เทคโนโลยีการลดก๊าซเรือนกระจก ที่น่าจับตาในปัจจุบันและอนาคต

ที่มาของการศึกษาเทคโนโลยี

- อบก. ตระหนักถึงความสำคัญของเทคโนโลยีการลดก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเภทของโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น พลังงานทดแทน การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การจัดการของเสีย โดยครอบคลุมเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (Short-term และ Long-term)

- เพื่อใช้เป็นกลไกลดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างสมัครใจ และส่งเสริมให้มีการปรับตัวมุ่งสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low-carbon Society) และรองรับภารกิจข้อตกลงในการมีส่วนร่วมและมีเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคตหลังปีพ.ศ. 2563

- เป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการในการกำหนดลำดับความสำคัญในการเลือกใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งสามารถวางแผนงานและแผนเงินสำหรับการเลือกใช้เทคโนโลยีตามยุคสมัยที่เปลี่ยนไปได้อย่างเหมาะสมกับบริบทขององค์กรและธรุกิจต่อไป

การศึกษาเทคโนโลยี

การพัฒนาพลังงานทดแทน

การจัดการของเสีย

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน

การขนส่ง

เทคโนโลยี

1. **เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน** — 17 เทคโนโลยี
2. **เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต** — 19 เทคโนโลยี
3. **เทคโนโลยีส่วนเสริม** — 4 เทคโนโลยี

1. เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน (17 เทคโนโลยี)

พลังงานทดแทน และการจัดการของเสีย	การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน	การขนส่ง
1) Covered Lagoon 2) Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) 3) Channel Digester (CD) 4) PV Grid connected system 5) PV Stand alone system 6) พลังงานลม (Wind power) 7) การผลิตชีวมวล (Biomass) 8) เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับโรงไฟฟ้า 9) เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ 10) เทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	1) เทคโนโลยีการนำพลังงานสูญเสีย (Heat loss) กลับมาทำประโยชน์ 2) เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น (Chiller) 3) เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อน (Boiler) 4) เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง (LED) 5) เทคโนโลยี ORC เพื่อใช้งานในแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ	1) เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันสำหรับยานยนต์ (Biodiesel for Vehicle) 2) รถไฟฟ้าระบบรางเพื่อการขนส่ง ทดแทนน้ำมันดีเซล (Railway Electrification)

1.1 Covered Lagoon

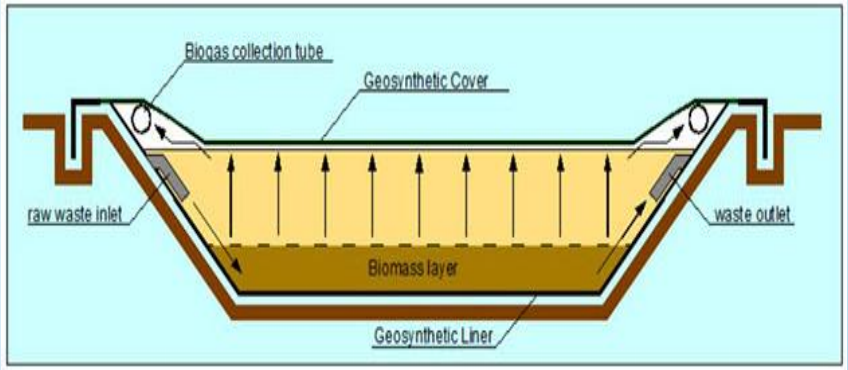
ความหมาย:

เป็นการบำบัดของเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย/ของเสีย เกิดเป็นก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ของกระบวนการ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้าน พลังงานทดแทนได้ต่อไป องค์ประกอบของระบบ เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน น้ำเสีย/ของเสียจะถูกนำมาเก็บกักในบ่อที่เป็นระบบปิดซึ่งคลุมด้วย แผ่นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและกันน้ำ เพื่อสร้างสภาวะไร้ออกซิเจนภายในบ่อและเก็บกักก๊าซชีวภาพจากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์

หลักการทำงาน :

รูปแบบของระบบคือใช้แผ่นพลาสติกที่มีคุณสมบัติในการกันซึมและลอยน้ำได้ คลุมบนบ่อ โดยการยึดขอบแผ่นโดยรอบเข้ากับทุ่นลอยน้ำ หรือโยงยึดด้วยเชือกเข้ากับแท่นคอนกรีตที่วางตามขอบบ่อเพื่อตรึงให้อยู่กับที่ ส่วนชายแผ่นพลาสติกที่ยาวเลยทุ่นลอยน้ำจะถ่วงด้วยน้ำหนักเพื่อให้มีลักษณะเป็นเสมือนม่านใต้ผิวน้ำ เพื่อการกักเก็บก๊าซชีวภาพทีเกิดขึ้นภายในบ่อ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยการต่อท่อนำก๊าซเข้าไปข้างใต้แผ่นพลาสติกภายในบ่อ

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : บริษัท อีอีเอส รีนิวเอเบิล จำกัด จ.อุบลราชธานี

ขนาดระบบ 200,000 ลบ.ม.

1.2 Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

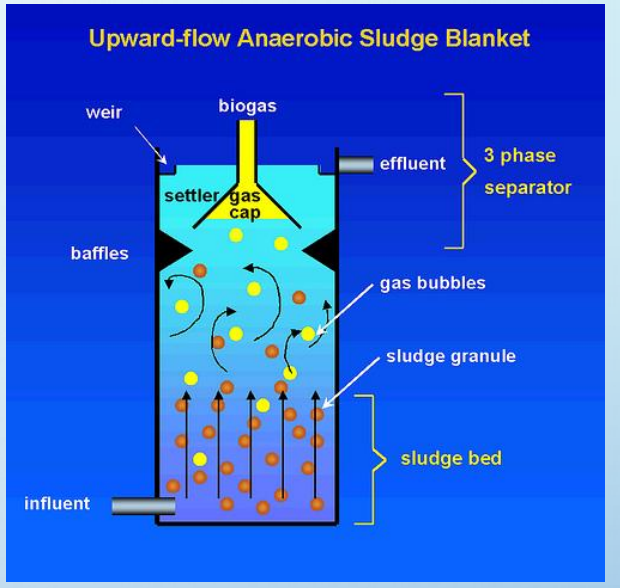
ความหมาย:

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic) คิดค้นขึ้นโดย Prof. Gatze Lettinga แห่งมหาวิทยาลัย Wageningen ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ระบบนี้จะอาศัยตะกอนจุลชีพที่แขวนลอยในถังปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบอื่นๆ และสามารถใช้งานกับน้ำเสียหลากหลายชนิด

หลักการทำงาน :

น้ำเสียจะถูกจ่ายเข้าทางด้านล่างของถังถังปฏิกิริยาแบบ UASB และจะค่อยๆ ไหลขึ้นผ่านชั้นเม็ดตะกอนและถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาจนเกิดเป็นก๊าซชีวภาพ และเป็นตัวช่วยในการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ และด้านบนของถังปฏิกิริยาจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator (GSS) ทำหน้าที่แยกก๊าซ ตะกอนแบคทีเรีย และน้ำทิ้งออกจากกัน น้ำทิ้งจะระบายออกไป ก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนตะกอนจะตกกลับลงไปส่วนล่างของถังปฏิกิริยาทับถมเป็นชั้นตะกอนต่อไป

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. :หมู่บ้านเกษตรกรรมกำแพงเพชร

ขนาดระบบ 2,000 ลบ.ม.

