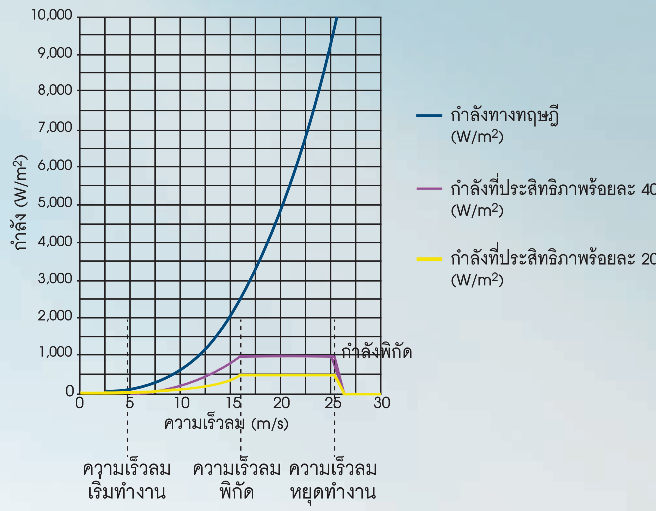
ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังอัตราส่วนความเร็วขอบต่อความเร็วลมและมุมใบพัด

rated power output พิกัดกำลังผลิต

ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กังหันลมผลิตได้อย่างต่อเนื่องที่ความเร็วลมพิกัด (อยู่ระหว่าง 10 ถึง 14 เมตรต่อวินาที) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตกังหันลมเป็นผู้กำหนดค่าพิกัดกำลังผลิตควบคู่ไปกับค่าความเร็วลมพิกัด ถ้าลมมีความเร็วสูงกว่าความเร็วลมพิกัด (พลังงานที่สามารถสกัดได้มีมากกว่าพิกัด) กังหันลมขนาดใหญ่จะควบคุมกำลังการผลิตให้มีค่าเท่ากับพิกัดกำลัง สำหรับกังหันลมขนาดเล็กค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าไม่คงที่ (อาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าพิกัดกำลังผลิต) ค่าพิกัดกำลังผลิตจะเป็นตัวกำหนดขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ปกติจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเล็กน้อย) เส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์กังหันลม (มีค่ามากถ้าเป็นกังหันลมความเร็วลมต่ำ และมีค่าน้อยถ้าเป็นกังหันลมความเร็วลมสูง)

rated rotor speed พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัด

ความเร็วรอบต่ำสุดของชุดแกนหมุนใบพัดที่ทำให้กังหันลมสกัดพลังงานจากลมได้เท่ากับพิกัด (ต้องสอดคล้องกับความเร็วพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมีค่าพิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัดสูงระหว่าง 100-500 รอบต่อนาที กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ชุดแกนหมุนใบพัดต่อกับเพลาความเร็วรอบต่ำมีค่าต่ำ ระหว่าง 5-20 รอบต่อนาที



กราฟแสดงความเร็วลมกับกำลังจากลมตามทฤษฎี พิกัดกำลังผลิตไฟฟ้าที่กังหันลมสกัดได้ถ้ากังหันลมมีประสิทธิภาพร้อยละ 40 และ 20

rotor blade ชุดแกนหมุนใบพัด

องค์ประกอบหนึ่งของกังหันลม ทำหน้าที่รับหรือปะทะกับแรงลมทำให้กังหันลมหมุน ประกอบด้วย ใบพัด (blade) ชุดควบคุมการปรับมุมใบพัด (pitch control) ซึ่งมีในกังหันลมขนาดใหญ่ ดุมใบพัด (hub) และเพลาโรเตอร์ (rotor shaft)

ใบพัด (blade) กังหันลมถูกออกแบบให้สามารถสกัดพลังงานจากลมได้สูงสุดโดยใช้แรงทางอากาศพลศาสตร์ในการเคลื่อนและยังต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณโคนใบพัดที่มีความเครียดสูง เนื่องจากแรงบิดสูงที่สุด ใบพัดต้องบิดมุมเนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของใบพัดมีค่าไม่เท่ากัน คือ บริเวณปลายปีกใบพัดที่อากาศเคลื่อนผ่านเร็วกว่า ทำให้มุมที่อากาศกระทำต่อใบพัดมีค่ามาก จึงจำเป็นต้องบิดมุมใบพัดไปด้านหน้า และค่อยๆ ลดลงจนถึงโคนใบพัด มุมบิดมีค่าประมาณ 10 ถึง 20 องศาจากโคนใบพัดถึงปลายใบพัด ความหนาของแพนอากาศของใบพัดจากปลายใบถึงโคนใบพัดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อที่จะทำให้โครงสร้างของใบพัดสามารถรับโหลดที่เกิดจากแรงทางอากาศพลศาสตร์และแรงโน้มถ่วงของโลกได้ โดยอัตราส่วนความหนาต่อความยาวของคอร์ด (chord) จะมีค่าประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 ตลอดความยาวใบพัด

ชุดควบคุมการปรับมุมใบพัด (pitch control) ทำหน้าที่ปรับมุมใบพัดกังหันลมให้หมุนเข้าหาลม (feathering) หรือหมุนห่างจากลม (active stall) เพื่อลดพลังงานที่รับจากลมและควบคุมการผลิตพลังงานให้คงที่เท่ากับพิกัด

ดุมใบพัด (hub) ของกังหันลมมี 2 ลักษณะ คือ ดุมใบพัดแบบง่าย ใบพัดกังหันลมยึดโดยตรงกับดุมใบพัดโดยใช้โบลต์และดุมใบพัดแบบซับซ้อน ใบพัดกังหันลมยึดกับชุดปรับมุมใบพัด เพื่อปรับมุมใบพัดให้เหมาะสมกับความเร็วลมต่างๆ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของการหมุนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และชุดปรับมุมใบพัดก็จะยึดกับดุมใบพัดด้วยโบลต์ซึ่งต่อกับเพลาของโรเตอร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับกล่องเกียร์หรือต่อโดยตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า


ชุดแกนหมุนใบพัดของกังหันลมขนาดใหญ่


ลักษณะการควบคุมการปรับมุมใบพัด


ดุมใบพัด

roughness ความขรุขระ

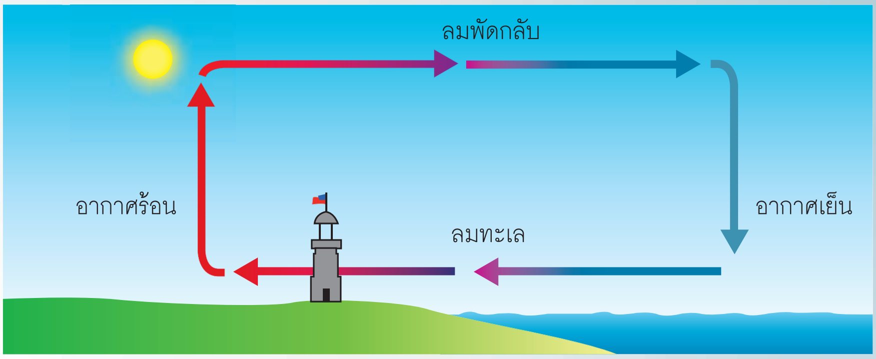
ความขรุขระของพื้นผิวโลกที่มีผลต่อความเร็วลมที่พัดผ่าน ลมที่พัดผ่านป่าไม้และเมืองใหญ่มีความเร็วลดลง ลมที่พัดผ่านรันเวย์คอนกรีตในสนามบินจะมีความเร็วลดลงเล็กน้อย ลมที่พัดผ่านผิวน้ำ ซึ่งเรียบกว่าผิวคอนกรีตมีความเร็วลดลงน้อยกว่าผิวคอนกรีต แต่สนามหญ้าและพุ่มไม้ทำให้ความเร็วลมชะลอตัวลงมากกว่า ความขรุขระแสดงโดยชั้นความขรุขระ (roughness class) และความยาวของค่าความขรุขระ (roughness length, z_0) ในอุตสาหกรรมพลังงานลมแสดงชั้นความขรุขระและความยาวของค่าความขรุขระ เมื่อประเมินสภาพลมในพื้นที่ต่างๆ ชั้นความขรุขระสูง 3-4 หมายถึงภูมิทัศน์ที่ประกอบด้วยต้นไม้จำนวนมากและอาคาร พื้นผิวทะเลมีชั้นความขรุขระเท่ากับ 0 รันเวย์คอนกรีตในสนามบินมีชั้นความขรุขระเท่ากับ 0.5 เช่นเดียวกับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (ดู wind shear)

ชั้นความขรุขระ	ความยาวของค่าความขรุขระ (เมตร)	ดัชนีพลังงาน (ร้อยละ)	ชนิดของภูมิทัศน์
0	0.0002	100	พื้นผิวน้ำ
0.5	0.0024	73	ภูมิประเทศเปิดที่มีพื้นผิวเรียบ เช่น พื้นคอนกรีตรันเวย์ในสนามบินสนามหญ้าตัดแล้ว ฯลฯ
1	0.03	52	พื้นที่การเกษตรที่เปิดโล่ง ไม่มีรั้วและพุ่มไม้ และบ้านเรือนอยู่เบาบาง มีเนินโค้งมนเพียงเล็กน้อย
1.5	0.055	45	ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่มีบ้านเบาบาง และมีแนวพุ่มไม้สูง 8 เมตร ปกป้องห่างประมาณ 1,250 เมตร
2	0.10	39	ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่มีบ้านเบาบาง และมีแนวพุ่มไม้สูง 8 เมตร ปกป้องห่างประมาณ 500 เมตร
2.5	0.20	31	ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่มีบ้านหลายๆ หลัง พุ่มไม้ และพืช หรือมีแนวพุ่มไม้สูง 8 เมตร ห่างประมาณ 250 เมตร
3	0.40	24	หมู่บ้าน เมืองเล็กๆ ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่มีพุ่มไม้จำนวนมากหรือสูง ป่าไม้ และสภาพภูมิประเทศที่ขรุขระและไม่สม่ำเสมอ
3.5	0.80	18	เมืองขนาดใหญ่ที่มีอาคารสูง
4	1.60	13	เมืองใหญ่มากที่มีอาคารสูง และตึกระฟ้า

ตารางแสดงค่าชั้นความขรุขระ (roughness classes) และความยาวของค่าความขรุขระ

sea breeze, onshore breeze ลมทะเล

ลมประจำถิ่น ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างทะเลกับแผ่นดินบริเวณชายฝั่งทะเลในเวลากลางวัน เมื่อพื้นดินได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ พื้นดินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวลอยขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่า จะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นลมพัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง เรียกว่า ลมทะเลจะเริ่มพัดในเวลาประมาณ 10.00 น. ลมทะเลพัดเข้าหาฝั่งได้ไกลถึง 16-48 กิโลเมตร และความแรงลมจะลดลงเมื่อเข้าถึงฝั่ง ลมทะเลมีความสำคัญต่ออุณหภูมิของอากาศบริเวณชายฝั่ง ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง เช่นก่อนที่ลมทะเลจะพัดเข้าพื้นดินมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่เมื่อลมทะเลพัดผ่านเข้าไป ทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น 22 องศาเซลเซียสในช่วงบ่าย



การเคลื่อนที่ของอากาศขณะเกิดลมทะเลในเวลากลางวัน

sheltered terrain แนวกำบังลม

ภูมิประเทศที่มีแนวต้นไม้เพื่อกำหนดแนวเขตหรือเป็นที่กำบังลม

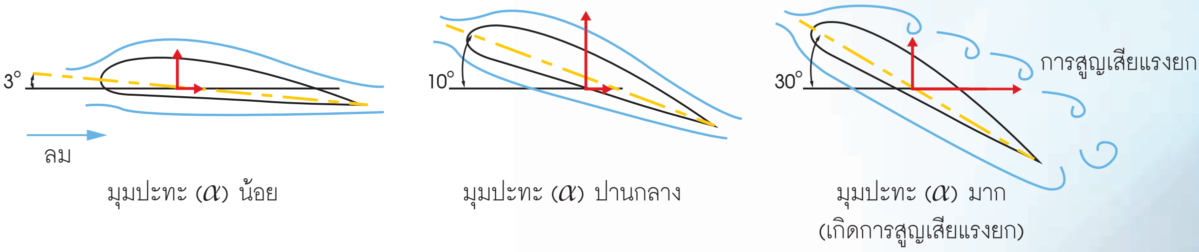

แนวต้นไม้

southwest local wind ลมตะเภา

ลมท้องถิ่นในประเทศที่พัดจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ คือ พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นลมที่นำความชื้นมาสู่ภาคกลางตอนล่าง ในสมัยโบราณลมนี้จะช่วยพัดเรือสำเภา ซึ่งเข้ามาค้าขายให้แล่นไปตามลำน้ำเจ้าพระยา และพัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรืออาจจะเรียกว่า ลมข้าวเบา เพราะพัดในช่วงที่ข้าวเบากำลังออกรวง

stall การสูญเสียแรงยก

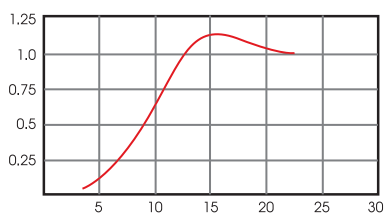
ปรากฏการณ์ที่เกิดเมื่ออากาศที่ไหลผ่านเหนือแพนอากาศ เกิดการแยกตัวออกจากพื้นผิวและก่อให้เกิดลมหมุนขึ้น ทำให้แรงยกมีค่าลดลงและเกิดแรงลากมากขึ้น ถ้าเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้กับเครื่องบินเป็นภาวะที่เป็นอันตรายสูงสุดเพราะเป็นสาเหตุให้เครื่องบินตกได้



ลักษณะการปรับมุมปะทะของใบพัดกังหันลม

ปรากฏการณ์นี้เป็นประโยชน์ในการจำกัดพลังงานจากลมที่กระทำต่อกังหันลม เมื่อความเร็วลมสูงกว่าความเร็วลมพิกัดในกังหันลมแกนหมุนแนวนอน (ดู horizontal axis wind turbine (HAWT)) ที่ไม่สามารถปรับมุมใบพัดได้ส่งผลทำให้มุมปะทะ (α) มีค่าเพิ่มขึ้นใบพัดกังหันลมเกิดการสูญเสียแรงยก พลังงานจากลมจะถูกจำกัดให้ลดลงได้ (แต่มีค่าไม่คงที่) และในขณะที่เกิดการสูญเสียแรงยกจะส่งผลทำให้เกิดความเครียดกับใบพัดกังหันลมมากขึ้น และเกิดเสียงดังมากขึ้นไปด้วย ในกังหันลมที่สามารถปรับมุมใบพัดได้ เมื่อปรับมุมใบพัดเพื่อเพิ่มมุมปะทะ (α) ใบพัดกังหันลมจะทำงานในสภาวะการสูญเสียแรงยก ส่งผลให้แรงยกของกังหันลมลดลงทำให้กังหันลมสามารถจำกัดพลังงานจากลมให้คงที่ได้ แต่การปรับมุมใบพัดให้เกิดการสูญเสียแรงยกเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของใบพัดให้หันหน้าหาลมมากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงลากมากขึ้นใบพัดก็จะได้รับความเครียดมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

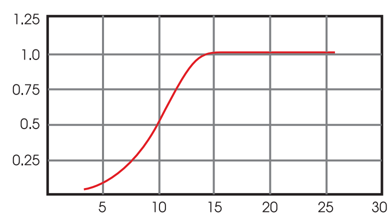
การเกิดการสูญเสียแรงยกตามธรรมชาติ



ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

การสูญเสียแรงยกตามธรรมชาติ

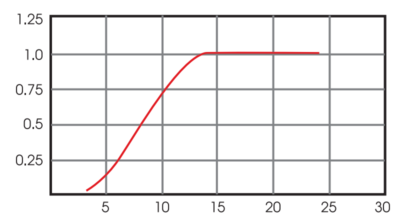
การควบคุมให้เกิดการสูญเสียแรงยก (เพิ่ม α)



ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

การควบคุมให้เกิดการสูญเสียแรงยก

การควบคุมมุมใบพัด (ลด α)



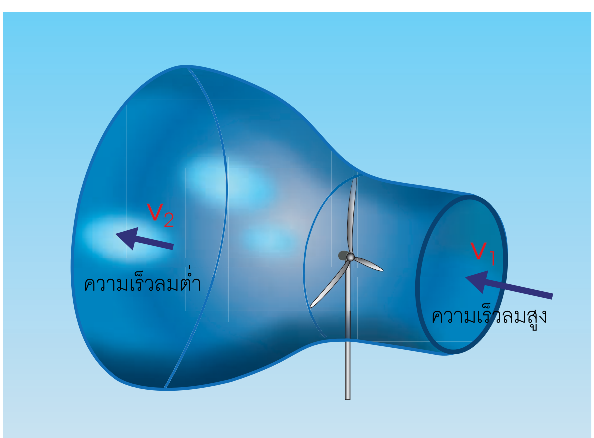
ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

การควบคุมมุมใบพัด

กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

stream tube ลำการไหล

กลุ่มของเส้นการไหลที่มีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องผ่านหน้าตัดหนึ่งๆ ลำการไหลของอากาศจะไหลเข้าโรเตอร์ของกังหันลมด้วยความเร็วลมสูง (พื้นที่หน้าตัดน้อย) แต่เมื่ออากาศไหลออกจะไหลด้วยความเร็วลมต่ำ (พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น)

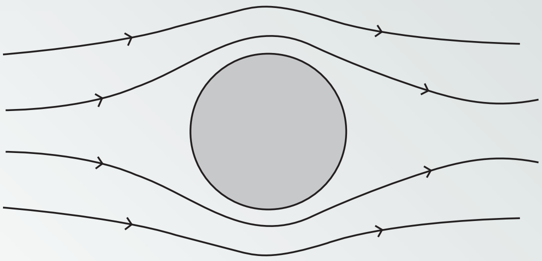


ลำการไหลของอากาศผ่านกังหันลม

streamlines เส้นการไหล

เส้นแสดงทางเดินของของไหล โดยสมมติว่าอนุภาคที่ไม่มีมวลเคลื่อนที่ไปกับการไหลทำให้เกิดเส้นการไหลขึ้น

เส้นการไหลผ่านแพนอากาศ



เส้นการไหลผ่านทรงกระบอก

survival wind speed ความเร็วลมอยู่รอด

ความเร็วลมสูงสุดที่โครงสร้างของกังหันลมที่ออกแบบไว้สามารถทนได้อย่างปลอดภัย ส่วนใหญ่กำหนดอยู่ในช่วง 50 เมตรต่อวินาที ถึง 65 เมตรต่อวินาที (112 ไมล์ต่อชั่วโมง ถึง 145 ไมล์ต่อชั่วโมง) หลายประเทศควบคุมโดยมาตรฐานแห่งชาติสามารถระบุค่าความเร็วลมอยู่รอดให้สูงขึ้นได้ สำหรับการติดตั้งในสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติหรือพิเศษ กังหันลมขนาดเล็กที่มีกลไกสำหรับการหุบตัว (furling) จะยังคงผลิตไฟฟ้าได้ถึงความเร็วลมอยู่รอด ในขณะที่กังหันลมที่ไม่มีกลไกสำหรับการหุบตัวไม่สามารถทำได้ ความเร็วลมอยู่รอดเป็นการรับประกันหรือการบ่งบอกถึงความปลอดภัยว่ากังหันลมจะไม่ได้รับความเสียหายใด ๆ

tunnel effect ผลกระทบของช่องลม

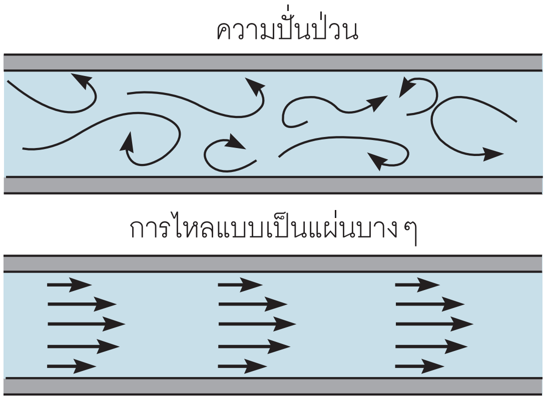
ผลกระทบของความเร็วลม เมื่อเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ ช่องเขาแคบ ๆ หรือช่องระหว่างอาคารสูง อากาศจะถูกบีบอัด ส่งผลทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้น นำมาใช้เป็นพลังงานป้อนกังหันลมได้ แต่ถ้าเกิดในบริเวณช่องเขาที่ไม่ราบเรียบจะส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น และส่งผลกระทบต่อกังหันลมที่ติดตั้งไว้

การติดตั้งกังหันลมในบริเวณช่องภูเขา

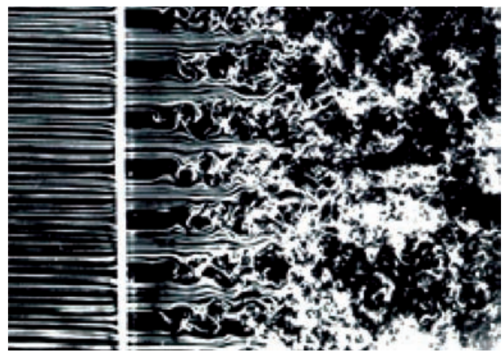
การออกแบบอาคารร่วมกับการติดตั้งกังหันลม

turbulence ความปั่นป่วน

สภาพการเคลื่อนไหวอย่างไม่เป็นระเบียบของบรรยากาศหรือกระแสของไหล ไม่สามารถคำนวณหรือคาดการณ์ทิศทาง ความเร็ว และอัตราการไหลของมวลโมเลกุลของกระแสของไหลที่มีความปั่นป่วนได้



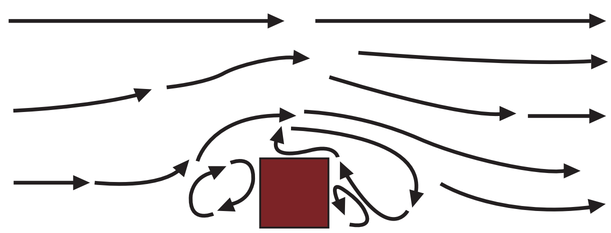
ภาพการเกิดไหลแบบปั่นป่วน



มีรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนและเป็นแผ่น

การเกิดพายุลูกเห็บหรือพายุฝนฟ้าคะนอง ทำให้เกิดลมกระโชกที่มีความปั่นป่วนและกระแสหมุนวน ซึ่งอาจทำให้กังหันลมเสียหายจากการฉีกขาด สึกหรอและล้าได้มากกว่าปกติ และมีอายุการใช้งานสั้น ควรออกแบบเสาของกังหันลมให้มีความสูงพอจะหลีกเลี่ยงความปั่นป่วนของลมบริเวณใกล้ระดับพื้นดินได้

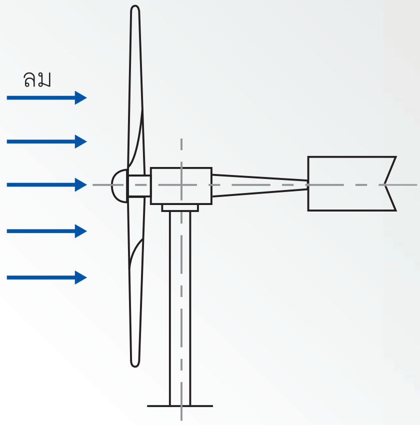
แนวต้นไม้ที่ขวางทางลมทำให้เกิดความปั่นป่วนพัดเขากังหันลม



ความปั่นป่วนที่เกิดจากวัตถุกีดขวาง

upwind turbine กังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม

กังหันลมที่หันหน้าเข้าหาลมในขณะทำงาน ใบพัดของกังหันลมอยู่ด้านหน้าของห้องเครื่อง มีอุปกรณ์ปรับทิศทางของกังหันลมให้อยู่ในทิศเดียวกับลมตลอดเวลา กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ (เมกะวัตต์) เป็นกังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลมทั้งสิ้น ข้อดี คือ ลดผลที่เกิดจากเงาของเสากังหันลม เมื่อใบพัดหมุนมาอยู่ตรงกับเสากังหันลม ลมจะพัดผ่านใบพัดกังหันลมก่อนที่จะมาถึงเสา ข้อเสีย คือ ตำแหน่งของโรเตอร์ที่ติดอยู่กับห้องเครื่องกังหันลม จะต้องห่างพอที่จะไม่ถูกใบพัดหมุนมาตีกับเสากังหันลม ส่วนตัวโครงสร้างของใบพัดต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดการแอ่นตัวจนมาตีกับเสากังหันลม

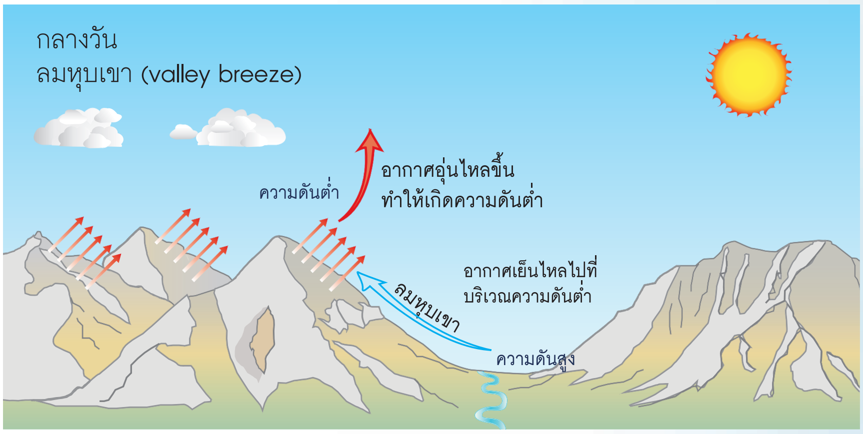


ลักษณะการทำงานของกังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม

กังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม

valley breeze ลมหุบเขา

ลมประจำถิ่น เกิดขึ้นประจำวัน เช่นเดียวกับลมบกและลมทะเล เกิดในช่วงกลางวันที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีมายังภูเขาและหุบเขาที่อยู่ด้านล่าง ทำให้อุณหภูมิของภูเขาที่ระดับสูงหรือยอดเขา มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิตามที่ต่ำหรือหุบเขา ความหนาแน่นของอากาศในระดับสูงน้อยกว่าและลอยตัวสูงขึ้น อากาศจากที่ต่ำหรือหุบเขาจึงพัดขึ้นไปแทนที่



การเกิดลมหุบเขาในเวลากลางวัน

vertical axis wind turbine กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง

กังหันลมชนิดนี้ เพลาแกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นราบ หรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมมีหลายรูปแบบ ข้อดีที่สำคัญ คือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับบริเวณที่มีการเปลี่ยนทิศทางลมบ่อย ๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบเกียร์วางอยู่ใกล้พื้นดิน เพลาของกังหันลมสามารถขับต่อโดยตรงกับเกียร์ที่อยู่ที่พื้นดิน ทำให้บำรุงรักษาได้ง่าย ทำงานเงียบ เหมาะสำหรับติดตั้งในชุมชน ข้อเสีย คือ ติดตั้งในระดับพื้นดินซึ่งมีความเร็วลมต่ำ ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ลดลง นอกเหนือจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) ของกังหันลมต่ำกว่ากังหันลมแกนหมุนแนวนอน (ดู horizontal axis wind turbine (HAWT)) เนื่องจากใบพัดด้านหนึ่งเกิดแรงยก แต่อีกด้านเกิดแรงลากสวนทิศทางลม ชนิดที่นิยมมากที่สุด คือ กังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus vertical axis wind turbine) และกังหันลมแบบซาโวเนียส (savonius wind turbine)

กังหันลมแบบแดร์เรียสเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็น "eggbeater" ถูกคิดค้นโดย Georges Darrieus ในปี ค.ศ.1931 กังหันลมแบบแดร์เรียสหมุนด้วยความเร็วสูง แรงบิดต่ำ (เปรียบเทียบกับกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งแบบอื่น ๆ เหมาะสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า

โดยทั่วไปการเริ่มต้นหมุนจำเป็นต้องมีเครื่องช่วยในการออกตัวของกังหันเพราะแรงบิดออกตัวของกังหันลมมีค่าต่ำมาก กังหันลมแบบแดร์เรียสมีใบพัดสองใบหมุนรอบเพลาแนวตั้ง โดยแรงที่ใช้ในการหมุนใช้แรงยกทางอากาศพลศาสตร์

กังหันลมแบบซาโวเนียสเป็นกังหันที่ทำงานโดยอาศัยแรงลาก (มีประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันที่ทำงานโดยอาศัยแรงยก) ขณะทำงานจะหมุนด้วยความเร็วต่ำแต่แรงบิดสูง เหมาะสำหรับใช้แรงบิดในการสูบน้ำ การโม่แป้ง

กังหันลมแบบแนวตั้งที่ผลิตได้ในประเทศไทย

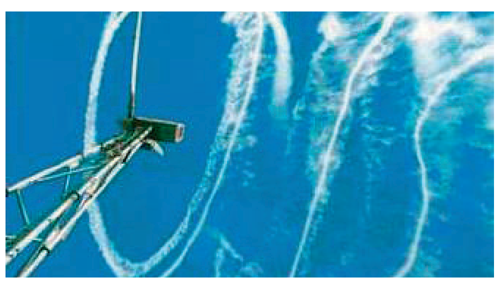
กังหันลมแบบแดร์เรียส

กังหันลมแบบไจโรมิล (Giromill)

กังหันลมแบบซาโวเนียส

wake effect ผลกระทบของการหมุนวนด้านหลัง

ผลกระทบจากการหมุนวน ความปั่นป่วน และการลดความเร็วของลมที่เกิดขึ้นด้านหลังของกังหันลมในขณะทำงาน เกิดเนื่องจากกังหันลมหมุนและสกัดพลังงานไฟฟ้าออกจากลม ทำให้พลังงานในลมมีค่าลดลง ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังสำหรับทุ่งกังหันลมการลดผลกระทบนี้มักจะทำโดยการติดตั้งกังหันลมให้มีระยะห่างจากกันอย่างน้อยสามถึงห้าเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางโรเตอร์



ผลกระทบของการหมุนวนด้านหลังของกังหันลม Riso National Laboratory ประเทศเดนมาร์ก

water haul windmill กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ

อุปกรณ์ฉุดน้ำจากที่ต่ำมาใช้ในที่สูง เป็นการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านตั้งแต่สมัยโบราณ เพื่อใช้ในนาข้าว นาเกลือ และนากุ้ง และยังพบเห็นอยู่ในปัจจุบัน วัสดุที่ใช้สร้างกังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูกและมีความเหมาะสมต่อการใช้งานตามสภาพพื้นที่ภูมิประเทศ เช่น เสื่อลำแพนหรือผ้าใบ ใบพัดกังหันลมปกติจะมีจำนวน 6 ใบพัด ตัวโครงเสา รางน้ำและใบระหัด ทำจากไม้เนื้อแข็ง กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำทำงานที่ความเร็วลมตั้งแต่ 2.5 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป หากมีลมแรงมากไปก็สามารถปรับม้วนใบเก็บให้เหลือสำหรับรับแรงลมเพียง 3 ใบ เมื่อไม่ต้องการใช้งานก็ม้วนใบเก็บได้ทั้ง 6 ใบ ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ คือ ใบพัด เสากังหันลม สายพานขับแกนเพลา แกนเพลา รางน้ำ และระหัด

กังหันลมฉุดน้ำเข้านาเกลือ

รางและระหัดไม้ฉุดน้ำเข้านาเกลือ

Weibull distribution การแจกแจงแบบไวบูลล์

การแจกแจงทางสถิติวิธีหนึ่ง แสดงการกระจายความน่าจะเป็นอย่างต่อเนื่องของฟังก์ชันใด ๆ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ตัวที่ใช้แทนลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล เป็นการแจกแจงที่ได้รับความนิยมในการใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลม พารามิเตอร์ของการแจกแจงไวบูลล์ประกอบด้วย พารามิเตอร์รูปร่าง (shape parameter, k) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลความเร็วลม ถ้ามีค่าต่ำ แสดงว่ามีความเร็วลมต่ำ พัดบ่อยกว่าความเร็วลมสูง และพารามิเตอร์ระดับ (scale parameter, c) เป็นพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับอัตราเร็วลมเฉลี่ย ถ้าความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูง ค่าจะสูงตามไปด้วย สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม กับการแจกแจงไวบูลล์ คือ

$$\overline{v} = c\int_{0}^{\infty}\left(\frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{k}} e^{-\frac{v}{c}}\, d\left(\frac{v}{c}\right)$$

เมื่อ k คือ พารามิเตอร์รูปร่างของไวบูลล์

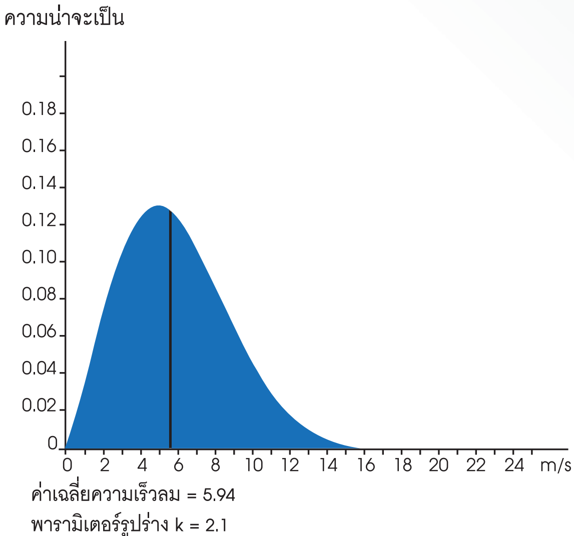
c คือ พารามิเตอร์ระดับของไวบูลล์

v คือ ความเร็วของลม (เมตรต่อวินาที)

ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง k มีความสัมพันธ์กับทิศทาง และความเร็วลมของลมแต่ละชนิดตามตาราง

k	ชนิดของลม
1.0	ลมขั้วโลก, ลมที่พัดในที่มีสิ่งปกคลุม
1.5	ลมแถบเมดิเตอร์เรเนียน, ลมพัดบริเวณทะเลทราย
2.0	ลมบนพื้นดิน และทะเลบริเวณเขตอบอุ่น
2.5	ลมที่พัดบริเวณละติจูดที่ 40 องศา
4	ลมสินค้า

ตารางแสดง ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง k ของลมแต่ละชนิด



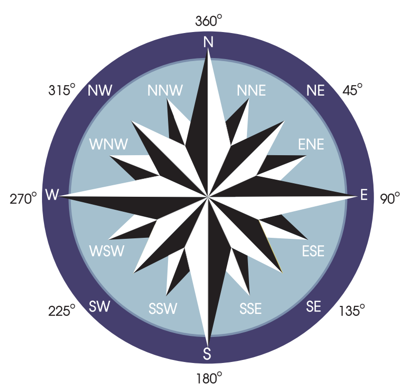
กราฟการกระจายความเร็วลมแบบไวบูลล์

อุตสาหกรรมด้านพลังงานลมใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์ เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม ผู้ออกแบบกังหันลมต้องการข้อมูลเพื่อออกแบบกังหันลมให้เหมาะสม มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่ำสุด และผู้ลงทุนต้องการข้อมูลเพื่อประมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

wind direction ทิศทางลม

ทิศการกำเนิดของกระแสลมเทียบกับจุดสังเกต อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดตามเข็มทิศและวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ซึ่งแบ่งย่อยออกรวมเป็น 8 ทิศ คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริงในลักษณะเวียนตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ ลมทิศ 45 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ลมทิศ 90 องศาเป็นทิศตะวันออก ลมทิศ 135 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้ ลมทิศ 180 องศาเป็นทิศใต้ ลมทิศ 225 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้ ลมทิศ 270 องศาเป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นต้น

เครื่องวัดทิศทางลม (wind vane) ใช้หลักการการต้านทานอากาศของแพนหาง เมื่อมีอากาศไหลผ่านอุปกรณ์วัดทิศทางลมในทิศทางตั้งฉาก หรือทำมุมกับเครื่องวัด จะเกิดแรงกระทำมากที่สุดบริเวณแพนหางของเครื่องวัดซึ่งมีพื้นที่ต้านอากาศมากที่สุด แรงลมจะผลักให้แพนหางหมุนรอบแกนหมุน จนแพนหางมีทิศทางขนานกับทิศทางลมซึ่งมีพื้นที่ต้านอากาศน้อยที่สุด จากหลักการนี้ ทำให้สามารถระบุทิศทางลมได้



การแบ่งทิศทางลม


เครื่องวัดทิศทางลม

wind energy พลังงานลม

พลังงานจลน์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ ใช้เครื่องมือต่างๆ เปลี่ยนรูปพลังงานให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้ประโยชน์ได้ เช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้า (wind turbine) สีลม (windmill) สูบน้ำหรือระบายน้ำ หรือใช้ร่องใบเรือเพื่อขับเคลื่อนเรือใบ พลังงานลมทั้งหมดที่ไหลผ่านพื้นที่ A ในช่วงเวลา t สามารถคำนวณได้จาก

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(\rho A_t v)v^2 = \frac{1}{2}\rho A_t v^3$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

v คือ ความเร็วลม

A_t คือ พื้นที่ A

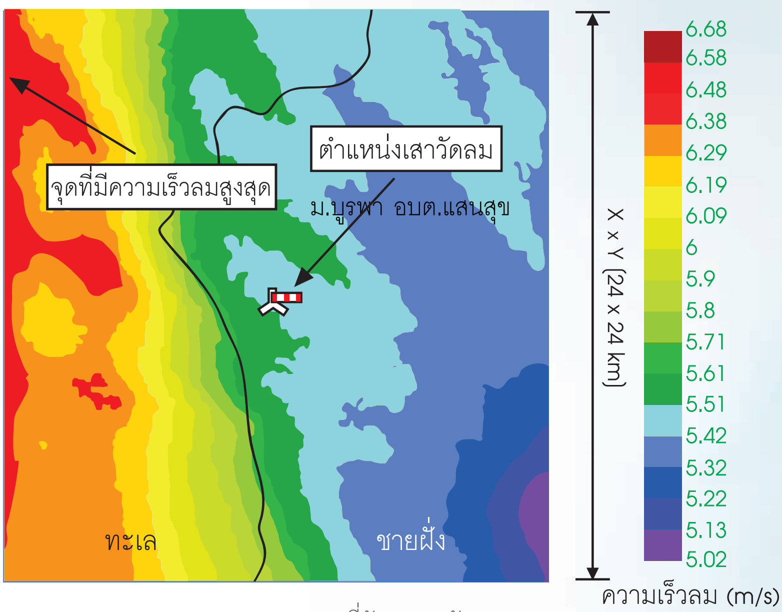
m คือ มวลต่อหนึ่งหน่วยเวลา

พลังงานลมแปรผันกับความเร็วลมยกกำลัง 3 ซึ่งแสดงว่าพลังงานลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 8 เท่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นเพียง 2 เท่า

wind-energy potential ศักยภาพพลังงานลม

ข้อมูลหรือแผนที่ซึ่งบ่งบอกถึงความเร็วลม พลังงานที่มีอยู่ในลมในบริเวณนั้นๆ ในช่วงเวลาต่างๆ โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย กราฟการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม กราฟการกระจายตัวของทิศทางลมและพลังงานที่อยู่ในลม เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการเลือกรูปแบบของกังหันลมที่เหมาะสมหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม คำนวณความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์และองค์ประกอบอื่นๆ

ในการวางแผนสร้างทุ่งกังหันลมมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาศักยภาพพลังงานลมในบริเวณนั้นๆ ทำโดยติดตั้งเสาสูงเพื่อติดตั้งระบบตรวจวัดความเร็วลมโดยทั่วๆ ไป อุปกรณ์ที่ติดตั้งจะประกอบไปด้วย เครื่องวัดความเร็วลมและเครื่องวัดทิศทางลมที่ระดับต่างๆ (โดยความสูงของเครื่องมือวัดจะต้องเหมาะสมกับกังหันลมที่จะเลือกใช้) เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความดันบรรยากาศ และอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลลักษณะการติดตั้ง ความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลต้องมีระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี หลังจากรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากการวัดแล้ว ก็จะต้องนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาศักยภาพพลังงานลม



แผนที่ศักยภาพพลังงานลม

สถานีวัดความเร็วลมที่มหาวิทยาลัยบูรพา

wind farm ทุ่งกังหันลม

กลุ่มของกังหันลมที่ติดตั้งในบริเวณเดียวกันสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า กระจายไปทั่วพื้นที่ ที่ดินระหว่างกังหันสามารถทำประโยชน์อื่นได้ เช่น เกษตรกรรมหรืออื่นๆ ทุ่งกังหันลมอาจจะอยู่ได้ทั้งบนบกและในทะเล ทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดใช้กังหันลมแกนแนวนอน (ดู horizontal axis wind turbine (HAWT)) ที่มีใบพัดสามใบหันหน้าเข้าสู่ลม โดยโรเตอร์ของใบพัดยึดติดกับห้องเครื่องของกังหันลมซึ่งติดตั้งอยู่บนยอดเสาทรงกระบอก กังหันลมแต่ละตัวจะเชื่อมต่อกันภายในด้วยระบบแรงดันไฟฟ้าปานกลาง (ส่วนใหญ่ 34.5 กิโลโวลต์) พร้อมระบบการจัดเก็บพลังงานและเครือข่ายการสื่อสารกับสถานีย่อย แรงดันไฟฟ้าปานกลางจะถูกยกระดับขึ้นให้เป็นไฟฟ้าแรงดันสูงโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้ากับระบบแรงดันสูงในระบบส่งกำลัง

ทุ่งกังหันลมบนบก (onshore wind farm) ขนาดใหญ่หลายแห่งที่ใช้งาน ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 2012 ทุ่งกังหันลม Alta Wind Energy Center เป็นทุ่งกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในโลกขนาด 1,020 เมกะวัตต์ และรองลงมา คือ ทุ่งกังหันลม Shepherds Flat Wind Farm (845 เมกะวัตต์) และทุ่งกังหันลม Roscoe Wind Farm (781.5 เมกะวัตต์) เดือนกันยายน ค.ศ. 2012 ส่วนทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล (offshore wind farm) ทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล Sheringham Shoal Wind Farm และทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล Thanet Wind Farm ในสหราชอาณาจักรเป็นทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลที่ใหญ่ที่สุดในโลกขนาด 317 เมกะวัตต์และ 300 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ตามมาด้วยทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล Horns Rev II Wind Farm ในประเทศเดนมาร์ก ขนาด 209 เมกะวัตต์


ทุ่งกังหันลมบนบก Whitelee Wind Farm สก็อตแลนด์ สหราชอาณาจักร


ทุ่งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล Kentish Flats Offshore Wind Farm นอกชายฝั่งเค้นท์ ประเทศอังกฤษ

wind gust ลมกระโชก

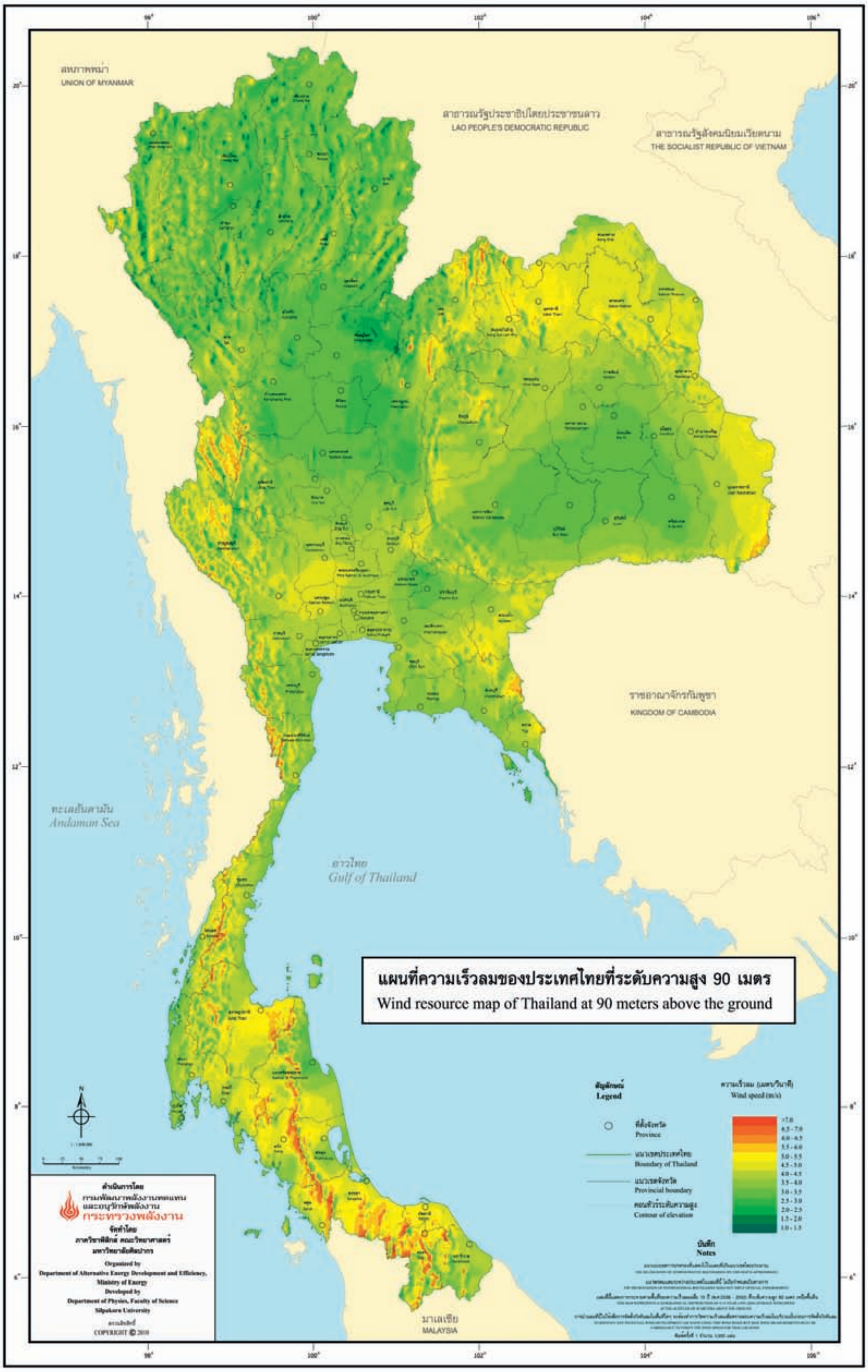
ลมที่เปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างฉับพลัน โดยเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในระยะเวลาสั้นๆ ตัวอย่างเช่น คำนิยามของลมกระโชกที่กำหนดโดยสำนักงานอุตุนิยมวิทยาอเมริกัน คือ ลมที่เพิ่มความเร็วขึ้นอย่างฉับพลันในระยะสั้นๆ ความเร็วของลมกระโชกจะมีความเร็วลมสูงสุดอย่างน้อย 16 นอต (8.234 เมตรต่อวินาที) และการเปลี่ยนแปลงในความเร็วลมจากค่าสูงสุดถึงค่าต่ำสุดอย่างน้อย 9 นอต (4.632 เมตรต่อวินาที) ในเวลาน้อยกว่า 20 วินาที ทำให้เครื่องบินเสียการทรงตัว และกังหันลมเกิดความเสียหาย