1.3 Channel Digester (CD)

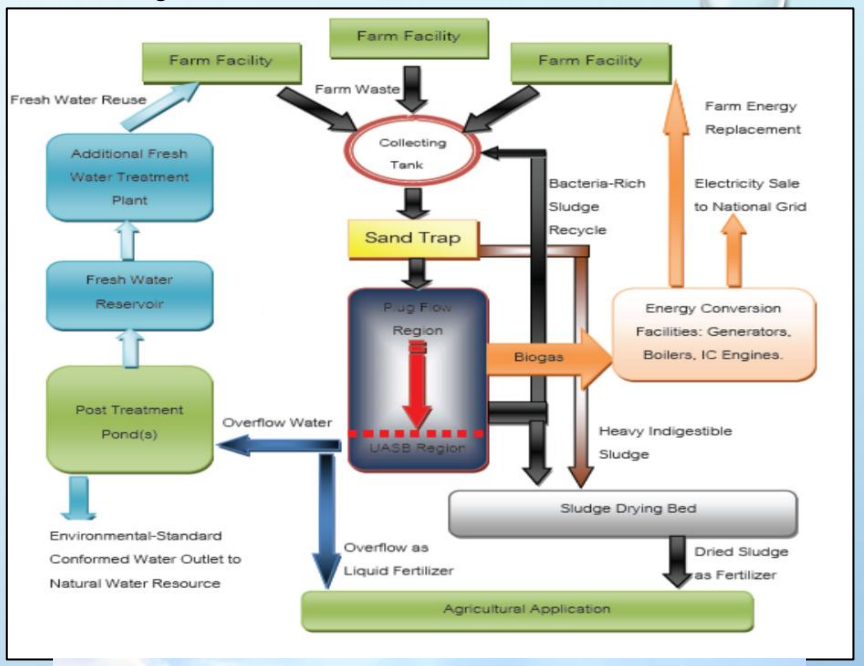
ความหมาย:

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักราง เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการจัดการของเสีย ฟาร์มปศุสัตว์ จัดอยู่ประเภทบ่อหมักแบบช้า มีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการบังคับการไหลของน้ำเสียให้ไหลไปตามแนว ยาวของบ่อ (Plug flow) หรือมีลักษณะคล้าย รางน้ำ เพื่อส่งน้ำจากหัวบ่อไปท้ายบ่อ โดยด้านบนของบ่อจะติดตั้งแผ่นพลาสติกพีวีซี สำหรับ กักเก็บก๊าซชีวภาพ ส่วนด้านล่างของบ่อจะ มีท่อสำหรับดึงกากและตะกอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือตะกอนส่วนเกินออกจากบ่อตลอดความยาวของบ่อ

หลักการทำงาน :

CD เป็นบ่อหมักที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน โดยน้ำเสียภายในบ่อหมักรางจะถูกบังคับทิศทางการไหลจากด้านหัวบ่อมายังด้านท้ายบ่อตามแนวความยาวของบ่อหมักแบบราง และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บกักไว้ภายใต้ผืนพลาสติกคลุมบ่อ และบริเวณก้นบ่อหมักจะติดตั้งท่อดึงกากไว้เป็นจุดๆ ตามแนวยาวของบ่อหมัก เพื่อนำตะกอนออกจากบ่อหมักและนำไปตากยังลานตากตะกอนต่อไป

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : บริษัท เชียงใหม่เฟรชมิลค์ จ.เชียงใหม่

ขนาดระบบ 4,000 ลบ.ม.

1.4 PV Grid connected system

ความหมาย:

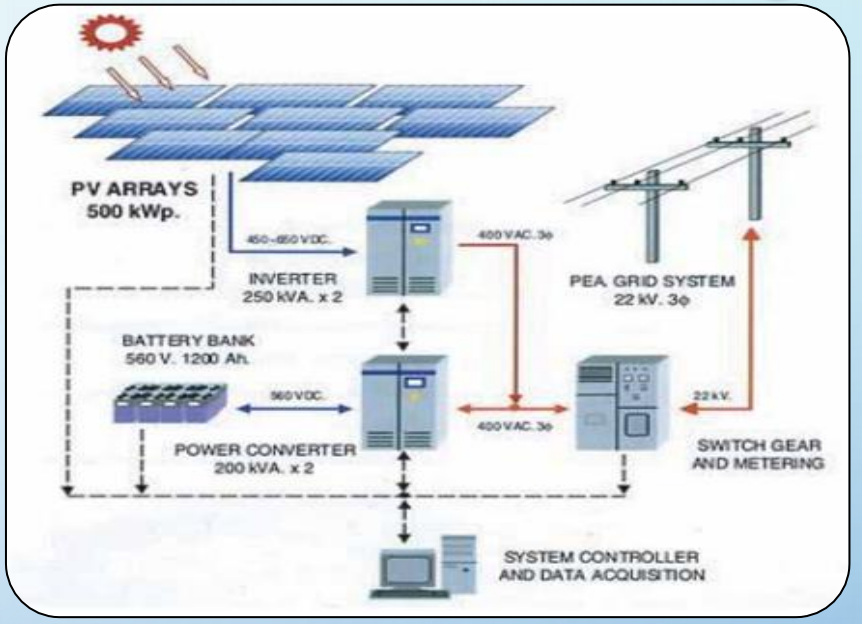
โซลาร์เซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงตกกระทบกับเซลล์วัสดุจะเกิดการดูดซับพลังงานไว้ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซมิคอนดักเตอร์จะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและเคลื่อนที่อย่างอิสระ การเคลื่อนที่หรือ การไหลของอิเล็กตรอนก็คือ การไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นขณะทำงานก็คือ กำลังไฟฟ้าที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตได้ และมีวัตถุประสงค์ในการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

หลักการทำงาน :

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าจำหน่ายแก่การไฟฟ้าโดยตรง เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายระบบไฟฟ้าเข้าถึง

Solar Cell — Inverter — Grid connected

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : บริษัท แอลโซลาร์ จำกัด จ.ปราจีนบุรี
215 ไร่ 8 MW

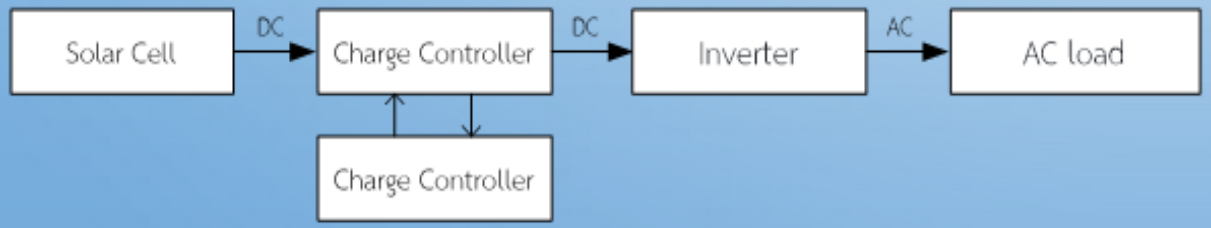
1.5 PV stand alone system

ความหมาย:

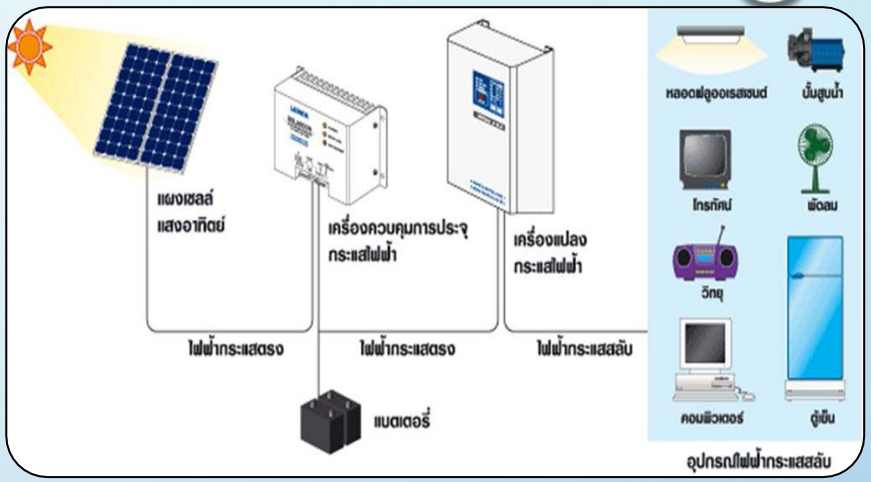
โซลาร์เซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงตกกระทบกับเซลล์วัสดุจะเกิดการดูดซับพลังงานไว้ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซมิคอนดักเตอร์จะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและเคลื่อนที่อย่างอิสระ การเคลื่อนที่หรือ การไหลของอิเล็กตรอนก็คือ การไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นขณะทำงานก็คือ กำลังไฟฟ้าที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตได้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้เอง

หลักการทำงาน :

หลักการทำงานคือ เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ประจุจะเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยมีเครื่อง ควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นตัวควบคุม ในขณะที่ต้องการใช้ภาระทางไฟฟ้า แบตเตอรี่จะจ่ายไฟให้กับภาระทางไฟฟ้าโดยมีเครื่อง แปลงกระแสไฟฟ้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า



รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : วัดถ้ำวังแคน จังหวัดสกลนคร

Capacity: Sharp 235 W x 8

1.6 Wind power

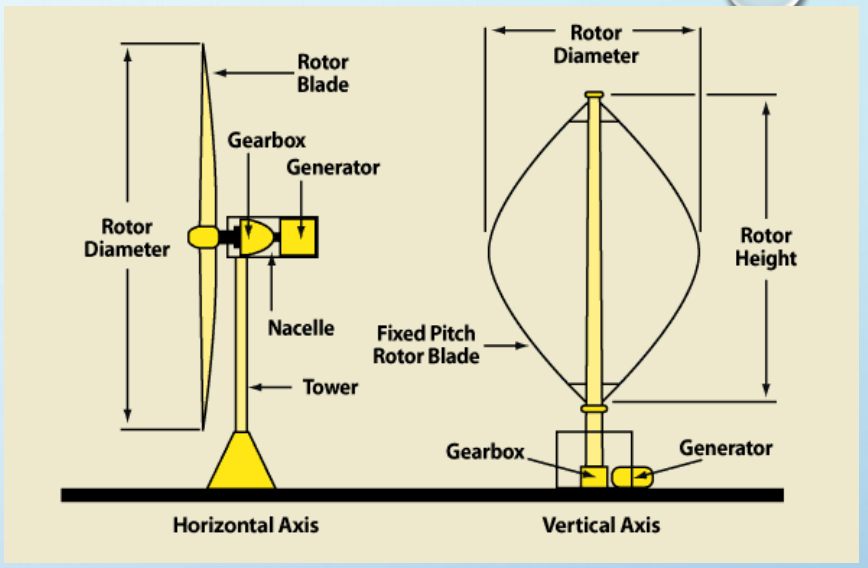
ความหมาย:

กังหันลมเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของกระแสลมให้เป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้นั้น มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ กังหันลมมีหลากหลายชนิดแตกต่างกันไปตามลักษณะและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ที่ใช้กันมากในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่ กังหันลมแบบใบกังหันไม้ กังหันลมใบเสื่อลำแพน หรือกังหันลมแบบใบกังหันหลายใบ

หลักการทำงาน :

กังหันลมผลิตไฟฟ้าจะอาศัยหลักการทำงานคือ เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนรอบแกน พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนนั้น โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม สถานที่ติดตั้งกังหันลม และลักษณะเฉพาะของกังหันที่ใช้งาน (ความยาวของใบพัด/ขนาดห้องเครื่อง/ชนิดของตัวกักเก็บพลังงาน)

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : ทุ่งห้วยบง อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา Capacity: 2.3 MW/ต้น จำนวน 90 ต้น

1.7 Biomass

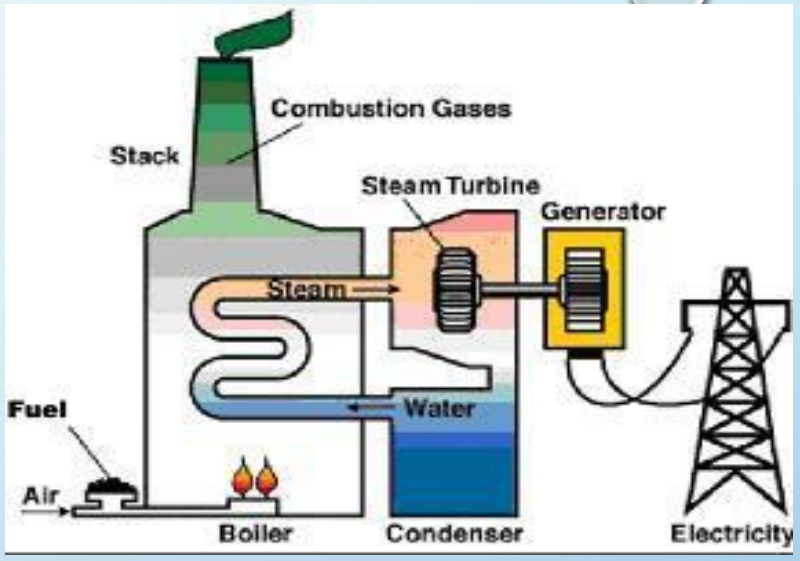
ความหมาย:

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่ได้จากอินทรีย์สารของพืชและสัตว์ ะสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยใช้กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 วิธีการหลัก ได้แก่ วิธีเคมีความร้อน วิธีชีวเคมี วิธี ปฏิกิริยาเคมี โดยที่ชีวมวลที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตความร้อนและไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการ เกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เศษวัสดุจากอุตสาหกรรมไม้แปรรูปและเฟอร์นิเจอร์ และชีวมวลจากไม้โตเร็ว

หลักการทำงาน :

การเปลี่ยนรูปชีวมวลให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนและไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่จะทำการลดขนาดโดยการตัด บด ทำให้เป็นผง และอัดก้อน และทำการลดความชื้นโดยการตากแห้งหรืออบแห้ง ซึ่งกระบวนการทางความร้อน เคมี ได้แก่ เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Combustion) ซึ่งรวมถึงเทคโนโลยีหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ(Boiler and Steam turbine) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหรือแก๊สซิฟิเคชั่น(Gasification) เทคโนโลยีการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และเทคโนโลยีการกำจัดมลพิษ (Emission and controls) อันเกิดจากระบบผลิตพลังงานจากชีวมวล