ลมกระโชกพัดปีกเครื่องบิน A310 เอียง ที่ฐานทัพอากาศ Lajes
ในหมู่เกาะ Azores ประเทศโปรตุเกส

สภาพกังหันลมล้ม ที่รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อเกิดลมกระโชก
ความเร็วลมมากกว่า 30 ไมล์ต่อชั่วโมง และสูงที่สุด 45 ไมล์ต่อชั่วโมง

wind map แผนที่ศักยภาพพลังงานลม

แผนที่ลม (wind map) คือ แผนที่ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่ใช้แสดงว่าตำแหน่งต่างๆ บนแผนที่นั้นมีลักษณะลมเป็นอย่างไร โดยการทำแผนที่ลมในระยะแรกๆ (ในอดีต) จะแสดงค่าความเร็วเฉลี่ยของลมตลอดปีในรูปของเส้นชั้นความสูง ซึ่งเป็นเส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากัน แต่ในปัจจุบันมีผู้พัฒนาโปรแกรมคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์นิยมแสดงในรูปสเกลสีที่ทำให้ง่ายต่อการอ่านค่ามากขึ้น แผนที่ลมแบ่งจำแนกเป็น 4 ระดับใหญ่ๆ คือ ไมโครสเกล (micro scale) เมโซสเกล (meso scale) แมคโครสเกล (macro scale) และ เมกะสเกล (mega scale)



แผนที่ความเร็วลมของประเทศไทย วัดที่ระดับความสูง 90 เมตรเหนือพื้นดิน
ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

wind power class ชั้นกำลังลม

ช่วงที่แสดงค่าปริมาณกำลังลมตั้งแต่ต่ำที่สุดจนถึงสูงที่สุด จัดลำดับเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 7 แทนด้วยแถบสีต่างๆ การจำแนกชั้นกำลังลม เพื่อแสดงศักยภาพของแหล่งพลังงานลมของพื้นที่นั้นๆ โดยใช้การวัดค่าความหนาแน่นกำลังลมที่ความสูงมาตรฐาน 2 ระดับ คือ 10 เมตร และ 50 เมตร ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงเหนือพื้นดิน สำหรับทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่ต้องมีชั้นกำลังลมอยู่ที่ระดับ 4 หรือสูงกว่า

	10 m (33ft)		50 m (164ft)	
ชั้นกำลังลม	ความหนาแน่นของกำลังลม (W/m^2)	ช่วงความเร็วลมเฉลี่ย (b) m/s (mph)	ความหนาแน่นของกำลังลม (W/m^2)	ช่วงความเร็วลมเฉลี่ย (b) m/s (mph)
1	<100	<4.4 (9.8)	<200	<5.6 (12.5)
2	100 - 150	4.4 (9.8)/5.1 (11.5)	200 - 300	5.6 (12.5)/6.4 (14.3)
3	150 - 200	5.1 (11.5)/5.6 (12.5)	300 - 400	6.4 (14.3)/7.0 (15.7)
4	200 - 250	5.6 (12.5)/6.0 (13.4)	400 - 500	7.0 (15.7)/7.5 (16.8)
5	250 - 300	6.0 (13.4)/6.4 (14.3)	500 - 600	7.5 (16.8)/8.0 (17.9)
6	300 - 400	6.4 (14.3)/7.0 (15.7)	600 - 700	8.0 (17.9)/8.8 (19.7)
7	>400	>7.0 (15.7)	>800	>8.8 (19.7)

ความเร็วลมเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับการกระจายความเร็ว Rayleigh (Weibull ที่มีค่า k = 2) ของความหนาแน่นพลังงานลมเทียบเท่าความเร็วลมสำหรับเงื่อนไขที่ระดับน้ำทะเลมาตรฐาน

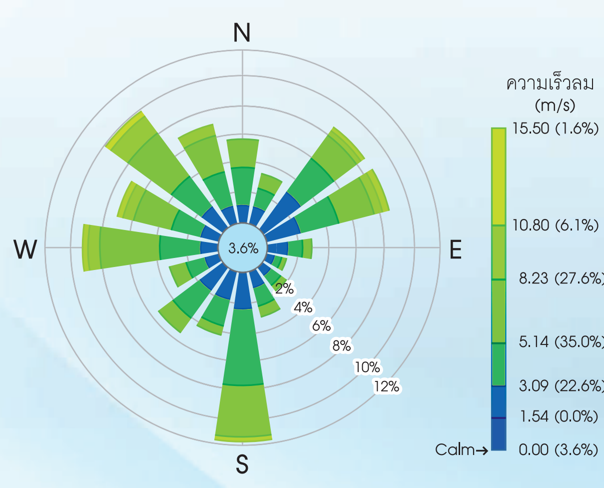
wind power density ความหนาแน่นกำลังลม

ปริมาณกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัด โดยองค์ประกอบที่มีผล 2 องค์ประกอบ คือ ความเร็วลม และความหนาแน่นของอากาศ ความหนาแน่นกำลังลมแปรผันกับกำลัง 3 ของความเร็วลม และแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าลดลงถ้าระดับความสูงและอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นกำลังลมลดลง ทุ่งกังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนภูเขา และอยู่ในเขตร้อนต้องคำนึงถึงผลกระทบนี้ด้วยการเปรียบเทียบแหล่งของทรัพยากรลม พิจารณาจากค่าความหนาแน่นกำลังลมที่แบ่งออกเป็นหลายระดับ โดยวัดความเร็วลมที่ความสูงที่กำหนด

wind rose แผนภูมิทิศทางลม

แผนผังแสดงสภาพ ปริมาณความเร็ว และทิศทางของลมในช่วงเวลาหนึ่งๆ ณ บริเวณที่วัดข้อมูลการจัดทำแผนภูมิทิศทางลมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยของความเร็วลมและทิศทางลมของช่วงเวลาสั้นๆ เช่น 1 สัปดาห์ 1 เดือนหรือนานกว่า จากนั้นจัดเรียงข้อมูลความเร็วลมที่เก็บรวบรวมได้ในแต่ละทิศทางลมและคำนวณเป็นร้อยละของเวลาที่ลมพัดมาจากทิศทางที่กำหนดการแสดงข้อมูลอยู่ในรูปกราฟวงกลม โดยข้อมูลทิศทางลมจะถูกจัดเรียง โดยแบ่งวงกลมออกเป็นสิบสองส่วนโค้งที่รองรับมุมเท่ากับ 30 องศา และความยาวกราฟในแนวรัศมีของแต่ละสิบสองส่วน แสดงร้อยละของเวลาที่ลมพัดในทิศทางนั้นๆ ข้อมูลความเร็วลมสามารถซ้อนทับในส่วนของแต่ละทิศทาง เพื่อแสดงความเร็วลมเฉลี่ยเมื่อลมพัดมาจากทิศทางนั้นๆ กับความเร็วลมสูงสุดในช่วงระยะเวลาการเก็บบันทึกข้อมูล โดยมีแถบสีที่ระบุระดับความเร็วของลมและค่าร้อยละของเวลาที่มีลมที่พัดในความเร็วที่ระบุในทิศทางดังกล่าวใช้แผนภูมิทิศทางลมเพื่อติดตั้งกังหันลมให้ได้ประสิทธิภาพและพลังงานที่ดีที่สุด ถ้าพลังงานลมส่วนใหญ่มาจากทิศทางใดทิศทางหนึ่ง การตั้งกังหันลมต้องเลือกบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุดในทิศทางนั้น และควรมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ

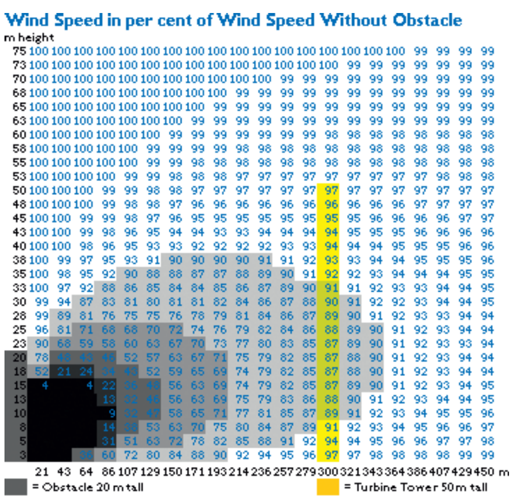
รูปแบบของลมในแต่ละปีอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง ทำให้พลังงานที่เกิดจากลมมีค่าเปลี่ยนไปบ้าง (ปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 10) ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุด คือการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันหลายปี แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล ในการวางแผนติดตั้งทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่โดยปกติจะต้องติดตั้งสถานีตรวจอากาศในบริเวณนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อยหนึ่งปี เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลระยะยาวจากสถานีตรวจอากาศที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อปรับแต่งข้อมูลให้มีความถูกต้องมากขึ้น



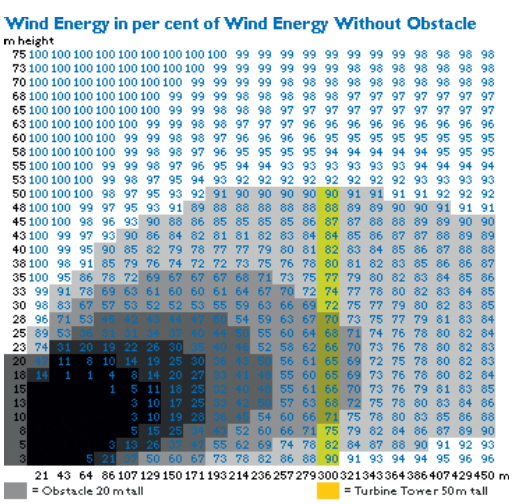
แผนภูมิทิศทางลม

wind shade เงาลม

ความเร็วลมที่ลดลงหลังจากการเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ซึ่งส่งผลกระทบต่อพลังงานที่กังหันลมผลิตได้ โดยที่กังหันลมที่ตั้งอยู่ในเขตเงาลมผลิตพลังงานได้จะมีค่าลดลงและแปรผันกับความเร็วลมที่ลดลงยกกำลัง 3 การลดผลกระทบของเงาลม คือ ต้องตั้งกังหันลมให้ห่างจากสิ่งกีดขวางเป็นระยะที่เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อเงาลม คือ ขนาด รูปร่างของสิ่งกีดขวาง รวมทั้งทิศทางลม



ร้อยละของความเร็วลมหลังสิ่งกีดขวางเทียบกับความเร็วลมที่ไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง



ร้อยละของพลังงานลมหลังสิ่งกีดขวางเทียบกับพลังงานลมที่ไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง เมื่อสิ่งกีดขวางเป็นตึกสูง 20 เมตร กว้าง 60 เมตร และกังหันลมสูง 50 เมตร อยู่ห่าง 300 เมตร (แถบสีเหลือง)

wind shear ลมเฉือน

รูปแบบของการลดลงของความเร็วลมเมื่อลมเคลื่อนที่อยู่ใกล้พื้นดิน การพล็อตค่าความเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีค่าความขรุขระ (ดู roughness) ระดับ 2 แสดงถึงรูปแบบของการลดลงของความเร็วลมเมื่อลมเคลื่อนที่อยู่ใกล้พื้นดิน (ลมเฉือน) ลมเฉือนมีความสำคัญต่อการออกแบบกังหันลม ถ้าพิจารณากังหันลมสูง 40 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เมตร ถ้าที่ปลายใบพัดด้านที่อยู่บนสุดลมพัดด้วยความเร็ว 9.3 เมตรต่อวินาที ปลายใบพัดด้านที่อยู่ล่างสุดลมจะพัดด้วยความเร็ว 7.7 เมตรต่อวินาที ซึ่งหมายความว่าแรงที่กระทำต่อใบพัดด้านบนจะมีค่ามากกว่าด้านล่าง สูตรที่ใช้ในการคำนวณลมเฉือน คือ

$$v = v_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

ซึ่ง v คือ ความเร็วลมที่ระดับที่พิจารณา (เมตรต่อวินาที)

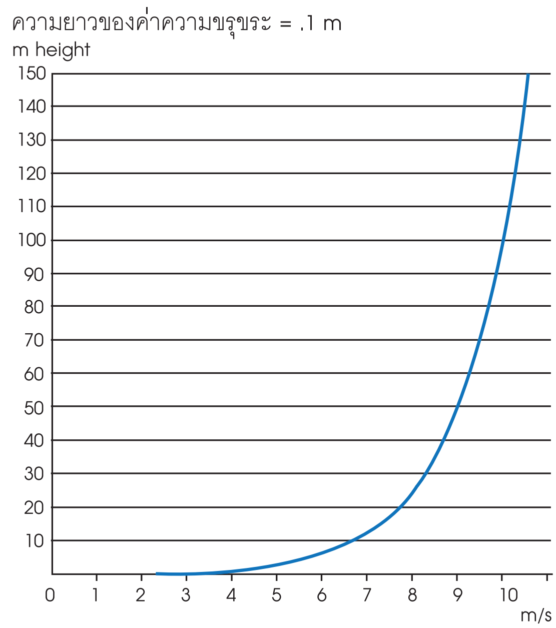
v_{ref} คือ ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิง

z คือ ความสูงที่ระดับที่พิจารณา (เมตร)

z_{ref} คือ ความสูงที่ระดับอ้างอิง

z_0 คือ ความยาวของค่าความขรุขระ (roughness lengths) ที่พิจารณาในทิศทางลมที่วัด

ln คือ ลอการิทึมธรรมชาติ



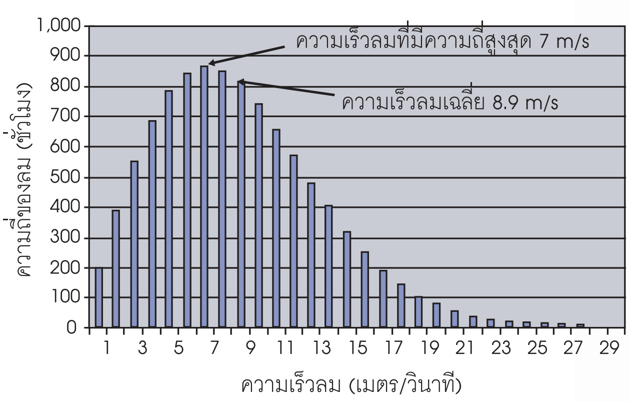
ความเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีค่าความขรุขระระดับ 2 คำนวณที่ระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับพื้นดินจนถึงความสูง 150 เมตร โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่วัดที่ระดับความสูง 100 เมตร มีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

wind speed ความเร็วลม

อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรงหรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม ความเร็วลมมีผลกระทบต่อการการพยากรณ์อากาศ เครื่องบิน การเดินทางทางทะเล โครงการก่อสร้าง และการเจริญเติบโต และอัตราการเผาผลาญของพืชหลายชนิด และผลกระทบอื่นๆ อีกมากมาย วัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (anemometer) ซึ่งอาจจะมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ต่อชั่วโมง หรือน็อต เป็นต้น แต่ยังสามารถจำแนกได้โดยใช้โบฟอร์ตสเกล (Beaufort scale) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วลม คือ การกระจายของความกดอากาศ คลื่นในทะเล และสภาพอากาศท้องถิ่น

wind speed frequency distribution การแจกแจงความถี่ความเร็วลม

การจัดเรียงลำดับข้อมูลความเร็วลมตามช่วงความเร็วโดยระบุระยะเวลา (ชั่วโมงหรือร้อยละ) ที่เกิดความเร็วลมในแต่ละช่วงความเร็ว การแจกแจงความถี่ความเร็วลมเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานลมของทุ่งกังหันลม ถ้าลมพัดด้วยความเร็วต่างๆ โดยความเร็วลมระหว่าง 0 และ 1 เมตรต่อวินาที นับเป็น 1 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมระหว่าง 1 และ 2 เมตรต่อวินาที นับเป็น 2 เมตรต่อวินาที และอื่นๆ ถ้าวัดความเร็วลมแล้วนับระยะเวลาทั้งหมดของแต่ละความเร็วลม และนำมาแจกแจงความถี่ของลมจะได้กราฟการแจกแจงความถี่ความเร็วลม ซึ่งพล็อตระหว่างจำนวนชั่วโมงที่เกิดความเร็วลมที่แต่ละความถี่กับความเร็วลม



การแจกแจงความถี่ความเร็วลม

wind turbine กังหันลม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลม ที่เรียกว่าพลังงานลมเป็นพลังงานกล ถ้าใช้พลังงานกลผลิตไฟฟ้าเรียกอุปกรณ์ว่า กังหันลม (wind turbine) หรือโรงไฟฟ้าพลังงานลม (wind power plant) ถ้าใช้พลังงานกลขับเครื่องจักรกล เช่น ใช้โม่หรือบดหรือใช้สูบน้ำ เรียกอุปกรณ์ว่า สีลม (windmill) จากการพัฒนากังหันลมในช่วงสหัสวรรษ (พันปี) ที่ผ่านมา และวิศวกรรมที่ทันสมัย ของวันนี้ กังหันลมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามแนวแกนการหมุนของใบพัด คือ กังหันลมชนิดแกนแนวตั้ง (ดู vertical axis wind turbine (VAWT)) และชนิดแกนหมุนแนวนอน (ดู horizontal axis wind turbine (HAWT)) และกังหันลมชนิดแกนแนวนอนสำหรับการนำกังหันลมไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไป กังหันลมขนาดเล็กใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ ในขณะที่กังหันลมขนาดใหญ่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้กับระบบไฟฟ้ามีจำนวนมากขึ้น และเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่มีความสำคัญมากขึ้นในเชิงพาณิชย์ โดยกังหัน ลมขนาดใหญ่ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

ภาพกังหันลมแบบต่างๆ ทั้งชนิดแกนหมุนแนวตั้งและแกนหมุนแนวนอน

wind turbine break เบรกกังหันลม

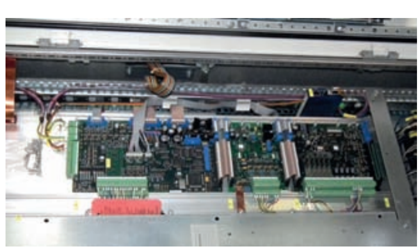
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หยุดกังหันลมทั้งในขณะเวลาปกติและสภาวะฉุกเฉิน เป็นระบบความปลอดภัยหลักที่สำคัญ ระบบเบรกของกังหันลมขนาดใหญ่ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบเบรกทางอากาศพลศาสตร์และระบบเบรกทางกล ระบบแรกเป็นระบบเบรกหลักที่สำคัญ มีความปลอดภัย และหยุดกังหันลมได้อย่างนิ่มนวล ทำให้ไม่เกิดความเครียดขึ้นกับชิ้นส่วนหรือการฉีกขาดสึกหรอกับกังหันลม กังหันลมสมัยใหม่มีระบบเบรกทางอากาศพลศาสตร์ 2 ลักษณะ คือ กังหันลมที่ปรับมุมใบพัดให้เป็นมุมประมาณ 90 องศา ตามแนวแกนเพื่อเบรก ส่วนกังหันลมที่ไม่สามารถปรับมุมใบพัดจะเบรกโดยหมุนปลายใบพัดไป 90 องศา (เบรกปลายใบพัด) การทำงานของระบบเบรกทางอากาศพลศาสตร์ที่ใช้สปริงมีความปลอดภัย เพราะในกรณีระบบไฟฟ้าล้มเหลวระบบจะทำงานโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าใช้ระบบไฮดรอลิก เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าจะสูญเสียความดันทำให้ใบพัดหรือปลายใบพัดหมุนกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมซึ่งเป็นสถานการณ์อันตรายมาก ส่วนระบบเบรกทางกลมักใช้เป็นเบรกสำรองของระบบเบรกทางอากาศพลศาสตร์ โดยกังหันลมที่สามารถควบคุมมุมใบพัดได้แทบไม่จำเป็นต้องใช้เบรกทางกลเลย ยกเว้นในกรณีที่ทำการบำรุงรักษาหรือหยุดการใช้งานกังหันลม (ทำให้กังหันลมหยุดนิ่ง)

ระบบเบรกทางกลของกังหันลม

เบรกปลายใบพัด

wind turbine controller ระบบควบคุมกังหันลม

ระบบที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์หลายเครื่อง ทำหน้าที่ควบคุมและตรวจสอบการทำงานของกังหันลมอย่างต่อเนื่อง เก็บรวบรวมสถิติต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงาน ควบคุมการทำงานของสวิทช์ควบคุมจำนวนมาก ปั๊มไฮดรอลิก วาล์ว และมอเตอร์ต่าง ๆ ภายในกังหันลม ความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมเป็นสิ่งสำคัญมากในการควบคุมการทำงานของกังหันลมขนาดใหญ่ให้ถูกต้องตลอดเวลา มีระบบป้องกันการทำงานผิดพลาด และระบบซ้ำสำรอง (redundancy) โดยเน้นด้านความปลอดภัย คอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องของส่วนควบคุมจะอ่านและเปรียบเทียบค่าจากเซ็นเซอร์ทั้งสองชุด เพื่อให้แน่ใจว่ามีค่าถูกต้อง นอกเหนือจากนี้แล้วระบบควบคุมยังทำหน้าที่ติดต่อสื่อสาร การสื่อสารภายนอกระหว่างตัวกังหันกับผู้ควบคุมเป็นการรับส่งสัญญาณเตือนผ่านทางสายโทรศัพท์หรือวิทยุสื่อสาร การติดต่อสื่อสารภายในเป็นการติดต่อระหว่าง 3 ส่วน คือ จากดุมกังหันไปยังส่วนควบคุมที่ห้องเครื่อง เป็นการสื่อสารแบบอนุกรมผ่านทางวงแหวนลื่น (communication slip ring) และจากห้องเครื่องไปยังส่วนควบคุมที่อยู่ด้านล่างผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

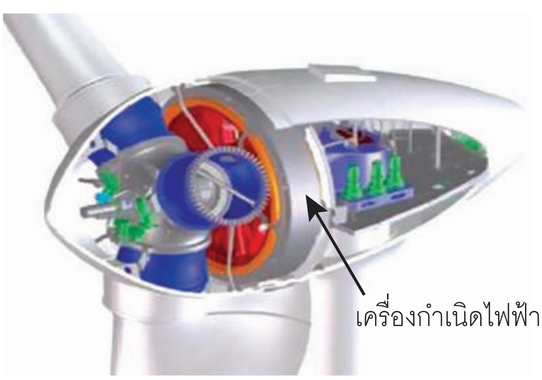


ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมขนาด 1.5 เมกะวัตต์ ที่ตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช

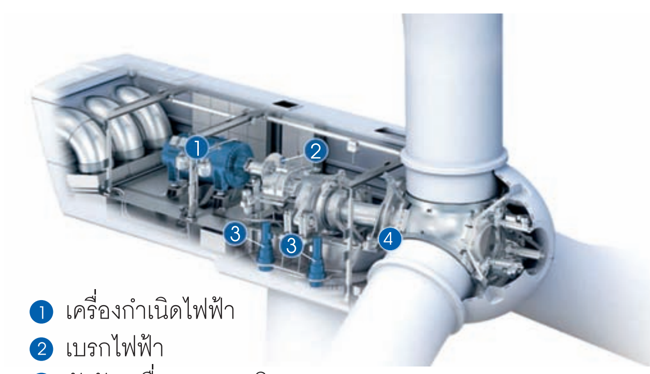
wind turbine generator เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลม

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลม ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่เกิดจากการหมุนของใบพัดกังหันลมเป็นพลังงานไฟฟ้า การใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อส่งพลังงานที่ผลิตได้ให้กับระบบไฟฟ้า แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมขนาดเล็กจะเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ เพื่อเก็บสะสมพลังงาน

แรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างขึ้น ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ปกติจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 690 โวลต์ ซึ่งถูกส่งไปที่หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นระหว่าง 10,000 ถึง 33,000 โวลต์ (ระดับแรงดันไฟฟ้าปานกลาง) ตามมาตรฐานระบบแรงดันไฟฟ้าของแต่ละประเทศ โดยผู้ผลิตกังหันลมขนาดใหญ่จะผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความถี่ทั้ง 50 Hz (สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่ของโลก) และ 60 Hz (สำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา) ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลมขนาดเล็ก (ใช้งานอยู่ในระบบแรงดันต่ำน้อยกว่า 1,000 โวลต์) ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะมีหลายขนาดให้เลือก เช่น 24 โวลต์ 36 โวลต์ 48 โวลต์ 120 โวลต์ เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป เช่น ถ้านำไปชาร์จแบตเตอรี่ก็จะเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ แต่ถ้านำไปใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ก็จะเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการระบบระบายความร้อนในขณะทำงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้พัดลมขนาดใหญ่ในการระบายความร้อน แต่ก็อาจจะมีผู้ผลิตบางรายใช้น้ำในการระบายความร้อน ซึ่งการใช้ของเหลวในการระบายความร้อนจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กลงมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ข้อเสียของระบบนี้ คือ ต้องการอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายความร้อนออกจากของเหลวที่ใช้ ส่วนในกังหันลมขนาดเล็กจะใช้การระบายความร้อนโดยธรรมชาติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลมมีหลายชนิด คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (synchronous generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (squirrel-cage induction generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง (doubly-fed induction generator; DFIG) เป็นต้น การนำไปใช้งานต้องเลือกให้เหมาะสมโดยพิจารณาได้จากระบบส่งกำลังทางกลว่า เป็นระบบที่มีเกียร์หรือไม่ ถ้าเป็นระบบที่ไม่มีเกียร์จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแบบจำนวนขั้วมาก (เนื่องจากความเร็วรอบต่ำ) แต่ถ้าระบบส่งกำลังมีระบบเกียร์ก็จะเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะเป็นแบบกรงกระรอกหรือแบบป้อนสองทางก็ขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย ส่วนในกังหันลมขนาดเล็กจะนิยมใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นส่วนใหญ่



เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับระบบส่งกำลังแบบไม่มีเกียร์



1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2 เบรกไฟฟ้า
3 ตัวขับเคลื่อนหมุนหาทิศทางลม
4 ระบบขับเคลื่อนการล็อกโรเตอร์ (มองไม่เห็น)

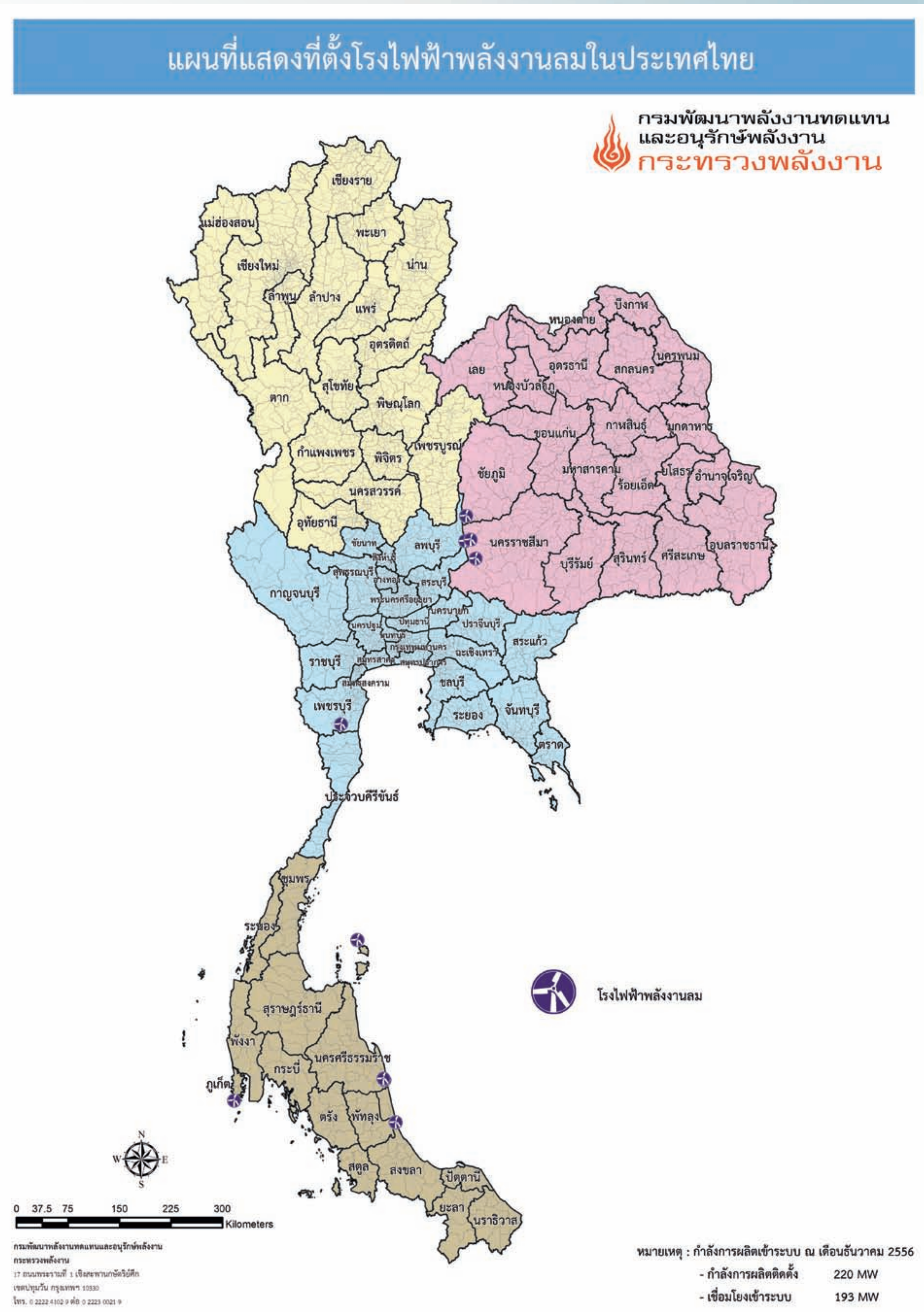
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับระบบส่งกำลังแบบมีเกียร์

wind turbine in Thailand กังหันลมผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

การทดลองติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยมีขึ้นครั้งแรกที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ในปี พ.ศ. 2526 โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ต่อมาปี พ.ศ. 2550 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานได้ทดลองติดตั้งกังหันลมที่ อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช จากนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้ภาคเอกชนและรัฐวิสาหกิจติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ขึ้น จึงทำให้เกิดโครงการติดตั้งกังหันลมเพิ่มมากขึ้นและกระจายกันอยู่ทั่วประเทศ บริเวณที่ติดตั้งกังหันลมมากที่สุด อยู่ระหว่างรอยต่อของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในจังหวัดนครราชสีมา เพชรบูรณ์ และชัยภูมิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดนครราชสีมา มีทุ่งกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีกำลังการผลิตขนาด 207 เมกะวัตต์

ตารางแสดงตำแหน่งการติดตั้งและพิกัดกำลังการผลิตของกังหันลมในประเทศไทยที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง ข้อมูล ณ เดือนตุลาคม 2556

สถานที่ตั้ง	พิกัดกำลังการผลิต (กิโลวัตต์)
แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต	192.35
อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช	1,750.00
อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา	1,500.00
เกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี	250.00
โครงการชั่งหัวมัน	50.00
ห้วยบง จังหวัดนครราชสีมา	207,000.00
ลำตะคลอง จังหวัดนครราชสีมา	2,500.00
รวมทั้งหมด	213,242.35



แผนที่ตั้งหน่วยโรงไฟฟ้าพลังงานลมในประเทศไทย (ปรับปรุงข้อมูลเมื่อเดือนธันวาคม 2556)
ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

wind turbine tower เสากังหันลม

เสารองรับห้องเครื่องและโรเตอร์ของกังหันลม เสาสำหรับกังหันลมขนาดใหญ่ อาจเป็นเสาแบบท่อเหล็ก (tubular steel towers) เสาแบบโครงถัก (lattice towers) หรือเสาคอนกรีต เสาสำหรับกังหันลมขนาดเล็กเป็นแบบท่อเหล็กใช้สลิงยึดโยง

เสาแบบท่อเหล็ก กังหันลมขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ใช้เสาแบบท่อเหล็ก แต่ละท่อนยาว 20-30 เมตร ปลายแต่ละด้านมีหน้าแปลน (flange) ไว้สำหรับยึดสลักเกลียวเข้าด้วยกัน ลักษณะเป็นทรงกรวย (เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาที่ฐานกว้างที่สุด) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประหยัดวัสดุในเวลาเดียวกัน

เสาแบบโครงถัก ถูกผลิตโดยใช้เหล็กโพรไฟล์ (เหล็กสำเร็จรูป) เชื่อม ข้อดีของเสาแบบโครงถัก คือ มีราคาถูกเพราะใช้วัสดุเพียงครึ่งหนึ่งของเสาแบบท่อเหล็ก แต่กังหันลมขนาดใหญ่สมัยใหม่ไม่ค่อยนิยมใช้

เสาแบบท่อเหล็กใช้สลิงยึดโยง สร้างจากท่อเหล็กขนาดเล็กและยึดโยงด้วยสลิง ข้อดี คือ น้ำหนักเบาและราคาถูก แต่ข้อเสีย คือ เข้าถึงโคนเสายาก ทำให้ไม่เหมาะสำหรับสร้างทุ่งกังหันลม และมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยโดยรวม

เสาแบบลูกผสม (hybrid tower) สร้างจากการผสมผสานเทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น ผสมผสานระหว่างเสาแบบโครงถักและเสาแบบสลิงยึดโยง ตัวอย่างหนึ่งได้แก่ เสาสามขาของกังหันลมยี่ห้อโบนัส ขนาด 95 กิโลวัตต์

การเลือกชนิดของเสากังหันลมต้องพิจารณาหลายองค์ประกอบ ทั้งด้านราคา อากาศพลศาสตร์และไดนามิกของโครงสร้างเสาโดยมีความสูงของเสากังหันลมเป็นตัวแปรที่สำคัญ


เสาแบบท่อเหล็ก


เสาแบบโครงถัก


เสาแบบท่อเหล็กใช้สลิงยึดโยง


เสาแบบผสมผสาน

wind vane เครื่องวัดทิศทางลม

เครื่องมือที่ใช้วัดและแสดงทิศทางลม อาจใช้เป็นเครื่องประดับทางสถาปัตยกรรมโดยติดตั้งที่จุดสูงที่สุดของอาคาร ทำงานโดยใช้หลักการการต้านทานอากาศของแพนหาง เมื่อมีอากาศไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากหรือทำมุมกับเครื่องวัด จะเกิดแรงกระทำมากที่สุดที่บริเวณแพนหางของเครื่องวัด เนื่องจากมีพื้นที่ต้านอากาศมากที่สุด แรงลมจะผลักให้แพนหางหมุนจนกว่าแพนหางจะมีทิศทางขนานกับทิศทางลมซึ่งมีพื้นที่ต้านอากาศน้อยที่สุด จากหลักการนี้ทำให้สามารถระบุทิศทางลมได้ เครื่องวัดทิศทางลมสมัยใหม่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องวัดทิศทางลมเพื่อให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปกับทิศทางลม จุดที่ค่าความต้านทานเป็นศูนย์ตรงกับทิศเหนือ ป้อนแรงดันไฟฟ้า และวัดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนตามค่าความต้านทานเพื่อเก็บในหน่วยเก็บข้อมูล

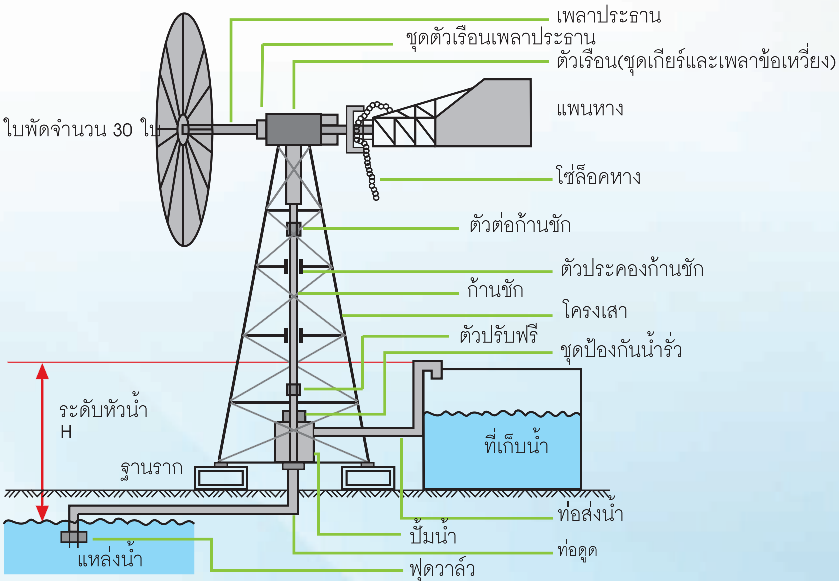
เครื่องวัดทิศทางลมที่ใช้เป็นเครื่องประดับ


เครื่องวัดทิศทางลมสมัยใหม่

windmill กังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก

กังหันลมหลายใบ ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้อุปโภค ใช้ในทางการเกษตร และใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้สูงกว่าแบบระหัด วัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มักเป็นเหล็ก ถ้าผลิตในประเทศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ประมาณ 4-6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำ มีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม เริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป และสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมได้รอบตัว โดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนเมื่อลมแรงเกินกำหนด ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ใบพัด ตัวเรือน ชุดแพนหาง โครงเสา ก้านชัก กระบอกสูบน้ำ และท่อน้ำ


กังหันลมสูบน้ำที่โครงการพัฒนา
อันเนื่องมาจากพระราชดำริห้วยทราย

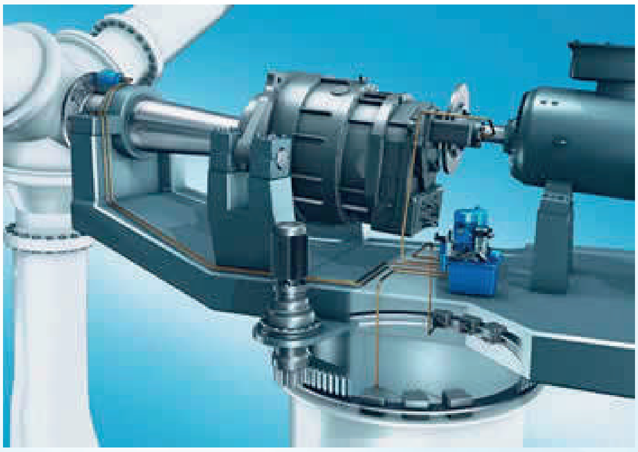


โครงสร้างและองค์ประกอบของกังหันลมสูบน้ำ

yaw mechanism กลไกหมุนหาลม

กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่มีกลไกควบคุมการหมุนโรเตอร์กังหันลม เพื่อให้หันเข้าหาลมหรือให้หลบลม กังหันลมแกนหมุนแนวนอน (ดู horizontal axis wind turbine (HAWT)) ส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์และกล่องเกียร์ขับเคลื่อนกลไกหมุนหาลมภายในมอเตอร์มีระบบเบรก เพื่อหยุดกังหันลมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ตัวควบคุมกลไกหมุนหาลมจะตรวจสอบทิศทางของกังหันลมร่วมกับเซ็นเซอร์วัดทิศทางลมที่ติดตั้งอยู่บนห้องเครื่อง สายเคเบิ้ลที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงมาด้านล่างของกังหันลมจะบิดเมื่อกังหันลมหมุนในทิศทางเดียวกันหลายๆ รอบ กังหันลมมีอุปกรณ์นับจำนวนรอบการบิดของสายเคเบิ้ล เพื่อสั่งระบบควบคุมให้หมุนกังหันลมกลับ เพื่อป้องกันสายขาดและยังมีสวิทช์ตรวจสอบความตึงของสายเคเบิ้ลเพื่อใช้เป็นระบบความปลอดภัยสำรองอีกด้วย สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมีกลไกการหมุนโรเตอร์กังหันลม ชนิดหันเข้าหาลมเองโดยอัตโนมัติ และไม่ต้องใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน

อุปกรณ์นับจำนวนรอบและสวิทช์ตรวจสอบความตึงของสายเคเบิ้ล



กลไกลหมุนหาลม

มอเตอร์ และกล่องเกียร์
ขับเคลื่อนกลไกหมุนหาลม

รายชื่อ
ผู้ประกอบการเอกชนที่เป็น
สมาชิกสังกัด
กลุ่มพลังงานทดแทน
สภาอุตสาหกรรม (สอท.)

ข้อมูล ณ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2556

สมาชิกสังกัดกลุ่มพลังงานทดแทน สภาอุตสาหกรรม (สอท.)

Advance Electric & Electronic Co., Ltd.
บริษัท แอดวานซ์ อีเลคทริค แอนด์ อีเลคทรอนิค จำกัด
- 23/218 หมู่ 8 ซอยพงษ์ศิริชัย 2 ถนนเพชรเกษม ตำบลอ้อมใหญ่ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73160
  โทร. 0-2811-4191-2 **โทรสาร** 0-2420-9161

Annex Power Ltd.
บริษัท แอนเน็กซ์ พาวเวอร์ จำกัด
- 153/3 อาคารโกลเด้นแลนด์ ชั้น 2 ซอยมหาดเล็กหลวง 1 ถนนราชดำริ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2660-6800 **โทรสาร** 0-2660-6899
  website : http://www.annexpower.com

Applied Machinery Co., Ltd.
บริษัท แอ๊พพลายด์แมชินเนอรี่ จำกัด
- 1146/81-82 อาคารเอกไพลิน ทาวเวอร์ ชั้น 7 ถนนศรีนครินทร์ ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
  โทร. 0-2385-8607-8 **โทรสาร** 0-2385-8057
  website : http://www.applied-machinery.co.th

A.P.K. Energy Co., Ltd.
บริษั เอ.พี.เค.กรีนเอ็นเนอร์จี จำกัด
- 508/1 หมู่ 4 ถนนสนามบิน-บ้านกลาง ตำบลควน อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
  โทร. 0-74502-288 **โทรสาร** 0-74502-291

Asia Biomass Co., Ltd.
บริษัท เอเชีย ไบโอแมส จำกัด
- 273/2 ถนนพระรามที่ 2 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
โทร. 0-2415-0054 **โทรสาร** 0-2415-1102
website : http://www.asiabiomass.com

Asia Green Energy Public Company Limited
บริษัท เอเชีย กรีน เอนเนอจี จำกัด (มหาชน)
- 273/1 ถนนพระรามที่ 2 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
  โทร. 0-2453-1251-3 **โทรสาร** 0-2893-4267
  website : http://www.agecoal.com

Bangkok Pacific Steel Co., Ltd.
บริษัท บางกอกแปซิฟิคสตีล จำกัด
- 259 หมู่ 11 ซอย ส.ไทยเสรี 2 ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290
  โทร. 0-2425-0013 **โทรสาร** 0-2425-8299
  website : http://www.bpssteel.com

Bangkok Solar Co., Ltd.
บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด
- 39/1 หมู่1 ถนนบางปะกง-ฉะเชิงเทรา ตำบลแสนภูดาษ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา 24140
  โทร. 0-38577-373 **โทรสาร** 0-38577-370
  website : http://www.bangkoksolar.com

Bangpoo Environmental Complex Co., Ltd.
บริษัท บางปู เอนไวรอนเมนทอล คอมเพล็กซ์ จำกัด
- 589/142 หมู่ 2 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซอย 3 บี ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
  โทร. 0-2745-6926-7 **โทรสาร** 0-2745-6928
  website : http://www.wms-thailand.com

Banrai Sugar Refining Factory Co., Ltd.
บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาลบ้านไร่ จำกัด
- 88 ม.12 ตำบลทัพหลวง อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี 61140
  โทร. 0-56530-123-4 **โทรสาร** 0-56530-123
  website : http://www.trrsugar.com

Cha-Am Peerapat Chemicals Co., Ltd.
บริษัท ชะอำพีรพัฒน์ เคมีคอล จำกัด
- 118 หมู่ 4 ซอยวัดสวนสันติ ตำบลทับคาง อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี 76140
  โทร. 0-276-2700 ต่อ 201-4 **โทรสาร** 0-32439-230
  website : http://www.wakschem.com

C&G Environmental Protection (Thailand) Co., Ltd.
บริษัท ซีแอนด์จี เอ็นไวรอนเมนทอล โปรเท็คชั่น (ประเทศไทย) จำกัด
- 127/14 อาคารปัญจธานี ชั้น 12 ถนนนนทรี แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2294-8355 **โทรสาร** 0-2294-7199
  website : http://www.cugu-ep.com

C.S. International Electronics Co., Ltd.
บริษัท ซี.เอส.อินเตอร์เนชั่นแนล อีเล็คโทรนิคส์ จำกัด
- 1515 หมู่ 4 ซอยแขวงรุ่งแขวงลอย ถนนเทพารักษ์ ตำบลเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
  โทร. 0-2758-1261-70 **โทรสาร** 0-2384-3830
  website : http://www.safe-t-cut-com

Double A Ethanol Co., Ltd.
บริษัท ดั๊บเบิ้ล เอ เอทานอล จำกัด
- 1 ม.2 ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี 25140
  โทร. 0-3720-8800-39 **โทรสาร** 0-2659-1414
  website : http://www.doubleaethanol.com

E85 Co., Ltd.
บริษัท อี85 จำกัด
- 1 หมู่ 2 ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี 25140

Eastern Palm Oil Co., Ltd.
บริษัท อีสเทิร์น ปาล์ม ออยล์ จำกัด
- 157 หมู่ 2 ถนนชลบุรี-แกลง ตำบลเขาซก อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี 20190
  โทร. 0-38168-555 **โทรสาร** 0-38168-559

Ekarat Solar Co. Ltd.
บริษัท เอกรัฐโซล่าร์ จำกัด
- 9/291 อาคารยูเอ็มทาวเวอร์ ถนนรามคำแหง แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
  โทร. 0-2719-8777 **โทรสาร** 0-2719-8754
  website : http://www.ekarat-solar.com

Energy & Environmental Management Co., Ltd.
บริษัท จัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม จำกัด
- 152 ถนนนวลจันทร์ แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230
  โทร. 0-2509-9000 **โทรสาร** 0-2509-9071
  website : http://www.eem.co.th

First Korat Wind Co., Ltd.
บริษัท เฟิร์ส โคราช วินด์ จำกัด
- 87 อาคารเอ็ม ไทย ทาวเวอร์ ออลซีซั่นส์เพลส ชั้นที่ 27 ถนนวิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2654-1155-8 **โทรสาร** 0-2654-1159
  website : http://www.windenergyholding.co.th

Gateway Equipment Co., Ltd.
บริษัท เกทเวย์ อีควิปเมนท์ จำกัด
- 254 ซอยลาดพร้าว 107 ถนนลาดพร้าว แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
  โทร. 0-2731-1992-5 **โทรสาร** 0-2731-1997

German-Thai Boiler Engineering Cooperation Co., Ltd.
บริษัท เจตาแบค จำกัด
- 335/7 ถนนศรีนครินทร์ แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250
  โทร. 0-2366-0400-7 **โทรสาร** 0-2366-0413
  website : http://www.getabecboiler.com

Green Growth Co., Ltd.
บริษัท กรีน โกรท จำกัด
- 538 อาคารแกรนด์ ชั้น 10 ถนนรัชดาภิเษก แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
  โทร. 0-2975-9934 **โทรสาร** 0-2975-9936
  website : http://www.green-growth.net

Green Energy Network Co., Ltd.
บริษัท กรีน เอ็นเนอร์ยี่ เน็ทเวอร์ค จำกัด
- 123/223 ชั้น 20 ยูนิต เค อาคารพญาไท พลาซ่า ถนนพญาไท แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-2612-9669 **โทรสาร** 0-2612-9668

Gulf Cogeneration Co., Ltd.
บริษัท กัลฟ์ โคเจนเนอเรชั่น จำกัด
- 79 หมู่ 3 ตำบลตาลเดี่ยว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18110
  โทร. 0-36246-203 **โทรสาร** 036248-020
  website : http://www.gulfelectric.co.th

Gunkul Chubu Powergen Co., Ltd.
บริษัท กันกุล ชูบุ พาวเวอร์เจน จำกัด
- 1046 ถนนนครไชยศรี แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
  โทร. 0-2242-5861 **โทรสาร** 0-2242-5878
  website : http://www.gunkul.com

Gussing Renewable Energy (Thailand) Co., Ltd.
บริษัท กุสซิ่ง รีนิวเอเบิ้ล เอ็นเนอร์จี (ประเทศไทย) จำกัด
- 75 ถนนจันทน์เก่า แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2642-7723 **โทรสาร** 0-2642-7724
  website : http://www.gussingrenewable.com

Hatyai Environmental Management Co., Ltd.
บริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อมหาดใหญ่ จำกัด
- 572/25-26 ถนนกาญจนวนิช ตำบลบ้านพรุ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90250
  โทร. 0-74439-575 **โทรสาร** 0-74439-585
  website : http://www.bioenergy.co.th

Italig Co., Ltd.
บริษัท อิแทลลิค จำกัด
- 800 ถนนประชาธิปก เขตหิรัญรูจี แขวงธนบุรี กรุงเทพฯ 10600
  โทร. 0-2465-3504-5 **โทรสาร** 0-2465-3501
  website : http://www.italig.co.th

Itochu (Thailand) Co., Ltdl
บริษัท อิโตชู (ไทยแลนด์) จำกัด
- 54 อาคารหะรินธร ชั้น 5 ถนนสาทรเหนือ แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500
  โทร. 0-2266-3086 **โทรสาร** 0-2235-9535
  website : http://www.itochu.co.th

Jebsen & Jessen Technology (T) Co., Ltd.
บริษัท เจ็บเซ่น แอนด์ เจ็สเซ่น เทคโนโลยี่ (ที) จำกัด
- 23/110-117 อาคารสรชัย ชั้น 25-29 ซอยสุขุมวิท 63 (เอกมัย) ถนนสุขุมวิท แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2787-8118 **โทรสาร** 0-2787-8109
  website : http://www.technology.jjsea.com

Jiamphattana Energy International Co., Ltd.
บริษัท เจียมพัฒนาพลังงาน อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- 191 หมู่ 8 ถนนมาลัยแมน ตำบลศาลาขาว อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72210
  โทร. 0-35599-899 **โทรสาร** 0-35599-639
  website : http://www.jiam-energy.com

K.R. Two Co., Ltd.
บริษัท เค.อาร์.ทู จำกัด
- 87 อาคารเอ็ม.ไทย.ทาวเวอร์ ออลซีซั่นส์เพลส ชั้น 27 ถนนวิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2654-1155-8 **โทรสาร** 0-2654-1159
  website : http://www.windenergyholding.co.th

KV Electronics Co., Ltd.
บริษัท เควี อีเลคทรอนิคส์ จำกัด
- 140/1 อาคารเคี่ยนหงวน 2 ชั้น 18 ถนนวิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2701-2969 **โทรสาร** 0-2701-2966
  website : http://www.kv-electronic.com

K Y Inter Trade Co., Ltd.
บริษัท เค วาย อินเตอร์เทรด จำกัด
- 55/17-18 ถนนพญาไท แขวงถนนพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-2653-6505-8 **โทรสาร** 0-2183-2732
  website : http://www.kyi.co.th

Leonics Co., Ltd.
บริษัท ลีโอนิคส์ จำกัด
- 113 หมู่ 5 ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางสมัคร อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130
  โทร. 0-2746-8708-11 **โทรสาร** 0-2361-7586
  website : http://www.leonics.com

Micro-Biotec Co., Ltdl
บริษัท ไมโครไบโอเทค จำกัด
- 40/2409 หมู่ 1 ตำบลท่าทราย อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
  โทร. 0-2589-7388 **โทรสาร** 0-2589-7437

Mitsubishi Heavy Industries (Thailand) Ltd.
บริษัท มิตซูบิชิ เฮฟวี่ อินดัสตรี่ (ประเทศไทย) จำกัด
- 2/3 บางนาทาวเวอร์ อาคารเอ ชั้น 8 หมู่ 14 ถนนบางนา-ตราด กม.6.5 ตำบลบางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
  โทร. 0-2751-9800 **โทรสาร** 0-2751-2980-1
  website : http://www.mhit.co.th

Mitr Phol Sugar Corp., Ltd.
บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด
- 2 อาคารเพลินจิตเซ็นเตอร์ ชั้น 3 ถนนสุขุมวิท ซอย 2 แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2656-8488 **โทรสาร** 0-2656-8504
  website : http://www.mitrphol.com

Mitrphol Bio-Power Co., Ltd.
บริษัท มิตรผล ไบโอ-เพาเวอร์ จำกัด
- 2 อาคารเพลินจิตเซ็นเตอร์ ชั้น 3 ซอยสุขุมวิท 2 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2656-8424 **โทรสาร** 0-2656-9929
  website : http://www.mitrphol.com

Mitr Phol Bio Fuel Co., Ltd.
บริษัท มิตรผล ไบโอฟูเอล จำกัด
- 2 อาคารเพลินจิตเซ็นเตอร์ ชั้น 3 ซอยสุขุมวิท 2 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2656-7761 **โทรสาร** 0-2251-1138
  website : http://www.mitrphol.com

National Power Plant 5 Co., Ltd.
บริษัท เนชั่นแนล เพาเวอร์ แพลนท์ 5 จำกัด
- 217 หมู่ 2 อาคาร เอเอ 3 ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี 25140
  โทร. 0-37208-800 **โทรสาร** 0-37659-141

OPS Mobile Audio Co., Ltd.
บริษัท โอพีเอส โมบาย ออดิโอ จำกัด
- 142/7 ซอยลาดพร้าว 81 ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
  โทร. 0-2933-1781-4 **โทรสาร** 0-2933-4093

Papop Renewable Co., Ltd.
บริษัท ปภพ รีนิวเอเบิล จำกัด
- 43 ซอยประเสริฐมนูกิจ 5 ถนนประเสริฐมนูกิจ แขวงจรเข้บัว เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230
  โทร. 0-2570-5580 **โทรสาร** 0-2570-5581
  website : http://www.papop.com

P & S Design Co., Ltd.
บริษัท พี แอนด์ เอส ดีไซน์ จำกัด
- 3/3 หมู่ 13 ถนนบางนา-ตราด กม.6.5 ตำบลบางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
  โทร. 0-2312-0165 **โทรสาร** 0-2312-0166
  website : http://www.psbiogas.com

Patum Vegetable Oil Co., Ltd.
บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด
- 1/8 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 55 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700
  โทร. 0-2434-8384-7 **โทรสาร** 0-2433-6423
  website : http://www.patumoil.co.th

Power Prospect Co., Ltd.
บริษัท เพาเวอร์พรอสเพค จำกัด
- 4 ซอยสุขุมวิท 81 ถนนสุขุมวิท แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
  โทร. 0-2733-3595-7 **โทรสาร** 0-2730-0598
  website : http://www.powerprospect.com

Premier Products Public Co., Ltd.
บริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด (มหาชน)
- 2 พรีเมียร์เพลซ ซอยพรีเมียร์ 2 ถนนศรีนครินทร์ แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250
  โทร. 0-2301-1340 **โทรสาร** 0-2301-2202
  website : http://www.premier-products.co.th

บริษัท พลังงานสิ่งแวดล้อมสากล จำกัด
- 456 ซอยนาทอง 6 แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-81642-9294 **โทรสาร** 0-2692-4191

Retech Energy Co., Ltd.
บริษัท รีเทค เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด
- 2/22 อาคารไอยรา ชั้น 7 ห้อง 704 ถนนจันทร์ ซอย2 แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2678-8921-2 **โทรสาร** 0-2678-8920
  website : http://www.retech-energy.com

Royal Motor Works Co., Ltd.
- **บริษัท รอยัล มอเตอร์เวอร์ค จำกัด**
  88 ถนนพิชัย แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต
  กรุงเทพฯ 10300
  โทร. 0-2669-1191-3 **โทรสาร** 0-2243-0105
  website : http://www.royalequipment.co.th

Salakpet Renewable Energy Co., Ltd.
บริษัท สลักเพชร รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด
- 33/52 ถนนกองพล 10 ตำบลในเมือง
  อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด 45000

Scan-Inter Co., Ltd.
บริษัท สแกน อินเตอร์ จำกัด
- 50/1 หมู่ 1 ถนนราษฎร์นิยม ตำบลราษฎร์นิยม
  อำเภอไทรน้อย นนทบุรี 11150
  โทร. 0-2921-9937-9 **โทรสาร** 0-2921-9849
  website : http://www.scan-inter.com

Schneider (Thailand) Ltd.
บริษัท ชไนเดอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 44/1 อาคารรุ่งโรจน์ธนกุล ชั้น13-15 ถนนรัชดาภิเษก
  แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
  โทร. 0-2617-5440 **โทรสาร** 0-2617-5556
  website : http://www.schneider-electric.co.th

Safe-T-Cut Manufacturing Co., Ltd.
บริษัท เซฟ-ที-คัท แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด
- 8/2 ซอยริมทางด่วน 2 ถนนสุขุมวิท 62 แขวงบางจาก
  เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
  โทร. 0-2758-1261 **โทรสาร** 0-2394-7908
  website : http://www.safe-t-cut.com

S.C.I. Electric Manufacturer Co., Ltd.
บริษัท เอส.ซี.ไอ. อีเลคตริค แม็นนิวแฟ็คเชอเรอ จำกัด
- 107/1 หมู่ที่ 1 ถนนบางนา-ตราด กม.27 ตำบลบาง
เพรียง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ 10560
โทร. 0-2338-1414-9 **โทรสาร** 0-2708-0326-7
website : http://www.sci-mfgr.com

SCI ECO Service
บริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด
- 200 จัสมิน อินเตอร์เนชั่นแนล ทาวเวอร์ หมู่ 4
  ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
  โทร. 0-2638-3500 **โทรสาร** 0-29620-7298
  website : http://www.scieco.co.th

Sharp Thai Co., Ltd.
บริษัท ชาร์ป ไทย จำกัด
- 952 อาคารรามาแลนด์ ชั้น 12 ถนนพระราม 4
  แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500
  โทร. 0-2638-3500 **โทรสาร** 0-2638-3900
  website : http://www.sharpthai.co.th

Siam City Cement Public Co., Ltd.
บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)
- 199 อาคารคอลัมน์ทาวเวอร์ ชั้น 7-12 ถนนรัชดาภิเษก
  แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2797-7000 **โทรสาร** 0-2797-7704
  website : http://www.siamcitycement.com

S.Siriseang Co., Ltd.
บริษัท ส.ศิริแสง จำกัด
- 140 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงดินแดง
  เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-2691-9777 **โทรสาร** 0-2277-8178
  website : http://www.siriseang.com

SMA Solar (Thailand) Co., Ltd.
บริษัท เอสเอ็มเอ โซลาร์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 999/9 อาคารดิ ออฟฟิศเศส แอท เซ็นทรัลเวิลด์
  ชั้น 17 ห้อง เอ็มแอล 1708-10 ถนนพระราม 1
  แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2670-6900 **โทรสาร** 0-2670-6966
  website : http://www.sma-thailand.com

Solartron Public Co., Ltd.
บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)
- 1000/65, 66, 67 อาคาร พี.บี.ทาวเวอร์ ชั้น 16
  ซอยสุขุมวิท 71 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองตันเหนือ
  เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2392-0224 **โทรสาร** 0-2292-2971
  website : http://www.solartron.co.th

Somboon Advance Technology Public Co., Ltd.
บริษัท สมบูรณ์ แอ็ดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)
- 129 หมู่ 2 ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางโฉลง
  อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
  โทร. 0-2728-8500 **โทรสาร** 0-2728-8512
  website : http://www.satpcl.co.th

The Southeast Paint (1970) Co., Ltd.
บริษัท ศรีอาคเนย์ (1970) จำกัด
- 171 ถนนทวีวัฒนา แขวงหนองค้างพลู
  เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160
  โทร. 0-2421-0087 **โทรสาร** 0-2806-2000

Star C N C Technology (Thailand) Co., Ltd.
บริษัท สตาร์ ซี เอ็น ซี เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
- 299/5 หมู่ 9 ถนนเทพารักษ์ ตำบลบางปลา
  อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
  โทร. 0-2706-4478 **โทรสาร** 0-2706-4479
  website : http://www.starcnc.com.my

S T F E Co., Ltd.
บริษัท เอส ที เอฟ อี จำกัด
- 388 อาคารเอส พี ชั้น 17 ถนนพหลโยธิน
  แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-2273-0037 **โทรสาร** 0-2273-0735

Thai Agency Engineering Co., Ltd.
บริษัท ไทยเอเย่นซี เอ็นยีเนียริ่ง จำกัด
- 9 อาคารวรสิน ชั้น 2-3 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
  โทร. 0-2691-5900 โทรสาร 0-2691-5749
  website : http://www.thai-a.com

Thai Alcohol Public Co., Ltd.
บริษัท ไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน)
- 195 อาคารเอ็มไพร์ ทาวเวอร์ ชั้น 43 ถนนสาทรใต้ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2287-7000 โทรสาร 0-2286-4303

Thailand Antracite Co., Ltd.
บริษัท ไทยแลนด์แอนทราไซท์ จำกัด
- 240/25 อาคารอโยธยาทาวเวอร์ ชั้น 16 บี ถนนรัชดาภิเษก แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
  โทร. 0-2276-2778-9 โทรสาร 0-2276-2534
  website : http://www.thailandanthracite.com

Thai Roong Ruang Energy Co., Ltd.
บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด
- 794 อาคารไทยรวมทุน ถนนกรุงเกษม แขวงวัดโสมนัส เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ 10100
  โทร. 0-2282-2022 โทรสาร 0-2281-5638
  website : http://www.trrsugar.com

Thai Steam Service & Supply Co., Ltd.
บริษัท ไทยสตีมเซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด
- 754/31-32 ซอยปุณณวิถี ถนนสุขุมวิท 101 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
  โทร. 0-2332-8246-7 โทรสาร 0-2311-4840
  website : http://www.thaisteam.co.th

Thai Solar Energy Co., Ltd.
บริษัท ไทย โซล่าร์ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด
- 3199 อาคารมาลีนนท์ทาวเวอร์ ชั้น 16 ถนนพระราม 4 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
  โทร. 0-2661-2701-3 โทรสาร 0-2661-2705
  website : http://www.thaisolarenergy.com

Thai Solar Future Co., Ltd.
บริษัท ไทยโซลาร์ฟิวเจอร์ จำกัด
- 99/227-228 ถนนเทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
  โทร. 0-2953-9163-6 โทรสาร 0-2953-9167
  website : http://www.thaisolarfuture.com

Thai Sugar Mill Co., Ltd.
บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด
- 9/5 ถนนพลับพลาไชย แขวงวัดเทพศิรินทร์ เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ 10100
  โทร. 0-2225-9091 โทรสาร 0-2225-4092
  website : http://www.thaisugarmill.com

Thammasorn Co., Ltd.
บริษัท ธรรมสรณ์ จำกัด
- 156/20 ถนนเพชรบุรี แขวงถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
  โทร. 0-2216-2535-7 โทรสาร 0-2215-9074

Therm Engineering Co., Ltd.
บริษัท เทอร์ม เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
- 11/72 ซอยช่างอากาศอุทิศ 11 ถนนช่างอากาศอุทิศ แขวงดอนเมือง เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210
  โทร. 0-2900-2918-9 โทรสาร 0-2928-2217
  website : http://www.therm-eng.com

Tipawat Corporation Co., Ltd.
บริษัท ทิพวัฒน์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
- 54/25 หมู่ 1 ถนนศรีนครินทร์ แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250
  โทร. 0-2748-2396 โทรสาร 0-2748-2369
  website : http://www.tipawat.com

TPI All Seasons Co., Ltd.
บริษัท ทีพีไอ ออล ซีซั่นส์ จำกัด
- 26/56 ถนนจันทน์ตัดใหม่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2285-5090 โทรสาร 0-2678-7080
  website : http://www.tpipolene.co.th/eng/allseasons.html

Victor Process Co., Ltd.
บริษัท วิคเตอร์ โพรเซส จำกัด
- 80/123 หมู่ 5 ตำบลบางเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
  โทร. 0-2380-1380 โทรสาร 0-2380-1380
  website : http://www.vpsurveyor.com

Wang Kanai Sugar Co., Ltd.
บริษัท น้ำตาลวังขนาย จำกัด
- 889 อาคารไทยซีซีทาวเวอร์ ชั้น 28 ถนนสาทรใต้ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
  โทร. 0-2210-0853-72 โทรสาร 0-2675-8336
  website : http://www.wangkanai.co.th

Wax Garbage Recycle Center Co., Ltd.
บริษัท แวกซ์ กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด
- 54/1 หมู่ 8 ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150
  โทร. 0-32228-144-5 โทรสาร 0-3222-8237
  website : http://www.waxga.co.th

Wind Energy Holding Co., Ltd.
บริษัท วินด์ เอนเนอร์ยี่ โฮลดิ้ง จำกัด
- 87 อาคารเอ็ม.ไทย.ทาวเวอร์ ออลซีซั่นส์เพลส ชั้น 27 ถนนวิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
  โทร. 0-2654-1155-8 โทรสาร 0-2654-1159
  website : http://www.windenergyholding.co.th

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564)

ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT PLAN: AEDP (2012-2021)

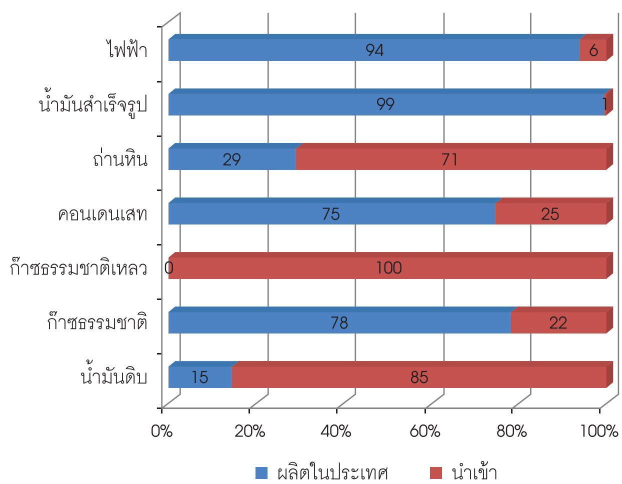
1. **เหตุสำคัญการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ**

ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี 2555 ที่ผ่านมาพบว่า กว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีก เพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทน ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ่งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต

ตารางสัดส่วนการผลิตและการนำเข้าพลังงาน

สถานการณ์พลังงานปี 2555 (เบื้องต้น)

สัดส่วนการผลิตและการนำเข้าพลังงาน



พลังงาน	มูลค่าการนำเข้า (พันล้านบาท)
ไฟฟ้า	13
น้ำมันสำเร็จรูป	49
ถ่านหิน	39
คอนเดนเสท	24
ก๊าซธรรมชาติเหลว	116
ก๊าซธรรมชาติ	72
น้ำมันดิบ	1,130

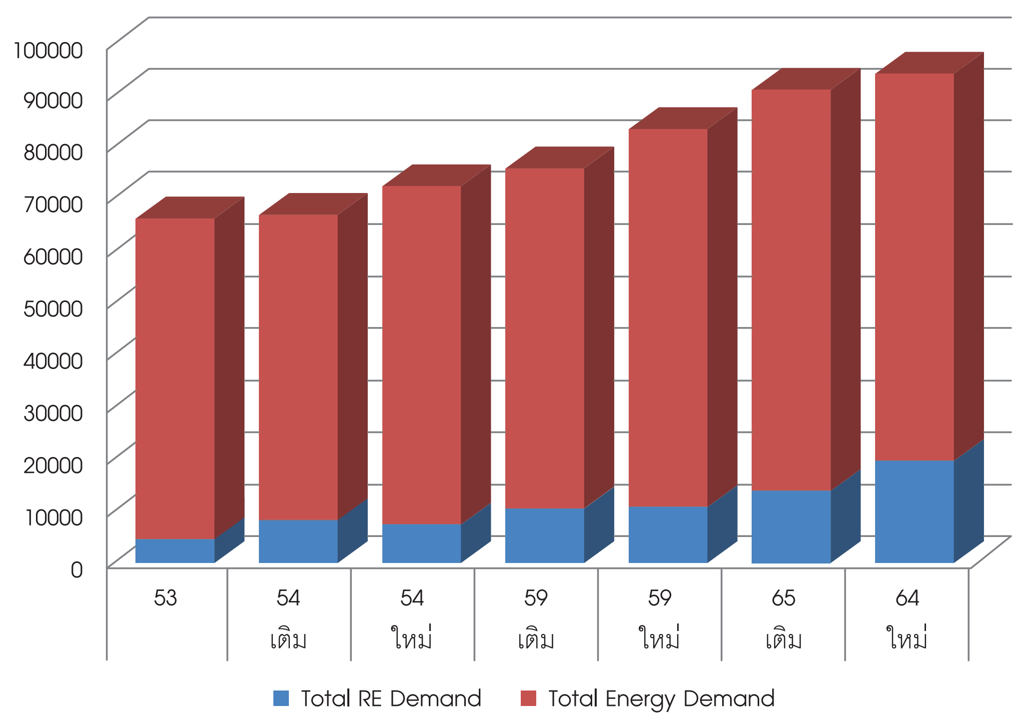
มูลค่าการนำเข้าพลังงานรวมในปี 2555 ประมาณ 1.443 ล้านล้านบาท

ปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจและเร่งหามาตรการเพื่อควบคุม โดยมาตรการกีดกันทางการค้าก็เป็นมาตรการหนึ่งที่มีแนวโน้มจะนำใช้อย่างแพร่หลายในอนาคต และถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่ถูกบังคับใช้ตามมาตรการดังกล่าวในปัจจุบัน แต่ก็ควรต้องดำเนินการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทนซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) และให้เป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กล่าวขวัญถึงประเทศไทยว่าเป็น

ประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทนผลผลิตทางการเกษตรซึ่งสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบนำมาผลิตพลังงานทั้งชีวมวล ก๊าซชีวภาพ รวมไปถึงไบโอดีเซลและเอทานอล อีกทั้งภายหลังการแปรรูปจากอุตสาหกรรมอาหาร วัสดุเหลือทิ้งยังสามารถก่อให้เกิดเป็นพลังงานจากขยะอีกด้วย นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 18.2 MJ/m2/day และบางแห่งของประเทศมีศักยภาพพลังงานลมดี จึงทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับดีมาก และมีโอกาสที่จะส่งเสริมพลังงานทดแทนให้กลายเป็นพลังงานที่มีส่วนสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ในอนาคต ดังนั้น รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ

2. กรอบแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ โดยในปี 2564 คาดว่าจะมีความต้องการ 99,838 ktoe จากปัจจุบัน 71,728 ktoe โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 และแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe ในปี 2555 เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด



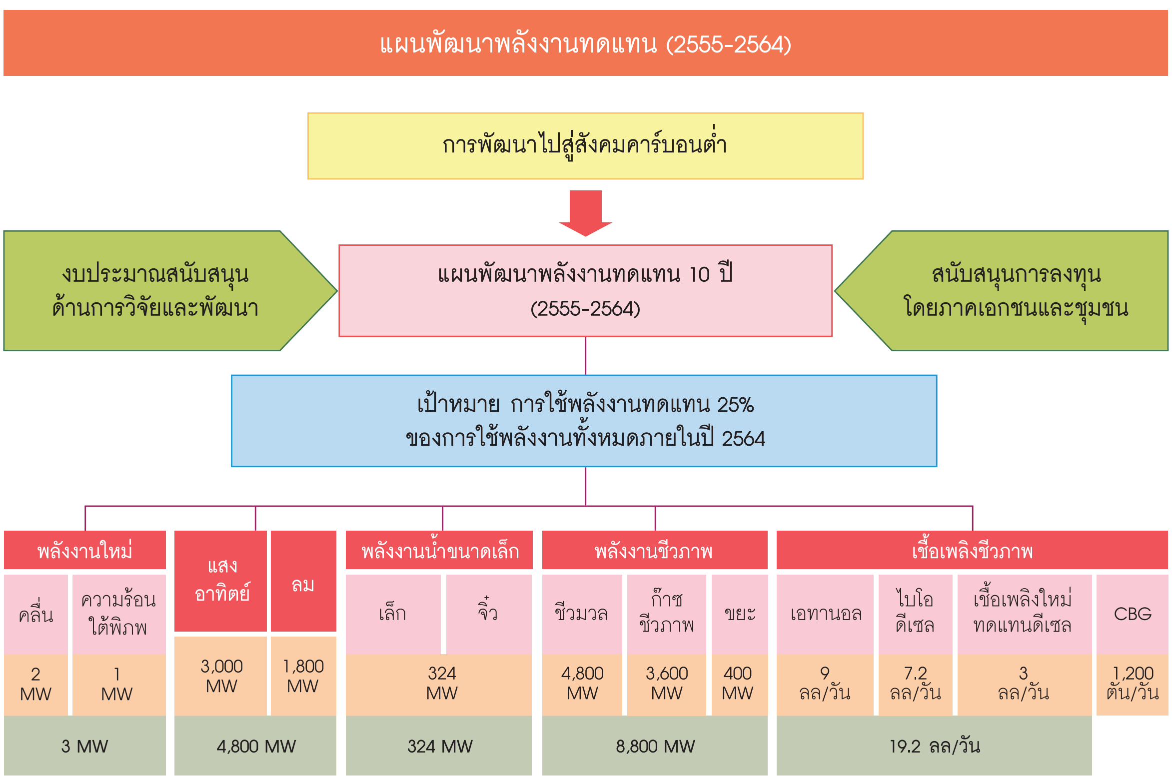
ที่มา : แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564)

3. สาระสำคัญแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี

3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักของประเทศ ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล และการนำเข้าน้ำมันได้อย่างยั่งยืนในอนาคต โดยในแผนนี้จะไม่รวมเป้าหมายการพัฒนาก๊าซธรรมชาติในภาคขนส่ง (NGV) แต่ได้เพิ่มเป้าหมายการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพอัด (CBG)
2. เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ
3. เพื่อเสริมสร้างการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชนในรูปแบบชุมชนสีเขียวแบบครบวงจร
4. เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ
5. เพื่อวิจัยพัฒนาส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนของไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดสากล

แผนพัฒนาพลังงานทดแทน (2555-2564)



3.2 ยุทธศาสตร์การส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี

กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์ในการจัดทำ Roadmap เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) หรือ AEDP (2012-2021)

โดยได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนตามแผน AEDP ใน 6 ประเด็น ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
3. การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้ารวมทั้งการพัฒนาสู่ระบบ Smart Grid
5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร

4. การขับเคลื่อนรายเทคโนโลยี

4.1 พลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า

4.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์ เป้าหมายในปี 2564 คือ 3,000 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 619.87 MW โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - ส่งเสริมโครงการระบบขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งในระดับชุมชนและครัวเรือน รวมทั้ง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar PV Rooftop) ให้ได้ 800 MW ภายใน 10 ปี โดยอาจพิจารณาให้รวมถึงระบบที่ติดตั้งใน
     1) บ้านของประชาชนทั่วไปและชุมชน
     2) อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและหลังคาโรงงานอุตสาหกรรม
     3) อาคารภาครัฐ
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
   - การปรับ Adder เป็นระบบ Feed in Tariff (FiT)
3. การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
   - ผลักดันปรับปรุง แก้ไขกฎหมาย พ.ร.บ.โรงงาน (พ.ศ. 2535)
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
   - ให้ 3 การไฟฟ้าเตรียมความพร้อมในการการขยายและเพิ่มระบบสายส่งเพื่อรองรับ พลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งเตรียมการพัฒนาสู่ระบบ Smart Grid
5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - การส่งเสริมให้ภาคประชาชนหรือภาคส่วนที่เกี่ยวข้องให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - ส่งเสริมอุตสาหกรรมผลิตแผงแสงอาทิตย์ต้นน้ำครบวงจร เช่น โรงงานผลิตซิลิกอนเวเฟอร์

4.1.2 พลังงานลม เป้าหมายในปี 2564 คือ 1,800 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 222.71 MW
โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าอื่นในชุมชนห่างไกล และเกาะที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้
   - กังหันลมเพื่อการเกษตรโดยเฉพาะกังหันลมสูบน้ำและระหัดวิดน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
   - การอำนวยความสะดวกให้เอกชนสามารถที่จะขอใช้พื้นที่และดำเนินติดตั้งกังหันลมในพื้นที่ห่างไกลได้
3. การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
   - ผลักดันแก้ไข ปรับปรุง ข้อกฎหมายและระเบียบปฏิบัติบางอย่างที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานลม เช่น
     1) ระเบียบปฏิบัติของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับการขอใช้พื้นที่บางพื้นที่เพื่อพัฒนาโครงการพลังงานลมได้
     2) นำเสนอแนวคิดการขอยกเว้นพื้นที่ลุ่มชั้นน้ำที่ไม่มีสภาพป่าต้นน้ำหลงเหลืออยู่และยากต่อการฟื้นฟูในบางพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลม เพื่อสามารถพัฒนาโครงการได้
     3) ผลักดันปรับปรุงแก้ไข พรบ.โรงงาน (พ.ศ. 2535)
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
   - การจัดทำแผนขยายระบบสายส่งควบคู่กับการพัฒนาเก็บสะสมพลังงาน เช่น ระบบพลังน้ำสูบกลับในพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง เช่น บริเวณภาคอีสาน
5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - ส่งเสริมให้มีการสร้างเครือข่ายผู้ใช้และผลิตพลังงานลม
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - ผลักดันให้มีอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ส่วนควบเพื่อการกักเก็บไฟฟ้าและระบบผลิตไฟฟ้าลมแบบผสมผสาน
   - พัฒนารูปแบบกังหันลมที่เหมาะสมกับความเร็วลมของประเทศโดยเฉพาะกังหันลมขนาดเล็ก

4.1.3 ไฟฟ้าพลังน้ำ เป้าหมายในปี 2564 คือ 324 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 104.73 MW (ไม่รวมระบบสูบกลับที่มีอยู่ปัจจุบันของ กฟผ. คือ ลำตะคอง 1-2 500 MW)
โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านให้แก่ราษฎรที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยไม่เชื่อมโยงกับระบบสายส่งไฟฟ้า (Off Grid)
   - สนับสนุนการก่อสร้างโครงการไฟฟ้าพลังน้ำระดับชุมชนให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือชุมชนเจ้าของพื้นที่มีส่วนร่วมเป็นเจ้าของโครงการ และสามารถบริหารงานและบำรุงรักษาเองได้ในอนาคต
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
3. การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
   - แก้ไขปัญหาอุปสรรคในการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่อาจตั้งอยู่ในพื้นที่อ่อนไหว เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1-B พื้นที่อุทยานแห่งชาติ หรือเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เป็นต้น
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
   - มอบหมายให้ พพ. และ กฟผ. พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กท้ายเขื่อนชลประทาน และระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กกำลังผลิตตั้งแต่ 200-6,000 KW

- มอบหมายให้ กฟผ. พัฒนาโครงการระบบสูบกลับใหม่ใน 2 พื้นที่ ได้แก่ โครงการลำตะคองสูบกลับ (3-4) 500 MW และโครงการเขื่อนจุฬาภรณ์สูบกลับ เพื่อช่วยรองรับการพัฒนาพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ภาคอีสาน

5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ข้อมูลและประโยชน์ของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - วิจัยและพัฒนา Micro Hydro Turbine แบบน้ำไหล
   - ศึกษาพัฒนาเครื่องกังหันน้ำแบบความสูงหัวน้ำต่ำ

4.1.4 พลังงานจากขยะ เป้าหมายในปี 2564 คือ 400 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 47.48 MW
โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - ส่งเสริมสนับสนุนการผลิตพลังงานจากขยะใน อปท. ขนาดกลางและขนาดเล็ก
   - ส่งเสริมสนับสนุนการผลิตพลังงานจากขยะในชุมชนขนาดเล็ก เช่น ในโรงเรียน วัด ชุมชน หน่วยงานต่าง ๆ
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
3. การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบฯ ที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
   - เร่งรัด ปรับปรุง แก้ไขกฎระเบียบของภาครัฐ เพื่อเอื้อให้เอกชนสามารถเข้าร่วมทุนกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในการผลิตพลังงานจากขยะทุกรูปแบบ โดยเฉพาะส่งเสริมการจัดการขยะแบบ RDF แล้วนำมาผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนร่วมในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งส่งเสริมการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
5. การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - สร้างการมีส่วนร่วมในพื้นที่เป้าหมายการจัดตั้งระบบผลิตพลังงานจากขยะ รณรงค์ให้ความรู้แก่เด็ก เยาวชน ในการจัดการขยะเพื่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมเชิงลึกระดับพื้นที่
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - ศึกษาการจัดการเชื้อเพลิง RDF
   - วิจัยพัฒนาเตาเผาขยะและระบบผลิตพลังงานจากขยะขนาดเล็กไม่เกิน 50 ตัน/วัน ให้สามารถผลิตในประเทศ
   - พัฒนามาตรฐานและอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

4.1.5 ชีวมวล เป้าหมายในปี 2564 คือ 4,800 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 2,210.25 MW
โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - ส่งเสริมให้มีการจัดตั้ง "สถานีผลิตพลังงานชุมชน Distributed-Green-Generation-DDG (DGG)" โดยมีกลุ่มวิสาหกิจพลังงานชุมชนเป็นเจ้าของและบริหารจัดการสถานีฯ ได้อย่างครบวงจร
   - ส่งเสริมการปลูกไม้โตเร็ว หญ้าโตเร็ว ในพื้นที่รกร้างว่างเปล่า/พื้นที่ที่ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์ พร้อมแปรรูป เพื่อจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงให้สถานีผลิตพลังงานชุมชน นำไปใช้ต่อยอดในการผลิตไฟฟ้า
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
   - พิจารณากำหนดมาตรการสนับสนุนเชิง Adder หรือ FIT และ Renewable Heat Incentive (RHI) พิเศษสำหรับโครงการ DGG ในระดับชุมชนเป็นการเฉพาะ
   - จัดเตรียมมาตรการสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเดิมชีวมวลที่ใช้ Low Pressure Boiler ที่ผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ให้เป็น High Pressure Boiler

3. การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบฯ ที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
   - มอบหมาย กฟผ. และ กฟภ. พิจารณาขยายระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานจากชีวมวลสูง
5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - สร้างกระบวนการมีส่วนร่วมในพื้นที่เป้าหมายที่จะมีการจัดตั้งระบบผลิตพลังงานจากชีวมวล รณรงค์ให้ความรู้แก่เด็กเยาวชนในการจัดการชีวมวลเพื่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมเชิงลึกระดับพื้นที่
   - สร้างเครือข่ายผู้ประกอบการพลังงานชีวมวล
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - พัฒนาการผลิต การใช้ และมาตรฐานของ Biomass Pallet เพื่อพัฒนาให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต
   - พัฒนาเทคโนโลยี Gasifier และ Gas Engine และพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เพื่อการผลิตภายในประเทศ
   - พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเหลว (Biomass-to-Liquid)

4.1.6 ก๊าซชีวภาพ เป้าหมายในปี 2564 คือ 3,600 MW (ก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3,000 MW) ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 260.33 MW

โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
   - ส่งเสริมสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน โดยเฉพาะชุมชน ชนบท เพื่อประโยชน์ในการนำมาใช้เองในครัวเรือน
   - ศึกษาและเตรียมการส่งเสริมสนับสนุนการพัฒนาเครือข่ายท่อก๊าซชีวภาพในชุมชน (Biogas Network) เพื่อต่อเชื่อมระบบที่อาจมีกำลังการผลิตเหลือให้สามารถนำมาแบ่งปันกันใช้ได้ในชุมชน โดยกลไกการบริหารของชุมชนเอง
   - ส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ในรูปแบบ "วิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน"
2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์
   - ส่งเสริมการผลิต/การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อการคมนาคมขนส่ง (CBG) โดยมีกลไกราคาที่สะท้อนต้นทุนเพื่อช่วยสนับสนุนการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในการผลิต CBG
3. การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบฯ ที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
   - ศึกษาและพัฒนากฎหมาย กฎระเบียบที่ว่าด้วยมาตรฐานความปลอดภัยระบบก๊าซชีวภาพ
4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน
5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน
   - ประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อ เพื่อเผยแพร่ความรู้ ข่าวสาร เพื่อสร้างภาพลักษณ์ที่ดีด้านการลงทุนผลิตและใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ อย่างปลอดภัย (Biogas Safety Campaign)
6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร
   - วิจัยและพัฒนาผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียผสม (Co-Digestion) โดยเฉพาะการนำชีวมวลบางประเภท เช่น ผักตบชวา ซังข้าวโพด มาหมักผสมกับมูลสัตว์
   - พัฒนาการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อการคมนาคมขนส่ง (CBG) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.2 พลังงานรูปแบบใหม่เพื่อการผลิตไฟฟ้า

กระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานรูปแบบใหม่ที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และคาดว่าน่าจะมีศักยภาพในการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ในอนาคต ได้แก่

4.2.1 พลังงานความร้อนใต้พิภพ เป้าหมาย 1 MW ในปี 2564 ปัจจุบันมีกำลังการผลิต 300 KW

1. ปัญหาอุปสรรคของการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ
   - มีขีดจำกัดในการพัฒนาแหล่งความร้อนใต้พิภพเพื่อการผลิตพลังงาน เพราะว่าแหล่งภายในประเทศส่วนใหญ่ความร้อนไม่สูง
   - การสร้างความเข้าใจต่อชุมชนในการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพเพื่อผลิตพลังงาน
   - ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
2. แนวทางและทิศทางการพัฒนาพลังงานความร้อนใต้พิภพ
   - พัฒนาแผนที่ศักยภาพแหล่งและเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของประเทศ
   - ประเมินความเป็นไปได้การพัฒนาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสม
   - ประเมินความคุ้มค่า ผลกระทบต่อชุมชน สิ่งแวดล้อม และสุขภาพนำมาผลิตพลังงาน
   - ทดลองนำเทคโนโลยีที่อาจใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีอุณหภูมิไม่สูงนักมาใช้ประโยชน์
   - ติดตามเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมกับศักยภาพและภูมิประเทศ

4.2.2 พลังงานมหาสมุทร (Ocean Energy)

เป้าหมาย 2 MW ปัจจุบันยังไม่มีการผลิต

1. ปัญหาอุปสรรคของการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานจากคลื่นและกระแสน้ำทะเล
   - ขาดข้อมูลและการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานจากคลื่น
2. แนวทางและทิศทางการพัฒนาพลังงานจากคลื่น
   - เร่งรัดการศึกษาเพื่อให้สามารถบ่งชี้แหล่งและรูปแบบเทคโนโลยีที่อาจนำมาประยุกต์ใช้กับพลังงานจากทะเลของประเทศ ได้แก่ รอบๆ เกาะภูเก็ต เกาะสมุย-พงัน และเกาะแตน เป็นต้น
   - สามารถประเมินศักยภาพการพัฒนาและเตรียมความพร้อมในการพัฒนาโครงการนำร่อง

4.2.3 ไฮโดรเจนและระบบสะสมพลังงาน

1. ปัญหาอุปสรรคของการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานไฮโดรเจนและระบบสะสมพลังงาน
   - ขาดการให้ความสำคัญในการวางแผนวิจัยและพัฒนา
   - ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
   - การวิจัยพัฒนาในประเทศยังไม่กว้างขวางและขาดการสนับสนุนด้านงบประมาณอย่างต่อเนื่อง
   - ขาดกำหนดมาตรการจูงใจในการพัฒนาและใช้พลังงานไฮโดรเจนในภาคการผลิตไฟฟ้าและพัฒนาไฮโดรเจนให้เป็นระบบเก็บสะสมพลังงาน
2. แนวทางและทิศทางการพัฒนาพลังงานไฮโดรเจนและระบบสะสมพลังงาน
   - ศึกษาแหล่งวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรเจนที่เหมาะสมของประเทศ
   - วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต จัดเก็บ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ
   - วิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ
   - วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการนำไปประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนในระบบสะสมพลังงานรวมทั้งวิจัยและสาธิตระบบสะสมพลังงานรูปแบบอื่นที่มีศักยภาพ เช่น เทคโนโลยี Vanadium Redox Flow และเทคโนโลยี Lithium-Ion Battery เป็นต้น

4.3 พลังงานทดแทนในภาคขนส่ง (ทดแทนการใช้น้ำมัน)

4.3.1 เอทานอล (เชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซิน) เป้าหมายในปี 2564 คือ 9 ล้านลิตร/วัน ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 2.3 ล้านลิตร/วัน โดยมุ่งเน้นการพัฒนาพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ 2 ด้าน ดังนี้

1. ด้านอุปทาน

1.1 เพิ่มผลผลิตเฉลี่ยของประเทศต่อไร่ต่อปี ของมันสำปะหลังและอ้อยไม่น้อยกว่า 5 และ 15 ตัน/ไร่/ปี ในปี 2564 ดังนี้

วัตถุดิบ	พื้นที่ (ล้านไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน/ไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน/ปี)
มันสำปะหลัง	7	5	35
อ้อย	7	15	105

2. ด้านอุปสงค์

2.1 บริหารส่วนต่างราคาน้ำมัน E20 ให้ถูกกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 อย่างน้อย 2.5-3 บาท/ลิตร พร้อมกำหนดให้ค่าการตลาดของน้ำมัน E20 ควรมากกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 และไม่น้อยกว่า 50 สตางค์/ลิตร เพื่อเป็นแรงจูงใจในการเร่งรัดขยายสถานีบริการ E20

2.2 สนับสนุนงบประมาณการวิจัย ทดสอบ และการสร้างแรงจูงใจเพื่อเพิ่มความต้องการใช้เอทานอล เช่น การใช้ conversion kit กับรถยนต์และรถจักรยานยนต์เก่าเพื่อให้สามารถใช้น้ำมัน E85 ได้ หรือการปรับปรุงดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้น้ำมัน ED95 ได้ เป็นต้น

2.3 ประชาสัมพันธ์สร้างความเข้าใจน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 E20 E85 อย่างต่อเนื่อง

2.4 สนับสนุนการผลิตรถยนต์ E85 ในรถยนต์นั่งทั่วไป

2.5 เสนอเพื่อให้มีการกำหนดให้การซื้อรถยนต์ราชการเป็นรถยนต์ E85

2.6 ปรับปรุงกฎ ระเบียบ ข้อบังคับและกฎหมายต่างๆ เพื่อรองรับการค้าเอทานอลอย่างเสรีในอนาคต เช่น การกำหนดข้อยกเว้นใน พ.ร.บ. สุรา ให้ไม่มีผลบังคับใช้กับการผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เป็นต้น และการปรับปรุง พ.ร.บ. ภาษีสรรพสามิต เพื่อสนับสนุนการส่งออกเอทานอล รวมทั้งเป็นการเตรียมพร้อมรองรับเทคโนโลยี Multi-Dispenser เป็นต้น

4.3.2 ไบโอดีเซล (เชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล) เป้าหมายในปี 2564 คือ 7.2 ล้านลิตร/วัน ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 2.7 ล้านลิตร/วัน โดยมุ่งเน้นการพัฒนาพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ 2 ด้าน ดังนี้

1. ด้านอุปทาน

- ส่งเสริมการปลูกปาล์มในพื้นที่ที่เหมาะสมโดยไม่แย่งพื้นที่พืชอาหาร โดย
- ส่งเสริมให้มีพื้นที่ปลูกปาล์ม 5.5 ล้านไร่ และมีปาล์มให้ผลรวม 5.3 ล้านไร่ ภายในปี 2564
- มีกำลังการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ไม่น้อยกว่า 3.05 ล้านตัน/ปี
- ส่งเสริมให้เป้าหมายผลิตภาพ หรือ yield ไม่น้อยกว่า 3.2 ตัน/ไร่/ปี มีอัตราสัดส่วนการให้น้ำมัน (Oil Content) ไม่น้อยกว่า 18%

2. ด้านอุปสงค์

- บริหารจัดการสัดส่วนการผสมน้ำมันไบโอดีเซลให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มภายในประเทศ