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โรงไฟฟ้าชีวมวลของบริษัทพาเนล พลัส ไบโอ-เพาเวอร์ จ.สงขลา Capacity: 9.9 MW

1.8 เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับโรงไฟฟ้า (Incinerator for Power Plant)

ความหมาย:

การเผาขยะมูลฝอย เป็นรูปแบบการจัดการขยะที่สามารถลดปริมาณขยะได้มากถึงร้อยละ 80-90 โดยอาศัยการควบคุมปริมาณอากาศหรือการใช้เชื้อเพลิงเสริม เพื่อให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้อุณหภูมิ ความดัน เวลา และความปั่นป่วนที่เหมาะสมกับรูปแบบและขนาดของเตาเผาแต่ละประเภท โดยทั่วไปอุณหภูมิเผาไหม้ขั้นสุดท้ายภายในเตาจะอยู่ในช่วงระหว่าง 850-1,200 ^{0}Cเพื่อควบคุมมลพิษหลังการเผาไหม้ ซึ่งทำให้เกิดแก๊สและอนุภาคชนิดต่าง ๆ

หลักการทำงาน :

เตาเผาแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

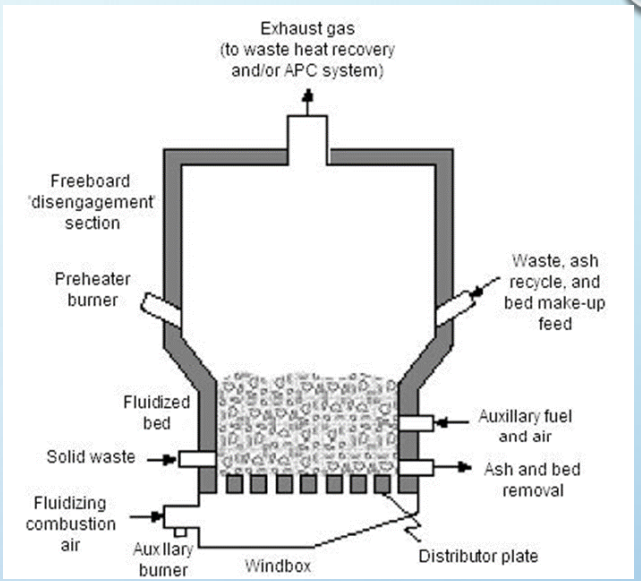
1) แบบตะกรับเคลื่อนที่ (Moving Grate) เป็นเตาขยะแบบเผาไหม้มวลขยะมูลฝอย โดยขยะจะเผาไหม้อยู่บนตะกรับซึ่งทำหน้าที่เสมือนพื้นผิวด้านล่างของเตาที่เคลื่อนที่แบบขึ้นลง หรือเดินหน้าถอยหลัง

2) แบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) เป็นการเผาไหม้มวลของขยะมูลฝอย โดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกนและมีฉนวนหุ้มโดยรอบ โดยขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ เตาเผาแบบนี้สามารถเผาไหม้มูลฝอยที่มีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอได้สูง

3) แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ทำงานโดยอาศัยการเผาไหม้ร่วมกันของวัสดุที่เติมเข้าไปในเตาเพื่อช่วยในการเผา (bed) โดยวัสดุนี้จะช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องภายในเตา

4) แบบไพโรไลซิส และก๊าซซิฟิเคชั่น (pyrolysis and gasification) จะใช้การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยจำกัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งสามารถ แบ่งออกได้เป็น แบบ Updraft, Downdraft, Fluid Bed และ Entrained Bed Gasifier

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : เตาเผาตะกอนชีวภาพจากชุมชนและอุตสาหกรรม ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.9 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped-Storage Hydropower Plant)

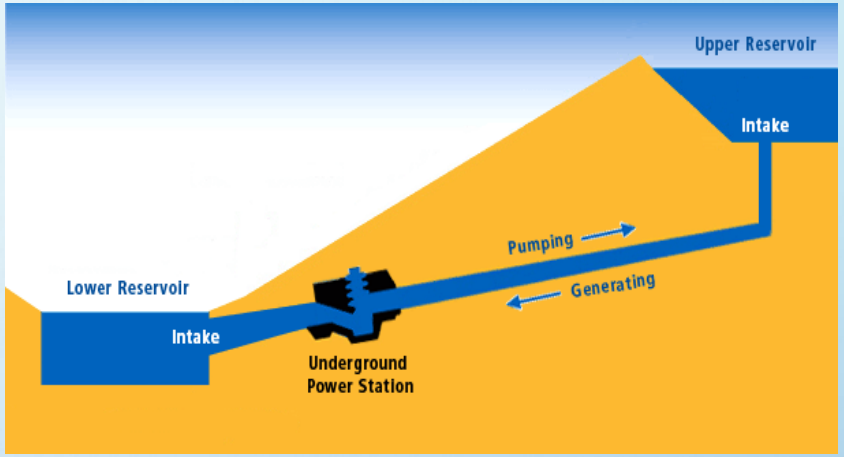
ความหมาย:

เป็นเทคโนโลยีการการเก็บพลังงานชนิดหนึ่งที่ใช้หลักการการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานศักย์โดยการใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า สูบน้ำไปเก็บไว้บนที่สูงจากนั้นปล่อยน้ำจากที่สูงผ่านกังหันน้ำจะได้กระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีการเก็บพลังงานชนิดนี้มีปริมาณการ ติดตั้งมากกว่าร้อยละ 99 ของทั้งโลก มีอายุการใช้งาน 40-60 ปี

หลักการทำงาน :

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำกลับเป็นโรงไฟฟ้าที่มีอ่างเก็บน้ำสองส่วนคือ อ่างเก็บน้ำส่วนบน (upper reservoir) และอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง (lower reservoir) น้ำจะถูกปล่อยจากอ่างเก็บน้ำส่วนบนลงมาเพื่อหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต้องการผลิตไฟฟ้า และในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำหรือน้อยลง จะใช้ไฟฟ้าที่เหลือจ่ายให้กับปั๊มน้ำขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ในอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง เพื่อสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำส่วนล่างนี้กลับขึ้นไปเก็บไว้ที่อ่างเก็บน้ำส่วนบนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ ลำตะคอง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

1.10 Refuse Derived Fuel: RDF

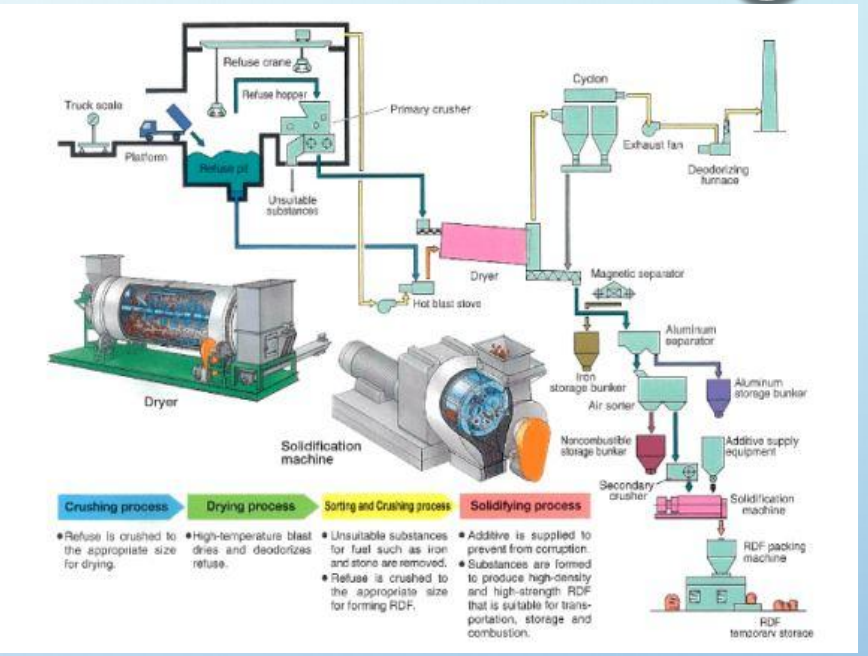
ความหมาย:

การจัดการขยะเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยการนำขยะที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาทำการปรับปรุงและแปลงสภาพทางด้านเคมีและ ทางด้านกายภาพ ทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะที่มีคุณสมบัติด้านความร้อน (Heating Value) ความหนาแน่น ขนาด และความชื้น เหมาะ สำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในอุตสาหกรรมการเผาไหม้ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า หรือความร้อน

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เป็นวิธีการรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการจัดการขยะเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยการนำขยะที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาทำการปรับปรุงและแปลงสภาพทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพ ทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะที่มีคุณสมบัติด้านความร้อน ความหนาแน่น ขนาด และความชื้น เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในอุตสาหกรรมการเผาไหม้ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โครงการศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะและการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) จ. ปทุมธานี

ผลผลิตที่ได้ RDF 3 และผลิตปุ๋ยอินทรีย์

1.11 เทคโนโลยีการนำพลังงานสูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ (Heat loss)

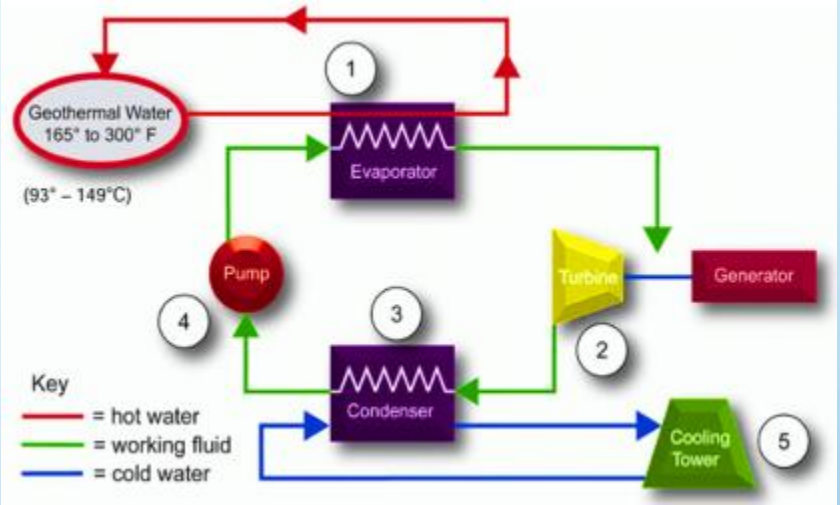
ความหมาย:

ปัจจุบันมีการผลิตก๊าซชีวภาพกันอย่างแพร่ โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์สัปดาปภายในเป็นต้นกำลังวิ่ง และจะมีการสูญเสียความร้อน ไปกับไอเสีย (Exhaust gas) 32% และสูญเสียความร้อนไปกับน้ำระบายความร้อน (Water jacket) 25% โดยประมาณ ความร้อนที่ สูญเสียไปนี้รวมกันสูงถึง 57% ของความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ด้วยเหตุผลดังกล่าวหากสามารถนำความร้อนทิ้ง มาให้งานให้เกิดประโยชน์จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น โดยมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมได้แก่ 1) Organic Rankine Cycle (ORC) คือ ระบบการนำความร้อนที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และ 2) Absorption Chiller คือ ระบบทำความเย็นชนิดดูดซึม

หลักการทำงาน :

มีหลักการทำงาน 2 ส่วน คือ 1) ระบบ ORC (Organic Rankine Cycle) สารทำความเย็นจะทำงานงานอยู่ในระบบปิด โดยใช้ปั๊มสูบหมุนเวียนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนกับแหล่งความร้อน ที่คอยล์เย็น เมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิสูงและความดันสูงขึ้น ไหลผ่านกังหันผลิตไฟฟ้า (Turbine) จากนั้นนำความร้อนทิ้งที่คอยล์ร้อน (Condenser) แล้วสูบกลับมารับความร้อนอีกครั้งที่คอยล์เย็น (Evaporator) และ 2) ระบบทำความเย็นชนิดดูดซึมจะใช้ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนอุณภูมิประมาณ 95 ^{0}C เพื่อจ่ายให้กับระบบผลิตความเย็นจากนั้นจะหมุนวนกลับไปรับความร้อนอีกครั้ง

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอพาวเวอร์ จ.ชลบุรี Capacity: 4 MW

1.12 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น (Chiller Efficiency System)

ความหมาย:

Chiller (ชิลเลอร์) คือ เครื่องทำความเย็น ที่มีหน้าที่ในการผลิตความเย็นปรับลดอุณหภูมิ โดยใช้ น้ำเป็นตัวหลักในการแลกเปลี่ยนหรือ ถ่ายเทความเย็นจากตัวเครื่องชิลเลอร์ ส่วนประกอบหลักของชิลเลอร์ ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ชุดระบายความร้อน (Condenser) อุปกรณ์ลดแรงดัน (Expansion Valve) และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากสารทำ ความเย็น (Evaporator)

หลักการทำงาน :

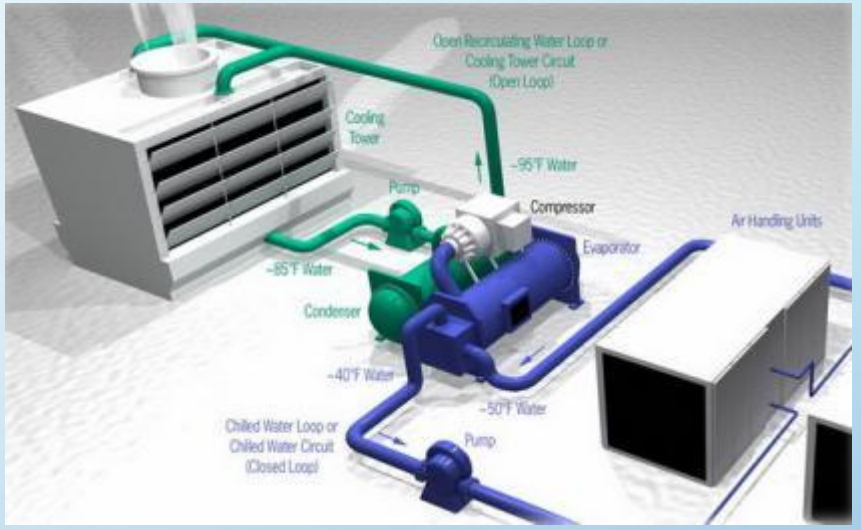
เทคโนโลยีการทำความเย็นประสิทธิภาพสูง ได้แก่