- ทดลองนำร่อง B10 หรือ B20 ใน fleet รถบรรทุกหรือเรือประมงเฉพาะ
- เตรียมพัฒนามาตรฐานไบโอดีเซลแบบ FAME ให้สามารถมีสัดส่วนผสมในน้ำมันดีเซลถึง 7% (B7)

3. มีการบริหารจัดการแบบครบวงจร ตั้งแต่การปลูกปาล์มน้ำมัน การสกัดน้ำมัน การผลิตน้ำมันพืชบริโภค การผลิตไบโอดีเซลและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง การนำเข้า การส่งออกและ R&D เพื่อลดต้นทุนและสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ประเทศสูงสุด

4.3.3 ก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Biogas - CBG)

ดำเนินโครงการ Compressed Biogas (CBG) เพื่อใช้เป็นส่วนเสริมและสนับสนุนการส่งเสริมการใช้ก๊าซธรรมชาติในภาคขนส่ง (NGV) โดยมีเป้าหมาย 1,200 ตัน/วัน

4.3.4 เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต : เป้าหมาย 2564 3.0 ล้านลิตร/วัน

1. ด้วยที่ปัจจุบันการวางแผนการใช้เอทานอล เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินในประเทศสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกันการวางแผนที่จะนำไบโอดีเซลมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยเฉพาะการที่ประเทศไทยมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ไม่เพียงพอ ดังนั้น ในการวิจัยและพัฒนา "เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต" จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยในปัจจุบันสามารถบ่งชี้แนวทางการพัฒนาเชื้อเพลิงใหม่ทั้งสิ้น 7 แนวทาง ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาพืชพลังงานใหม่ 2 แนวทาง (สบู่ดำและสาหร่าย) การนำเอทานอลมาผสมใช้แทนน้ำมันดีเซล 3 แนวทาง (FAEE, ED95 และดีโซฮอล์) และการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรสภาพน้ำมัน 2 แนวทาง (BHD และ BTL) โดยได้มีการจัดทำแผนปฏิบัติการ (พ.ศ. 2555-2559) เพื่อส่งเสริมงานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลอนาคตเรียบร้อยแล้ว โดยเป็นการบูรณาการการทำงานร่วมกันระหว่าง กระทรวงพลังงาน (พน.) และ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) โดยพอสรุปสังเขป ดังนี้

- สบู่ดำ พัฒนาพันธุ์และเพาะปลูกที่ให้ผลผลิตสูง พัฒนาเครื่องจักรในวัฏจักรสบู่ดำ และทดสอบการใช้งานระยะยาวในเครื่องยนต์
- สาหร่ายน้ำจืด-น้ำเค็ม ปรับปรุงพันธุ์และพัฒนาการผลิตเชิงพาณิชย์
- FAEE ทดสอบการใช้งานกับรถยนต์ และหามาตรฐานทดสอบคุณภาพ
- ED95 พัฒนาสารเติมแต่งและเทคโนโลยีการดัดแปลงเครื่องยนต์เก่า
- ดีโซฮอล์ ทดสอบสัดส่วนเอทานอลที่เหมาะสมจะผสมในน้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซลผสมอยู่แล้ว 3-5% ทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์
- BHD ทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์ มาตรฐานทดสอบคุณภาพ และเตรียมส่งเสริมให้เกิดการลงทุน
- BTL ผลิตระดับ pilot scale ทดสอบการใช้งาน

2. สำหรับการขยายผลเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ (ระยะยาว พ.ศ. 2560-2564) จะเตรียมการในลำดับของการจัดทำแผนปฏิบัติการต่อไปเมื่อผลงานวิจัยได้รับการยอมรับ โดยคาดว่าจะขยายผลสู่โรงกลั่นในเชิงพานิชย์ต่อไป

4.4 พลังงานทดแทนเพื่อการผลิตความร้อน (Renewable Heat)

มีแนวคิดที่จะจัดให้มีการพัฒนามาตรการ "RHI" (Renewable Heat Incentive) สำหรับส่งเสริมการนำพลังงานทดแทน เช่น ชีวมวล ขยะ ก๊าซชีวภาพ และแสงอาทิตย์ มาเป็นความร้อนในภาคอุตสาหกรรมทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซหุงต้ม LPG น้ำมันเตาและถ่านหิน ได้แก่

4.4.1 พลังงานแสงอาทิตย์ เป้าหมายในปี 2564 คือ 100 ktoe ปัจจุบันปริมาณการใช้รวม 4.27 ktoe

- ส่งเสริมการติดตั้งระบบน้ำร้อน/น้ำเย็นแสงอาทิตย์ (Solar Heating/Cooling) โดยอาจจัดให้มีการนำร่องในอาคารภาครัฐก่อนได้
- พัฒนาระบบน้ำร้อนแสงอาทิตย์ระดับครัวเรือนที่มีต้นทุนต่ำ
- พัฒนากลไกภาคบังคับ เช่น Building Energy Code ให้บังคับอาคารขนาดใหญ่ติดตั้งระบบน้ำร้อน/น้ำเย็นแสงอาทิตย์
- ส่งเสริมระบบอบแห้งแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SME) และวิสาหกิจชุมชน (OTOP)

4.4.2 ก๊าซชีวภาพ เป้าหมายในปี 2564 คือ 1,000 ktoe ปัจจุบันปริมาณการใช้รวม 468.15 ktoe

4.4.3 ชีวมวล เป้าหมายในปี 2564 คือ 8,500 ktoe ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 4,775.85 ktoe

- ส่งเสริมระบบการผลิต Biomass Pallets
- ส่งเสริมระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม (ไฟฟ้า+ความร้อน) หรือระบบ Biomass Co-Generation ให้มีการใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมน้ำตาล และน้ำมันปาล์ม

4.4.4 พลังงานขยะ เป้าหมายในปี 2564 คือ 200 ktoe ปัจจุบันมีปริมาณการใช้รวม 78.18 ktoe

- ส่งเสริมและพัฒนาแนวทางจัดการคัดแยกขยะอย่างมีประสิทธิภาพ
- ส่งเสริมและผลักดันให้ชุมชนที่มีศักยภาพผลิตพลังงานจากขยะ

ตารางที่ 1 ตารางค่าเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในภาคการผลิตไฟฟ้าตามแผน AEDP 25% ใน 10 ปี

ประเภทไฟฟ้า	เป้าหมาย (MW)		Energy (ล้านหน่วย)		Ktoe	
	เดิม*	ใหม่**	เดิม*	ใหม่**	เดิม*	ใหม่**
1. พลังงานลม	1,200.00	1,800.00	1,576.80	2,365.20	134.36	201.54
2. พลังงานแสงอาทิตย์	2,000.00	3,000.00	2,628.00	3,942.00	223.93	335.90
3. พลังงานน้ำ (ขนาดเล็ก)	324.00	324.00	993.38	993.38	84.65	84.65
พลังงานน้ำแบบสูบกลับ	1,284.00	-	7,873.49	-	670.90	-
4. พลังงานชีวมวล	3,630.00	4,800.00	22,259.16	29,433.60	1,896.70	2,508.04
5. ก๊าซชีวภาพ	600.00	600.00	3,153.60	3,153.60	268.72	268.72
หญ้าเนเปียร์	-	3,000.00	-	21,024.00	-	1,791.46
6. พลังงานจากขยะ	160.00	400.00	840.96	2,102.40	71.66	179.15
7. พลังงานรูปแบบใหม่	3.00	3.00	10.51	10.51	0.90	0.90
รวม	9,201.00	13,927.00	39,335.90	63,024.70	3,351.81	5,370.33

* มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554

** มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

5. ค่าเป้าหมายตามแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี

สัดส่วนพลังงานทดแทนต่อการใช้

ตารางที่ 2 ตารางเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตความร้อนตามแผน AEDP 25% ใน 10 ปี

ประเภทความร้อน	เป้าหมาย (Ktoe)	
	เดิม*	ใหม่**
1. พลังงานแสงอาทิตย์	100	100
2. พลังงานชีวมวล	8,200	8,500
3. ก๊าซชีวภาพ	1,000	1,000
4. ขยะ	35	200
รวม	9,335	9,800

* มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554
** มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

ตารางที่ 3 ตารางค่าเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในภาคขนส่งตามแผน AEDP 25% ใน 10 ปี

เชื้อเพลิงชีวภาพ	เป้าหมาย (ล้านลิตร)		Ktoe	
	เดิม*	ใหม่**	เดิม*	ใหม่**
เอทานอล	9.00	9.00	2,447.33	2,447.33
ไบโอดีเซล (B10)	5.97	7.20	1,878.34	2,265.34
เชื้อเพลิงใหม่ (BHD)	25.00	3.00	7,865.75	943.89
ก๊าซชีวภาพอัด (CBG), ตัน/วัน	-	1,200.00	-	3,807.09
รวม			12,191.42	9,463.64

* มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554
** มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

ตารางที่ 4 สรุปผลรวมเป้าหมายตามแผน AEDP 25% ใน 10 ปี

ประเภท	เป้าหมาย (ktoe)	
	เดิม*	ใหม่**
1. ทดแทนในภาคการผลิตไฟฟ้า	3,351.81	5,370.33
2. ทดแทนเพื่อผลิตความร้อน	9,335.00	9,800.00
3. ทดแทนในภาคขนส่ง	12,191.42	9,463.64
รวม	24,878.23	24,633.97

* มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554
** มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

Index

α-cellulose 84
β-cellulose 84
γ-cellulose 84
2 cycle diesel engine 186
4 cycle diesel engine 186

A
acid value 186
acid-forming bacteria 84
acidity 186
adiabatic flame temperature 84
aerobic digestion 85
afforestation 85
agricultural residue 86
agricultural wastes 86
air mass ratio (AM) 14
air separator unit (ASU) 86
air turbine 270
air-blown gasification 86
airfoil 270
alcoholysis 87
algae 87
alkaline catalyst 88
alkaline fuel cell (AFC) 46
allothermal gasification 88
alternative energy 89
alternative jet fuel 186
amylopectin 89
amylose 89
anaerobic covered lagoon 90
anaerobic digestion 90
anemometer 282
anhydrous ethanol 202
animal manure 91
annual energy production (AEP) 283
aquaculture 224
aqueous-phase reforming (APR) 91
aquifer 224
aromatics content 187
ash 92
attenuator 270
Auger drilling system 225
autohydrolysis 132
automotive diesel oil 209
autothermal gasification 92
azeotropic distillation 188

B
B100 188
B5 188
bagasse 92
bark 93
barrage 270
benzene content 188
Betz’ law 283
binary cycle system 225
binary generation system 225
biobutanol 193
bio-char 188
biodiesel 189
bioenergy 93
biofuel 189
biogas 190
biogas engine 191
biogas post treatment 191
biogas upgrading 191
biohydrogen production 47
bio-hydrogenated diesel (BHD) 192
biological fuel cell 48
biomass 95
biomass to liquid (BTL) 97
biorefinery 97
black liquor 98
boiler 98
Boudouard reaction 99
Boyle’s law 99
brown salwood 138
butanol 193
Butler-Volmer equation 48
buttress dam 250

C
calm wind 283
calorific value 208
canal 250
capacity factor (CF) 283
carbohydrate 99
carbon credit 99
carbon cycle 100
carbon dioxide 101
carbon footprint 102
carbon residue 193
carbonization 102
cassava 105
catalytic decomposition 49
catalytic deoxygenation 194
cellulase 103
cellulose 103
cellulosic ethanol 194
central receiver system 15
cetane number 195
channel digester 155
Charles F. Brush 283
chemical hydrogen storage 50

chemical-looping combustion	104
chipping	104
cloud point	195
coalification	105
co-combustion	105
coconut	106
co-firing	105
cogeneration	107
cold gas efficiency (CGE)	107
combined cycle	108
combined heat and power (CHP)	107
combustion	108
combustion chamber	195
compressed biogas	196
compressed biomethane gas (CBG)	196
compressed hydrogen	51
compressive ignition	196
concrete dam	250
condenser	270
control switchboard	251
copper strip corrosion	197
corn	110
cotton	111
cracking	111
critical point	112
critical pressure	112
critical temperature	112
cross flow filtration	270
cut-in wind speed	284
cut-out wind speed	284
cyclone	112
D	
dam	251
deforestation	112
dehydrated ethanol	202
denatured ethanol	197
dew point	197
dew point temperature	197
diacylglycerols	199
diesel fuel	198
diesohol	199
diffuse radiation	16
diffusion	270
diglycerides	199
dimethyl ether (DME)	200
dimethyl ether synthesis	113
dioxin	114
direct combustion	52
direct geothermal power	226
direct radiation	16
disaccharide	114
dish / Stirling engine system	17
distillation profile	201
district heating	226
double flash system	227
downwind turbine	284
drag force	284
drilling fluids	228
drilling mud	228
drilling rig	229
dry rock	230
dry steam system	230
durability of fuel cell	53
E	
E10	201
E100	201
E20	201
E85	201
earthdam	251
earth-fill dam	251
ED95	202
electrocatalyst	53
electrode	54
electrodialysis	54
electrolysis	55
electrolyte	55
electron-hole pair	18
electrostatic precipitator (ESP)	115
energy band model	18
energy crop	115
enhanced geothermal system	231
enzyme catalyst	115
equivalent ratio	116
esterification	116
ethanol	203
ethanol 95.6%	202
ethanol 99.5%	202
ethanol dehydration	202
ethanol fermentation	117
ethyl alcohol	203
ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	203
eucalyptus timber	117
evaporator	270
external combustion engine	203
extraction	117
extractive distillation	188
extrinsic conductivity	19
extruded log	118
F	
Faraday's law of electrolysis	56
fast growing tree	118

fast pyrolysis 119
fatty acid ethyl ester (FAEE) 203
fatty acid methyl ester (FAME) 204
fermentation 119
fermentative hydrogen production 56
Fermi level 19
Fischer-Tropsch synthesis 120
flash point 204
flash pyrolysis 121
flat plate collector 20
flex-fuel vehicle (FFV) 204
flexible-fuel vehicle 204
flow field plate 57
flue gas desulfurization (FGD) 121
forebay 252
forest biomass 122
forest residue 122
fossil fuel 58
free fatty acid 205
fuel cell 58
fuel cell application 59
fuel cell efficiency 59
fuel equivalent power 122
fuel ethanol 202
furan 205
furfural 206

G

gas diffusion layer 60
gas to liquid (GTL) 122
gas turbine 123
gasification 124
gasifier 126
gasohol 206
gasoline engine 207
generator 252
geological exploration 231
geology 232
geophysical exploration 232
geothermal bathing 233
geothermal electricity in Thailand 233
geothermal exploring and drilling 234
geothermal gradient and heat flow 235
geothermal heat pump 236
geothermal power plant 237
geothermal reservoirs 237
geothermal resources in Thailand 238
glycans 155
glycerol 208
governor 253
greenhouse effect 128
greenhouse gases (GHG) 128
ground loop 239

H

headrace 253
heat recovery steam generator (HRSG) 129
heating value 208
hemicellulose 129
heterogeneous catalyst 130
heteroglycans 130
heteropolysaccharide 130
high-speed diesel oil 209
hill effect 286
holocellulose 131
homogeneous catalyst 131
homoglycans 132
homopolysaccharide 132
horizontal axis wind turbine (HAWT) 286
horizontal ground loop 239
horizontal turbine 270
hot dry rock 230
hot spring 245
hot-compressed water 132
hub height 287
hydrated ethanol 202
hydraulic residence time (HRT) 136
hydrodeoxygenation (HDO) 209
hydroelectricity 253
hydrogasification 133
hydrogen donor 133
hydrogen economy 60
hydrogen fuel processor 61
hydrogen production 61
hydrogen properties 62
hydrogen refueling station 63
hydrogen safety 63
hydrogen source 63
hydrogen storage 64
hydrogen sulfide 134
hydrogenase 134
hydrogenation 134
hydropower 253
hydroprocessed renewable jetfuel (HRJ) 210
hydropyrolysis 135
hydrothermal process 136
hydrothermal system 240
hydrous ethanol 202
hydrous pyrolysis 136
hydroxymethylfurfural (HMF) 210

I

IC engine 211
impulse turbine 254
incineration 137
industrial diesel oil 212
intake 255
integrated gasification combined cycle (IGCC) 137
internal combustion engine 211
intrinsic conductivitiy 21

J

jatropha 138
Johannes Juul 288

K

kinematic viscosity 212
Krathin Tepa 138

L

land breeze 288
large hydroelectric power plant 255
lead content 212
leucaena 139
life cycle assessment (LCA) 64
lift force 289
lignin 139
lignocellulosic biomass 140
lipase 140
liquid hydrogen 65
liquid-hot water 132
livestock unit (LU) 140
long wave radiation 21
low-speed diesel oil 212

M

maize 110
manure biogas 212
membrane electrode assembly 66
membrane filtration 270
membrane separation 66
mesophilic digestion 140
methanation 141
methane 213
methane content 213
methane reforming 66
methane-forming bacteria 141
methanogenic bacteria 141
methanol 214
methanol synthesis 141
methyl alcohol 214
micro hydroelectric power plant 255
microalgae 142
microbial fuel cell 48
micro-emulsion 142
micro-siting of wind resource 289
mini hydroelectric power plant 261
molasses 142
molten carbonate fuel cell (MCFC) 67
monoacylglycerols 214
monoglycerides 214
monosaccharide 143
monsoon 290
mountain breeze 291
municipal solid waste (MSW) 144

N

nacelle 291
nanocrystalline solar cell 22
napier grass 147
natural rubber (NR) 147
Nernst equation 67
nitrogen oxides 148
northeast local wind 292
NO_x reduction 148

O

ocean energy 271
ocean energy technology 271
ocean thermal energy conversion (OTEC) 271
octane number 214
oil palm 149
oligosaccharide 149
onshore breeze 296
open sea 292
open terrain 292
open-loop geothermal heat pump system 241
optical windows 23
organic matter 150
oscillating hydrofoil 271
oscillating water column (OWC) 271
osmosis 271
osmotic pressure 271
overpotential 68
overtopping terminator 272
oxygen-blown gasification 150

P

paddy husk 161
para rubber 151
para timber 151
parabolic trough collector 23
parabolic trough system 24
park effect 292
partial oxidation 152
particulate matter 152
passive solar design 25
pelletization 153
penstock 256
percussion drilling system 241
petroleum diesel 198
phenolic compounds 153
phosphoric acid fuel cell (PAFC) 68
phosphorus content 215
photocatalytic process 68
photosphere 25
photosynthesis 69, 154
photovoltaic (PV) cell 29
photovoltaic characterization 26
photovoltaic effect 27
photovoltaics (PV) 26
physic nut 138
physical hydrogen storage 69
plasma gasification 154
plasma reforming 69
plates tectonic 242
plug flow anaerobic digester 155

P-N junction 27
point absorber 272
polarization 70
polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) 155
polysaccharide 155
potential of ocean energy 272
Poul la Cour 292
pour point 215
power curve 293
power density 70
power coefficient (CP) 294
powerhouse 256
pressure-retarded reverse osmosis 273
producer gas 215
proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) 70
proximate analysis 155
psychrophilic digestion 156
pumped storage hydro plant 256
pyrolysis 156
pyrolysis oil 192

R
ram pump 274
Rankine cycle 157, 274
rapeseed 157
rated power output 294
rated rotor speed 295
reaction turbine 257
refined bleached deodorized palm oil 158
refined vegetable oil 158
reforestation 158
refused derived fuel (RDF) 159
regenerative cycle 160
regenerative fuel cell 72
regulating pond hydro plant 258
renewable energy 160
reservoir hydro plant 258
reversible fuel cell 72
rice 161
rice husk 161
rice straw 162
rock fill dam 259
rotary drilling system 243
rotor 274
rotor blade 295
roughness 296
rubber weir 259
run-of-river hydro plant 260

S
saccharification 162
salinity gradient energy 274
sand sluice 260
saponification 162
saturated fatty acid 163
sawdust 163
scrubber 163
sea breeze 296
semi permeable membrane 275
semiconductor 28
sewage sludge 164
sheltered terrain 297
short wave radiation 28
silicon-based solar cell 28
slagging 164
slinky ground loop 244
slow pyrolysis 165
slush hydrogen 73
small hydroelectric power plant 261
small hydroelectric power plant map in Thailand 261
sodium hydroxide 88
solar cell 29
solar chimney 29
solar collector 30
solar constant 30
solar drying 31
solar electricity in Thailand 32
solar pond system 34
solar radiation 34
solar resource map of Thailand 35
solar spectrum 36
solar system 37
solar thermal heat system 38
solar thermal heat system in Thailand 38
solar thermal power plant 39
solid oxide fuel cell (SOFC) 73
solvent washed gum 215
solvolysis reaction 165
sorting 165
southwest local wind 297
soybean 166
spark-ignition engine 207
specific gravity 216
spillway 263
spreading center 244
spring 245
stall 297
starch 166
stator 275
steady-state characteristics 39
steam explosion 167
steam gasification 167
steam reforming 168
steam turbine 168
steam-iron process 74
step-up substation 263
Stirling engine system 17
stream tube 298
streamlines 299
subduction zone 246

sugarcane 169
sulfated ash 216
sulfate-reducing bacteria 170
sulfur oxides 170
sulphur content 216
sun 40
sunflower 170
supercritical fluid 171
supercritical water gasification (SCWG) 172
surge tank 252
survival wind speed 299
switch yard 263
switchgrass 172
syngas 218
syngas engine 217
synthesis gas 218
synthetic fuels 218

T
Tafel equation 75
tailrace 264
tapioca 105
tar 173
temperature gradient energy 275
theoretical flame temperature 84
thermal decomposition 75
thermochemical conversion 173
thermolysis 75
thermophilic digestion 174
thin-film solar cell 40
tidal current energy 276
tidal energy 276
tidal head energy 276
torrefaction 175
total contaminant 219
total glycerine 219
town gas 219
transesterification 175
transient characteristics 41
transmission line 264
trash rack 265
triacylglycerol 176
triglyceride 176
tubular collector 42
tunnel effect 299
turbulence 300

U
ultimate analysis 176
ultra-rapid pyrolysis 176
unsaturated fatty acid 177
up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) 177
upwind turbine 300
used cooking oil 178

V
valley breeze 301
vapor pressure at 37.8 oC 219
venturi 277
vertical axis wind turbine 301
vertical ground loop 246
vertical turbine 277
volatile matter 178
volatility 220

W
wake effect 302
waste tire 179
wastewater from agro-industries 180
water 76
water content 220
water haul windmill 302
water hyacinth 181
water turbine 265
water-gas reaction 180
water-gas shift reaction 180
wattle 181
wave energy 277
wave energy conversion technology 278
Weibull distribution 303
weir 266
Wells turbine 278
wheat 182
willow 182
wind direction 304
wind energy 304
wind farm 306
wind gust 307
wind map 307
wind power class 308
wind power density 309
wind rose 309
wind shade 310
wind shear 310
wind speed 311
wind speed frequency distribution 311
wind turbine 311
wind turbine break 312
wind turbine controller 312
wind turbine generator 313
wind turbine map in Thailand 314
wind turbine tower 316
wind vane 316
wind-energy potential 305
windmill 317
Wobbe index 220
wood charcoal 188

Y
yaw mechanism 318

ดัชนี

ก

กฎของฟาราเดย์ของการแยกสลายด้วยไฟฟ้า 56
กฎของบอยล์ 99
กฎของเบ็ตซ์ 283
กรดไขมันไม่อิ่มตัว 177
กรดไขมันอิ่มตัว 163
กรดไขมันอิสระ 205
กระถินณรงค์ 181
กระถินเทพา 138
กระถินยักษ์ 139
กระบวนการความร้อนร่วมการแกซิฟาย 137
กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 68
กระบวนการออสโมซิสผันกลับ 273
กระบวนการไอน้ำ-เหล็ก 74
กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล 136
กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม 293
กลไกลหมุนหาลม 318
กลีเซอรอล 208
กลีเซอรีนทั้งหมด 219
กังหันแกนหมุนขนานกับพื้นราบ 270
กังหันแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบ 277
กังหันแก๊ส 123
กังหันแบบแรงกระแทก 254
กังหันแบบแรงโต้ 257
กังหันลม 311
กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง 301
กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน 286
กังหันลมชนิดหันหน้าเข้าสู่ลม 300
กังหันลมชนิดหันหลังให้ลม 284
กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ 302
กังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก 317
กังหันเวลส์ 278
กังหันอากาศ 270
กังหันไอน้ำ 168
กากคาร์บอน 193
กากตะกอนจุลินทรีย์ 164
กากตะกอนน้ำเสีย 164
กากถ่าน 193
กากน้ำตาล 142
ก๊าซชีวภาพ 190
การกรองด้วยเยื่อ 270
การกรองแบบไหลขวาง 270
การกลั่นแบบคงจุดเดือด 188
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง 197
การเก็บไฮโดรเจน 64
การเก็บไฮโดรเจนทางกายภาพ 69
การเก็บไฮโดรเจนทางเคมี 50
การเกิดกากถลุง 164
การเกิดสแลก 164
การแกซิฟาย 124
การแกซิฟายด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต 172
การแกซิฟายด้วยพลาสมา 154
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายนอก 88
การแกซิฟายด้วยแหล่งความร้อนภายใน 92
การแกซิฟายด้วยไอน้ำ 167
การแกซิฟายด้วยไฮโดรเจน 133
การแกซิฟายแบบเป่าออกซิเจน 150
การแกซิฟายแบบเป่าอากาศ 86
การขจัดออกซิเจนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 194
การขจัดออกซิเจนโดยใช้ไฮโดรเจน 209
การคาร์บอไนซ์ 102
การจุดระเบิดด้วยการอัด 196
การแจกแจงความถี่ความเร็วลม 311
การแจกแจงแบบไวบูลล์ 303
การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย 38
การเติมไฮโดรเจน 134
การแตกตัว 111
การทดสอบลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า 26
การทอร์ริฟาย 175
การทำลายป่า 112
การบำบัดแก๊สชีวภาพ 191
การประเมินตลอดวงจรชีวิต 64
การประยุกต์เซลล์เชื้อเพลิง 59
การปลูกป่า 85
การเปลี่ยนทางอุณหเคมี 173
การเปลี่ยนเป็นน้ำตาล 162
การเปลี่ยนเป็นมีเทน 141
การแปรสภาพเป็นแก๊ส 124
การแปรสภาพเป็นถ่านหิน 105
การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย 32
การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงาน 233
ความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย
การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม 107

การผลิตไฮโดรเจน	61
การผลิตไฮโดรเจนชีวภาพ	47
การผลิตไฮโดรเจนด้วยการหมัก	56
การเผาเป็นเถ้า	137
การเผาไหม้	108
การเผาไหม้โดยตรง	52
การเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิ้ง	104
การเผาไหม้ร่วม	105
การเพาะเลี้ยงในน้ำ	224
การเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพ	191
การแพร่	270
การไพโรไลส์	156
การไพโรไลส์ด้วยน้ำ	136
การไพโรไลส์ด้วยไฮโดรเจน	135
การไพโรไลส์แบบช้า	165
การไพโรไลส์แบบเร็ว	119
การไพโรไลส์แบบเร็วยิ่งยวด	176
การไพโรไลส์แบบสั้นมาก	121
การฟื้นฟูป่า	158
การย่อยที่อุณหภูมิต่ำ	156
การย่อยที่อุณหภูมิปานกลาง	140
การย่อยที่อุณหภูมิสูง	174
การย่อยสลายแบบใช้อากาศ	85
การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	90
การแยกกรองด้วยไฟฟ้า	54
การแยกจำพวก	165
การแยกด้วยเมมเบรน	66
การแยกน้ำออกจากเอทานอล	202
การแยกสลายด้วยไฟฟ้า	55
การระเบิดด้วยไอน้ำ	167
การรีฟอร์มของสารที่ละลายในวัฏภาคน้ำ	91
การรีฟอร์มด้วยพลาสมา	69
การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ	168
การรีฟอร์มมีเทน	66
การลดแก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์	148
การวิเคราะห์แบบประมาณ	155
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	176
การสกัด	117
การสลายตัวด้วยความร้อน	75
การสลายตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา	49
การสังเคราะห์ด้วยแสง	69, 154
การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์	113
การสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์	120
การสังเคราะห์เมทานอล	141
การสับหรือตัด	104
การสำรวจและการเจาะพลังงานความร้อนใต้พิภพ	234
การสำรวจธรณีฟิสิกส์	232
การสำรวจธรณีวิทยา	231
การสูญเสียแรงยก	297
การหมัก	119
การหมักเอทานอล	117
การให้ความร้อนแก่ชุมชน	226
การอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์	31
การออกแบบอาคารพลังแสงอาทิตย์เชิงรับ	25
การอัดแท่ง	153
การอาบน้ำแร่	233
กำลังเทียบเท่าของเชื้อเพลิง	122
แกซิฟิเคชัน	124
แกโซฮอล	206
แกมมาเซลลูโลส	84
แกลบ	161
แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์	170
แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์	148
แก๊สไข่เน่า	134
แก๊สชีวภาพ	190
แก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์	212
แก๊สชีวภาพอัด (ซีบีจี)	196
แก๊สซิฟายเออร์	126
แก๊สซิฟิเคชัน	124
แก๊สโซฮอล์	206
แก๊สเรือนกระจก	128
แก๊สสังเคราะห์	218
ไกลแคน	155
ข	
ขยะชุมชน	144
ขยะยาง	179
ของเหลือทิ้งจากป่า	122
ของไหลภาวะเหนือวิกฤต	171
ของไหลสำหรับการเจาะ	228
ขั้วไฟฟ้า	54
ข้าว	161

ข้าวโพด	110
ข้าวสาลี	182
ขี้เลื่อย	163
เขตมุดตัว	246
เขื่อน	251
เขื่อนกลวง	250
เขื่อนครีบ	250
เขื่อนคอนกรีต	250
เขื่อนดิน	251
เขื่อนหินทิ้ง	259

ค

คลองส่งน้ำ	250
ความขรุขระ	296
ความดันวิกฤต	112
ความดันออสโมติก	271
ความดันไอที่ 37.8 องศาเซลเซียส	219
ความถ่วงจำเพาะ	216
ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิง	53
ความปลอดภัยของไฮโดรเจน	63
ความปั่นป่วน	300
ความเป็นกรด	186
ความเร็วลม	311
ความเร็วลมเริ่มทำงาน	284
ความเร็วลมหยุดทำงาน	284
ความเร็วลมอยู่รอด	299
ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า	70
ความหนาแน่นกำลังลม	309
ความหนืดคิเนแมติก	212
ความหนืดเชิงจลศาสตร์	212
คอนเดนเซอร์	270
คอยล์เย็น	270
คอยล์ร้อน	270
คอลัมน์น้ำสั้น	271
ค่ากรด	186
ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์	30
ค่าความร้อน	208
ค่าซีเทน	195
คาร์บอนเครดิต	99
คาร์บอนไดออกไซด์	101
คาร์บอนฟุตพริ้นท์	102
คาร์โบไฮเดรต	99
ค่าออกเทน	214
คู่อิเล็กตรอน-หลุม	18
เครื่องกังหันน้ำ	265
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	252
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลม	313
เครื่องควบคุมความเร็วรอบ	253
เครื่องควบแน่น	270
เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง	17
เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (อีเอสพี)	115
เครื่องฟอกแก๊ส	163
เครื่องมือวัดอัตราการไหล	277
เครื่องยนต์แกโซลีน	207
เครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ	191
เครื่องยนต์แก๊สสังเคราะห์	217
เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน	207
เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ	186
เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	186
เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก	203
เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน	211
เครื่องยนต์ไอซี	211
เครื่องแยกแรงเหวี่ยง	112
เครื่องระเหย	270
เครื่องวัดความเร็วลม	282
เครื่องวัดทิศทางลม	316
โคลนเจาะ	228

ง

เงาลม	310

จ

จุดขุ่น	195
จุดน้ำค้าง	197
จุดวาบไฟ	204
จุดวิกฤต	112
จุดไหลเท	215
จุลสาหร่าย	142

ช

ชั้นกำลังลม	308
ชั้นแพร่แก๊ส	60
ชั้นหินแห้ง230	
ชั้นหินแห้งร้อน	230
ชั้นหินอุ้มน้ำ	224
ชานอ้อย	92
ชาร์ลส เอฟ บรัช	283
ชีวมวล	95

ชีวมวลจากป่า	122
ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส	140
ชุดแกนหมุนใบพัด	295
เชื้อเพลิงขยะ	159
เชื้อเพลิงชีวภาพ	189
เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์	58
เชื้อเพลิงฟอสซิล	58
เชื้อเพลิงสังเคราะห์	218
ซ	
ซีเทน	195
เซลล์เชื้อเพลิง	58
เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ	48
เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ	48
เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก	68
เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม	67
เซลล์เชื้อเพลิงแบบผันกลับ	72
เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	70
เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง	73
เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์	46
เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม	70
เซลล์เชื้อเพลิงรีเจนเนอเรทีฟ	72
เซลล์โฟโตวอลเทอิก	29
เซลล์แสงอาทิตย์	29
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโน	22
เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอน	28
เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบาง	40
เซลลูเลส	103
เซลลูโลส	103
แซพอนิฟิเคชัน	162
โซเดียมไฮดรอกไซด์	88
ไซโคลน	112
ด	
ดวงอาทิตย์	40
ดัชนีวอบเบ	220
ดีซัลฟิวไรเซชันของแก๊สทิ้ง	121
ดีเซลชีวภาพไฮโดรจิเนต (บีเอชดี)	192
ดีโซฮอล	199
ไดกลีเซอไรด์	199
ไดเมทิลอีเทอร์	200
ไดออกซิน	114
ไดเอซิลกลีเซอรอล	199
ต	
ตะแกรงกันขยะ	265
ตะบันน้ำ	274
ตัวเก็บรังสีแบบท่อ	42
ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ	20
ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก	23
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	30
ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	88
ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า	53
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์	130
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์	131
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์	115
ตัวหมุน	274
ตัวให้ไฮโดรเจน	133
ตู้แผงและอุปกรณ์ควบคุม	251
เตาแกซิฟาย	126
ไตรกลีเซอไรด์	176
ไตรเอซิลกลีเซอรอล	176
ถ	
ถังลดแรงดัน	252
ถั่วเหลือง	166
ถ่านชีวภาพ	188
เถ้า	92
เถ้าซัลเฟต	216
ท	
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	175
ท่อส่งน้ำ	256
ทางน้ำทิ้ง	264
ทางน้ำล้น	263
ทานตะวัน	170
ทาร์	173
ทาวน์แก๊ส	219
ทำนบ	251, 270
ทิศทางลม	304
ทุ่งกังหันลม	306
ทุ่นลอย	270
ทุ่นลอยแบบดูดซับพลังงาน	272
เทคโนโลยีการแปลงพลังงานคลื่น	278
เทคโนโลยีแก๊สสู่ของเหลว (จีทีแอล)	122
เทคโนโลยีชีวมวลสู่ของเหลว (บีทีแอล)	97
เทคโนโลยีพลังงานจากมหาสมุทร	271
แท่นเจาะ	229

ธ
ธรณีภาคแปรสัณฐาน 242
ธรณีวิทยา 232

น
น้ำ 76
น้ำตาลโมเลกุลคู่ 114
น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 143
น้ำตาลโมเลกุลสั้น 149
น้ำพุ 245
น้ำพุร้อน 245
น้ำมันเครื่องบินทดแทนที่ผ่านกระบวนการไฮโดรทรีต 210
น้ำมันเครื่องบินทางเลือก 186
น้ำมันชีวภาพ 192
น้ำมันดิน 173
น้ำมันดีเซล 198
น้ำมันดีเซลหมุนช้า 212
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 209
น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว 178
น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 158
น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธี 158
น้ำมันอีดี95 202
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร 180
แนวกำบังลม 297

บ
บ่อบำบัดแบบคัฟเวอร์ลากูน 90
บ่อบำบัดแบบคลุมบ่อ 90
บ่อหมักราง 155
บิวทานอล 193
บิวทานอลชีวภาพ 193
บี100 188
บี5 188
บีตาเซลลูโลส 84
เบรกของกังหันลม 312
แบคทีเรียชนิดรีดิวซ์ซัลเฟต 170
แบคทีเรียชนิดสร้างกรด 84
แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน 141
แบบจำลองแถบพลังงาน 18
แบล็กลิกเคอร์ 98
ใบพัดรูปหน้าตัดทรงแอโรฟอยล์ 271
ไบโอแก๊ส 190
ไบโอชาร์ 188
ไบโอดีเซล 189

ป
ปฏิกิริยาแก๊ส-น้ำ 180
ปฏิกิริยาโซลโวไลซิส 165
ปฏิกิริยาบูดูดาร์ด 99
ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ 180
ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน 152
ประตูระบายทราย 260
ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง 59
ประสิทธิภาพที่สภาวะมาตรฐาน 107
ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก 27
ปรากฏการณ์เรือนกระจก 128
ปริมาณกำมะถัน 216
ปริมาณตะกั่ว 212
ปริมาณน้ำ 220
ปริมาณเบนซีน 188
ปริมาณฟอสฟอรัส 215
ปริมาณมีเทน 213
ปริมาณสารแอโรแมติกส์ 187
ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ 29
ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ 236
ปั๊มความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบวงจรเปิด 241
ปาล์มน้ำมัน 149
เปลือกไม้ 93
แป้ง 166
โปรดิวเซอร์แก๊ส 215

ผ
ผลกระทบของการหมุนวนด้านหลัง 302
ผลกระทบของช่องลม 299
ผลกระทบของทุ่งกังหันลม 292
ผลกระทบของเนินเขา 286
ผักตบชวา 181
แผ่นช่องทางการไหล 57
แผนที่กังหันลมในประเทศไทย 314
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม 307
แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย 35
แผนที่แสดงโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศไทย 261
แผนภูมิทิศทางลม 309

ฝ
ฝาย 266
ฝ้าย 111
ฝายยาง 259
ฝุ่นละออง 152

พ

พลังความร้อนใต้พิภพโดยตรง	226
พลังความร้อนร่วม	108
พลังงานคลื่น	277
พลังงานจากกระแสน้ำจากน้ำขึ้น-น้ำลงในมหาสมุทร	276
พลังงานจากความแตกต่างของความเค็ม	274
พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิ	275
พลังงานจากอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร	271
พลังงานชีวภาพ	93
พลังงานทดแทน	89
พลังงานทางเลือก	89
พลังงานที่ผลิตได้ในหนึ่งปี	283
พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง	276
พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงจากพลังงานศักย์	276
พลังงานมหาสมุทร	271
พลังงานลม	304
พลังงานหมุนเวียน	160
พลังน้ำ	253
พอล ลา คัวร์	292
พอลิแซ็กคาไรด์	155
พาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงหลากชนิด	204
พิกัดกำลังผลิต	294
พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัด	295
พืชพลังงาน	115
แพนอากาศ	270
โพรไฟล์การกลั่น	201
โพลาไรเซชัน	70
ไพโรลิซิส	156
ไพโรไลซิสออยล์	192

ฟ

ฟางข้าว	162
ฟิวแรน	205
ฟืนเทียม	118
เฟอร์ฟิวรัล	206
โฟโตวอลเทอิกส์	26
โฟโตสเฟียร์	25
ไฟฟ้าพลังน้ำ	253

ม

มอนอกลีเซอไรด์	214
มอนอเอซิลกลีเซอรอล	214
มะพร้าว	106
มันสำปะหลัง	105
มีเทน	213
มูลสัตว์	91
เมทานอล	214
เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	204
เมทิลแอลกอฮอล์	214
เมเทเนชัน	141
เมล็ดเรพ	157
ไมโครอิมัลชัน	142
ไม้โตเร็ว	118
ไม้ยางพารา	151
ไม้ยูคาลิปตัส	117

ย

ยางธรรมชาติ	147
ยางพารา	151
ยางรถยนต์ใช้แล้ว	179
ยางเหนียว	215
เยื่อกึ่งซึมผ่าน	275
โยฮัน จูล	288

ร

รอยต่อพี-เอ็น	27
รอยเท้าคาร์บอน	102
ระดับเฟอร์มิ	19
ระบบการเจาะแบบกระแทก	241
ระบบการเจาะแบบเกลียว	225
ระบบการเจาะแบบหมุน	243
ระบบควบคุมกังหันลม	312
ระบบจานรับแสง	17
ระบบท่อวน	239
ระบบท่อวนแนวดิ่ง	246
ระบบท่อวนแนวราบ	239
ระบบท่อวนแบบขดเป็นวง	244
ระบบบ่อรับแสง	34
ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี	177
ระบบผันน้ำ	253
ระบบแฟลชคู่	227
ระบบรางพาราโบลิก	24
ระบบสองวงจร	225
ระบบสุริยะ	37
ระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพ	231

ระบบหอคอยรวมแสง	15
ระบบไอน้ำเปียก ระบบน้ำร้อนใต้พิภพ	240
ระบบไอน้ำแห้ง	230
ระยะความสูงดุมยึดใบพัด	287
รังสีกระจาย	16
รังสีคลื่นยาว	21
รังสีคลื่นสั้น	28
รังสีดวงอาทิตย์	34
รังสีตรง	16
แรงต้านอากาศ	284
แรงยก	289
โรงกลั่นน้ำมันชีวภาพ	97
โรงไฟฟ้าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี	260
โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก	258
โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่	258
โรงไฟฟ้าแบบสูบน้ำกลับ	256
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์	39
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ	237
โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋ว	255
โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก	261
โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่	255
โรเตอร์	274
ล	
ลมกระโชก	307
ลมเฉือน	310
ลมตะเภา	297
ลมทะเล	296
ลมบก	288
ลมภูเขา	291
ลมมรสุม	290
ลมว่าว	292
ลมสงบ	283
ลมหุบเขา	301
ลักษณะเฉพาะขั้วครู่	41
ลักษณะเฉพาะสถานะคงตัว	39
ลักษณะภูมิประเทศที่ราบโล่ง	292
ลานไกไฟฟ้า	263
ลำการไหล	298
ลิกนิน	139
ลิเพส	140
เลขออกเทน	214
ไลเพส	140
ว	
วัฏจักรของน้ำที่อยู่ในเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า	274
วัฏจักรคาร์บอน	100
วัฏจักรแรงคิน	157, 274
วัฏจักรอุ่นซ้ำ	160
วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร	86
เวนจูรี	277
เวลากักเก็บน้ำ	136
ศ	
ศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน	68
ศักยภาพพลังงานลม	305
ศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง	289
ศักยภาพแหล่งพลังงานจากมหาสมุทร	272
ศูนย์กลางรอยแยก	244
เศรษฐกิจไฮโดรเจน	60
ส	
สเตเตอร์	275
สถานีเติมแก๊สไฮโดรเจน	63
สถานีไฟฟ้าย่อยแปลงแรงดันสูง	263
สบู่ดำ	138
สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์	36
สภาพนำภายนอก	19
สภาพนำภายใน	21
สภาพระเหยได้	220
สมการของเนิร์นสต์	67
สมการทาเฟล	75
สมการบัทเลอร์-โวลเมอร์	48
สมบัติของไฮโดรเจน	62
สลัชไฮโดรเจน	73
ส่วนหยุดนิ่ง	275
สัมประสิทธิ์กำลัง	294
สายส่งไฟฟ้า	264
สารกึ่งตัวนำ	28
สารประกอบฟีนอลิก	153
สารระเหย	178
สาหร่าย	87

สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด 219
เส้นการไหล 299
เสากังหันลม 316

ห
หญ้าช้าง 147
หญ้าเนเปียร์ 147
หญ้าสวิตช์แกรส 172
หน่วยปศุสัตว์ 140
หน่วยผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน 61
หน่วยผลิตไอน้ำจากการนำกลับความร้อน 129
หน่วยเมมเบรนประกอบขั้วไฟฟ้า 66
หน่วยแยกอากาศ 86
หน้าต่างแสง 23
หม้อไอน้ำ 98
หลิว 182
ห้องเครื่องกังหันลม 291
ห้องเผาไหม้ 195
แหล่งความร้อนใต้พิภพ 237
แหล่งความร้อนใต้พิภพของประเทศไทย 238
แหล่งน้ำที่เปิดกว้าง 292
แหล่งไฮโดรเจน 63

อ
ออโตไฮโดรไลซิสด้วยน้ำร้อนอัดความดัน 132
อ้อย 169
ออสโมซิส 271
อัตราการถ่ายเทความร้อน 235
อัตราเพิ่มอุณหภูมิใต้พิภพ 235
อัตราส่วนมวลอากาศ 14
อัตราส่วนสมมูล 116
อัตราส่วนสมรรถภาพ 283
อาคารรับน้ำ 255
อาคารโรงไฟฟ้า 256
อ่างลดแรงดัน 252
อินทรียวัตถุ 150
อิเล็กโทรด 54
อิเล็กโทรไลต์ 55
อี10 201
อี100 201
อี20 201
อี85 201
อุณหภูมิเปลวไฟตามทฤษฎี 84
อุณหภูมิเปลวไฟแอเดียแบติก 84
อุณหภูมิวิกฤต 112
อุปกรณ์ดักจับพลังงานแบบโอเวอร์ทอปปิ้ง 272
เอทานอล 203
เอทานอลเกรดเชื้อเพลิง 202
เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95.6 202
เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.5 202
เอทานอลจากเซลลูโลส 194
เอทานอลปราศจากน้ำ 202
เอทานอลแปลงสภาพ 197
เอทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ (อีทีบีอี) 203
เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 203
เอทิลแอลกอฮอล์ 203
เอสเทอริฟิเคชัน 116
แอตเทนนูเอเตอร์ 270
แอมิโลเพกทิน 89
แอมิโลส 89
แอลกอฮอไลซิส 87
แอลฟาเซลลูโลส 84
โอลิโกแซ็กคาไรด์ 149

ฮ
เฮเทอโรไกลแคน 130
เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ 130
เฮมิเซลลูโลส 129
โฮโมไกลแคน 132
โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ 132
โฮโลเซลลูโลส 131
ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล 210
ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอโรแมติกหลายวง 155
ไฮโดรจิเนชัน 134
ไฮโดรจีเนส 134
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 134
ไฮโดรเจนเหลว 65
ไฮโดรเจนอัด 51
ไฮโดรดีออกซิจิเนชัน 209

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)
เลขที่ 17 ถนนพระรามที่ 1 แขวงรองเมือง
เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0 2223 0021-9 www.dede.go.th

ISBN 978974982283-8
9 789749 822838