1) แบบ Fixed Speed Chiller: มีหลักการทำงานที่ไม่แตกต่างจากเครื่องทำน้ำเย็นทั่วไปแต่ได้รับการออกแบบในรายละเอียดของอุปกรณ์โดยใช้วัสดุที่มีคุณภาพและลดการสูญเสียจากการใช้งาน

2) แบบ Variable Speed Drive Chiller: อาศัยหลักการทำงานของ VFD (Variable Frequency Drive) ในการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในการดูดอัดสารทำความเย็นตามภาระโหลดที่ต้องการ โดยการปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามภาระโหลดที่เกิดขึ้นจริง

3) แบบ Oil-Free Magnetic Bearing VSD: มีการใช้ Magnetic Bearing เพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ โดยที่ในระบบไม่มีน้ำมันหล่อลื่นปนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นกับระบบผลิตความเย็นจากนั้นจะหมุนวนกลับไปปรับความร้อนอีกครั้ง

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ Capacity: 500 ตัน

1.13 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อน (Boiler Efficiency System)

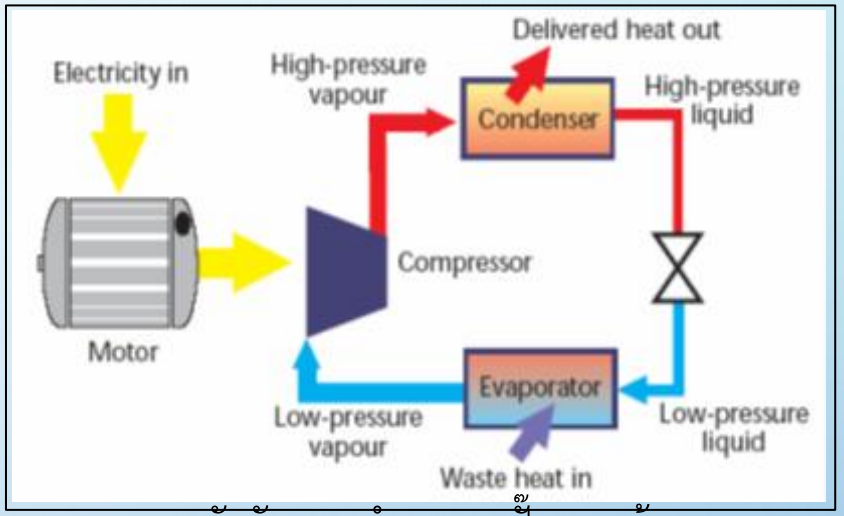
ความหมาย:

เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน ปั๊มความร้อน คือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งาน ในอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึง ความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้

หลักการทำงาน :

ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อนประกอบด้วย 1) อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก จะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ 2) คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่ อุณหภูมิต่ำให้มี ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์ 3) คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดัน และอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็น ของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยัง เอ๊กซ์แพนชั่นวาล์ว 4) เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์

รูปภาพเทคโนโลยี



วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนขนาด 45 kWความร้อน ใช้ทำความร้อนทดแทนการใช้ไอน้ำในการทำความร้อน

1.14 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง (LED Efficiency System)

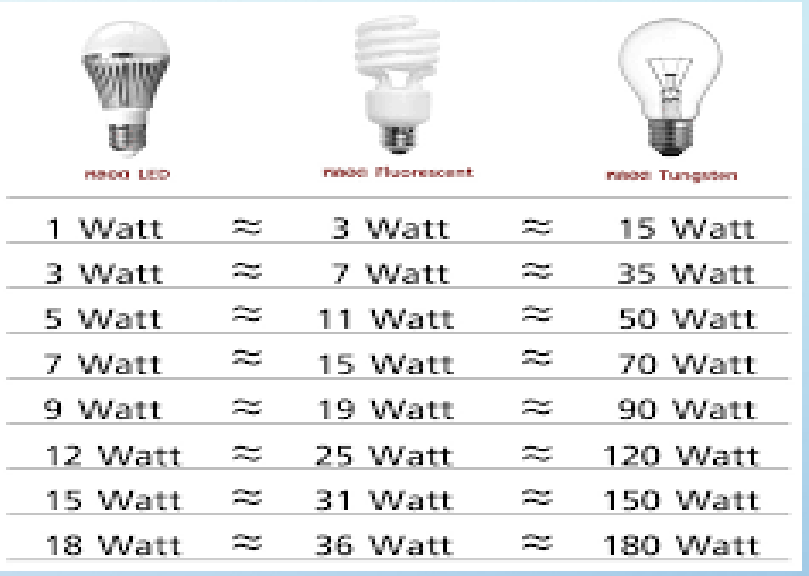
ความหมาย:

LED ย่อมาจากLight-Emitting Diode มีประสิทธิภาพทำให้เกิดความร้อนน้อย และสามารถประหยัดพลังงานลงจากเทคโนโลยี หลอดไฟแบบเดิมๆ ได้ 50% – 80% ในการสร้างความสว่างที่เทียบเท่ากัน

หลักการทำงาน :

LED เป็นเทคโนโลยีการให้แสงสว่างแบบ Solid-state ที่ใช้ Semiconductor ในการเปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าให้กลายเป็นแสงสว่าง มี แหล่งกำเนิดแสงของ LED เกิดจากการผสมแสงหลายสีเข้าด้วยกัน ดังนั้น LED จึงมีสีให้ เลือกได้หลากหลาย เหมาะสมต่อการใช้งานได้ในรูปแบบที่แตกต่างกันไป ไม่มีรังสี UV ที่เป็นอันตรายต่อดวงตาและผิวหนัง รวมถึงไม่มีส่วนประกอบของสารปรอท จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

รูปภาพเทคโนโลยี



การเปลี่ยนหลอด LED ในอาคารสำนักงาน

1.15 เทคโนโลยี ORC เพื่อใช้งานในแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ (Organic Rankine Cycle: ORC)

ความหมาย:

ORC เป็นวัฏจักรผลิตไฟฟ้าที่ใช้หลักการทำงานของวัฏจักรแรงคิน (Rankine) เป็นสารทำงานในกลุ่มของสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอที่จุดเดือดต่ำหรืออุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานใน ระบบแรงคิน ทำให้การบำรุงรักษาง่ายและมีความปลอดภัยสูง

หลักการทำงาน :

กระบวนการทำงานเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้แก่หัวเผา (Burner) ตัวที่ 1 และ 2 และใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้แก่หัวเผาตัวที่ 3 ในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ (Hot Water Generator) เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นน้ำร้อนดังกล่าวจะถูกจ่ายให้แก่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC โดยปั๊ม น้ำร้อน (Hot Water Pump) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงาน (Refrigerant) ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC น้ำร้อนจะมี อุณหภูมิลดลงประมาณ 10 องศาเซลเซียส และถูกส่งกลับไปรับความร้อนอีกครั้งที่หม้อต้มน้ำ

รูปภาพเทคโนโลยี

โรงไฟฟ้า ORC มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โรงไฟฟ้า ORC อ.ฝาง จ.เชียงใหม่

1.16 Biodiesel for vechicles

ความหมาย:

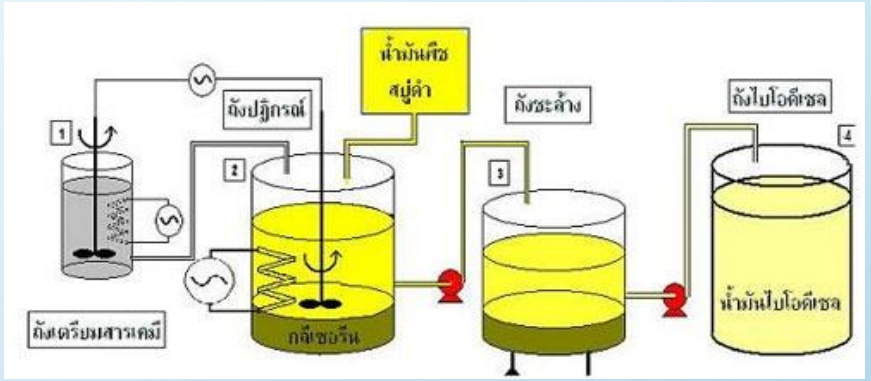
ไบโอดีเซล คือเชื้อเพลิงจากธรรมชาติ ที่สามารถนำไปผสมในน้ำมันดีเซลเพื่อใช้งานได้ โดยกรณีที่ใช้ไบโอดีเซล 100% หรือที่นิยมเรียก B100 ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องจักรกลการเกษตร แต่หากต้องการนำใช้ในรถยนต์จะผสมในสัดส่วนไบโอดีเซล 5 ส่วน ต่อน้ำมันดีเซล 95 ส่วน ได้เป็นไบโอดีเซลสูตร B5 เป็นต้น

หลักการทำงาน :

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา: หากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกยางเหนียว และลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมากรองแล้วจึงนำไปขจัดน้ำออก
2. การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์: โดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 - 5 ส่วน ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
3. การทำปฏิกิริยา: น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วถูกทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 °C จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที
4. การแยกกลีเซอรีน: กลีเซอรีนจะถูกถ่ายออกใส่ภาชนะโดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ยังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรีนจะกลายเป็นของแข็ง
5. การล้างสิ่งปนเปื้อนออก: ทำการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเตอร์
6. การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย: โดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือการกรองด้วย salt filter

รูปภาพเทคโนโลยี



รถใช้เชื้อเพลิง B100 รถใช้เชื้อเพลิง B20

Site Ref. : รถที่ใช้ไบโอดีเซล

1.17 เทคโนโลยีรถไฟฟ้าระบบรางเพื่อการขนส่ง (Railway Electrification)

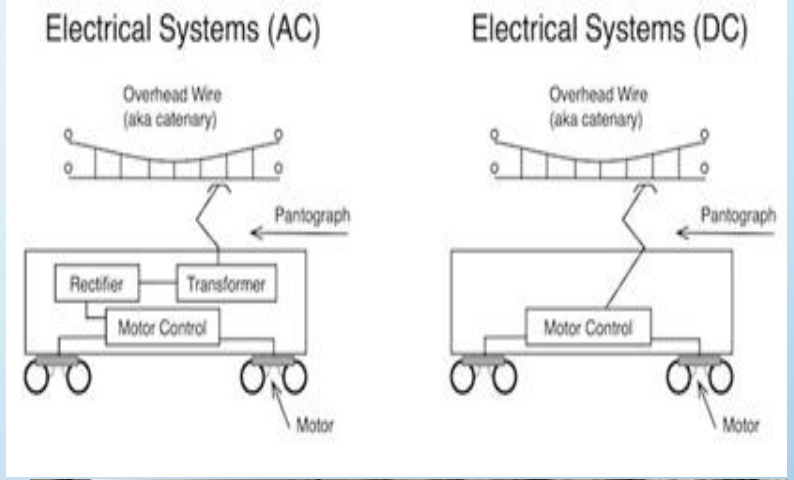
ความหมาย:

รถไฟไฟฟ้าระบบราง (หรือรถไฟฟ้า) เป็นรถไฟที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการเคลื่อนที่ เป็นระบบขนส่งมวลชน ที่บรรทุกผู้โดยสาร หรือสินค้าจำนวนมาก ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ที่มีค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยการขนส่งต่ำ และลดการใช้น้ำมัน เชื้อเพลิงในสาขาการขนส่งอย่างมีนัยสำคัญ

หลักการทำงาน :

การให้บริการรถไฟฟ้ามี 5 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ตัวรถ (รถไฟ) ระบบ อาณัติสัญญาณ (Signaling System) ระบบไฟฟ้าและการสื่อสาร (Electrification and Communication System) ระบบปฏิบัติการ (Operation) และงานโยธา (Civil Work) ซึ่ง ตัวรถ DL และ DMU เปรียบเสมือนโรงไฟฟ้าเคลื่อนที่ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้า แล้วจึง นำไปขับมอเตอร์ โดยตัวรถ DL จะมีเครื่องยนต์ที่ใหญ่กว่า เนื่องจาก มีเครื่องยนต์เฉพาะที่หัวจักร สำหรับ DMU จะมีเครื่องยนต์ที่เล็กกว่า กระจายไปยังรถพ่วงเพื่อช่วยกันขับเคลื่อนขบวนรถไฟ

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : รถไฟฟ้าแอร์พอตลิ้ง

2. เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต (19 เทคโนโลยี)

พลังงานทดแทนและการจัดการของเสีย

1) CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor)
2) Dry Fermentation
3) การใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบวัสดุเก็บเกี่ยวแสงอาทิตย์ (Perovskite)
4) การเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem Solar Cells
5) เซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ (Full spectrum solar cell)
6) การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Electricity)
7) การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล (Offshore wind farm)
8) การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบไม่มีแหลงกักเก็บน้ำ (Run off the river plants (no reservoirs))
9) การผลิตไฟฟ้าระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System)
10) เทคโนโลยีการดักจับคาร์บอน และการนำไปใช้ประโยชน์ (CCUS: Carbon Capture and Utilization)

2. เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต (ต่อ)

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน

1) เทคโนโลยีระบบผลิตความร้อน โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อทดแทนระบบผลิตพลังงานแบบแยกส่วนแบบ Poly-Generation
2) เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็น โดยการผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึมโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Absorption chiller using solar heating)
3) เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ (Heat pump using low temp waste)
4) การใช้มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่าน (Brushless DC Motor)
5) เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน (Wind Hydrogen Hybrid))

การขนส่ง

1) เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนรถยนต์ไฟฟ้าทดแทนน้ำมันดีเซล (Electric Car)
2) เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน (Electric Bus)
3) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัดเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ (Compressed Biomethane Gas: CBG)
4) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อทดแทนการใช้น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ (Hydrogen Fuel Cell)

2.1 CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor)

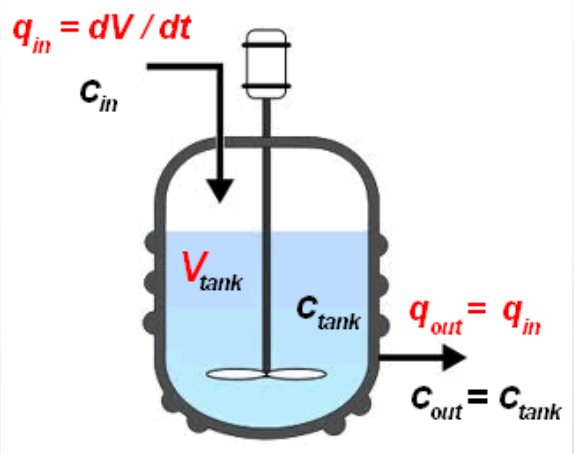
ความหมาย:

เทคโนโลยี CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor) หรือเรียกว่า ถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ เป็นถังปฏิกิริยาที่ออกแบบให้ทำงาน โดยอาศัยหลักการว่า สสารที่อยู่ภายในถังจะมีคุณสมบัติและความเข้มข้นเป็นเนื้อเดียวกันด้วยการกวนผสมเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกิริยามีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างมี ประสิทธิภาพ

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยี CSTR หรือเรียกว่า ถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ เป็นถังที่ออกแบบให้ทำงานโดยอาศัยหลักการว่า สสารที่อยู่ภายในถังจะมีคุณสมบัติและความเข้มข้นเป็นเนื้อเดียวกันด้วยการกวนผสมเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารมีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ การกวนผสมภายในถังปฏิกิริยาสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีระบบผสมด้วยแก๊สจะทำงานโดยการอัดก๊าซชีวภาพและฉีดเข้าไปทั้งจากด้านล่างหรือด้านบนของถัง ฟองอากาศที่ฟุ้งกระจายทำให้เกิดการกวนหมุนวนของสสารในถังปฏิกิริยา สำหรับวิธีระบบการผสมเชิงกลอาจทำได้โดยการติดตั้งเครื่องกวนผสมทั้งแบบใบพัดหรือแบบสกรู ส่วนการกวนผสมทางชลศาสตร์นั้น ปกติแล้วจะทำให้เกิดการวนเวียนของของเสียภายในถังโดยสูบน้ำเข้าและออกผ่านเครื่องสูบน้ำและหัวฉีดแรงดันสูง

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : บริษัท เอส.พี.เอ็ม จำกัด จ.ราชบุรี

2.2 Dry Fermentation

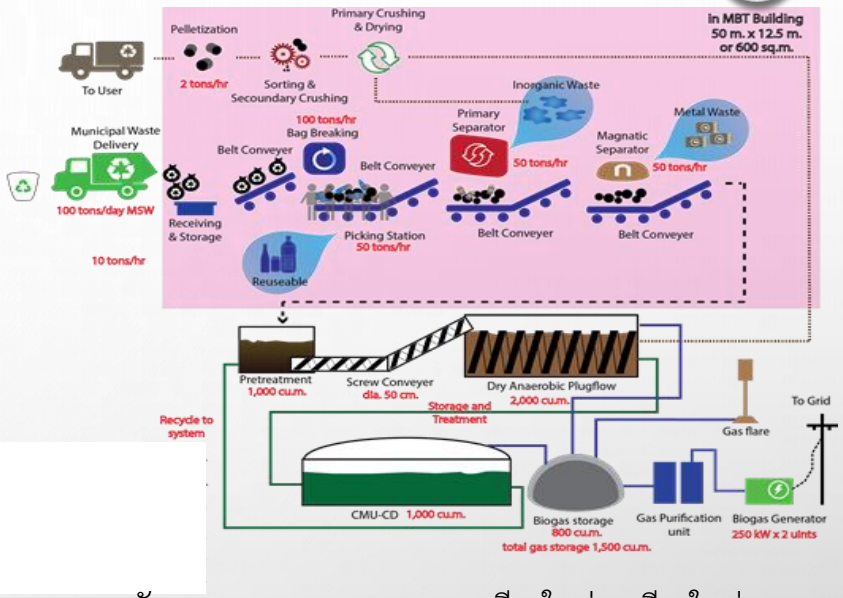
ความหมาย:

Dry fermentation ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบแห้ง ซึ่งเป็นระบบหมักที่มีความเข้มข้นของของแข็งรวมเข้าระบบ อยู่ระหว่างร้อยละ 20 - 40 โดยสารอินทรีย์เข้าระบบต้องมีค่าความชื้นน้อยว่าร้อยละ 75 และไม่จำเป็นต้องผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น เหมาะสำหรับการ บำบัดของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง

หลักการทำงาน :

เป็นระบบหมักที่มีความเข้มข้นของของแข็งรวมเข้าระบบอยู่ระหว่างร้อยละ 20-40 โดยสารอินทรีย์เข้าระบบต้องมีค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 75 และไม่จำเป็นต้องผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น ระบบหมักแห้งมี 3 วิธีได้แก่ 1) Dry Continuous Digestion Process เป็นระบบที่มีการป้อนสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูงประมาณร้อยละ 20-40 เข้าสู่ถังหมักอย่างต่อเนื่อง และมีการเติมน้ำน้อยมาก 2) Dry Batch Digestion Process เป็นระบบที่มีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักแบบ Batch แล้วจึงทำการเติมเชื้อ จากนั้นจะปิดถังหมักให้สนิทแล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นตามธรรมชาติ 3) Leach-Bed Digestion Process มีการแลกเปลี่ยนน้ำจากถังหมักถังแรกที่เกิดกระบวนการย่อยสายแล้วไปยังถังหมักใหม่ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการย่อยและป้องกันการเกิดสภาวะเปรี้ยว

รูปภาพเทคโนโลยี



การจัดการขยะแบบครบวงจร ม.เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

Site Ref. : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Capacity : รองรับขยะ 30 ตัน/วัน

2.3 เทคโนโลยีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบวัสดุเก็บเกี่ยวแสงอาทิตย์ Perovskite

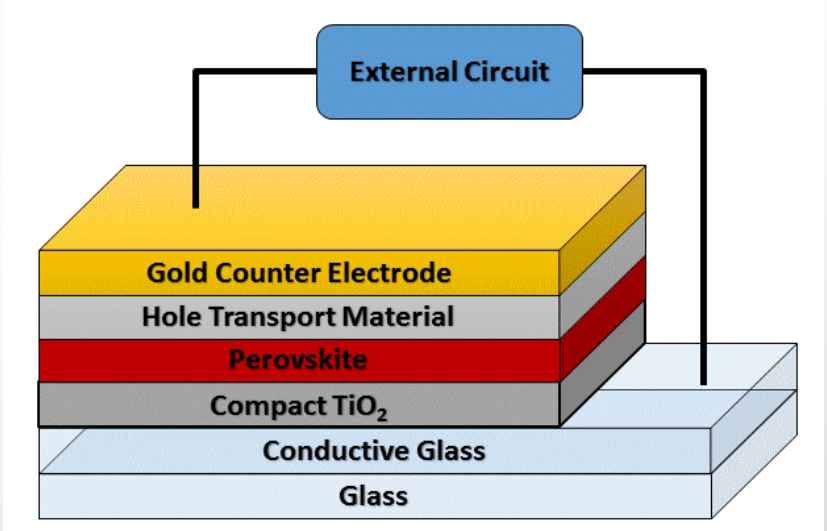
ความหมาย:

Perovskite เป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้าง Perovskite เป็นส่วนประกอบโดยมากจะเป็นส่วนผสมของวัสดุ organic-inorganic lead หรือ tin halide-based เป็นชั้นเก็บเกี่ยวพลังงาน [1,2] โดยวัสดุ Perovskite เช่น methylammonium lead halides มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ง่าย และมี ประสิทธิภาพร้อยละ 22.7

หลักการทำงาน :

โครงสร้าง Perovskite โดยมากจะเป็นส่วนผสมของวัสดุ organic-inorganic lead หรือ tin halide-based เป็นชั้นเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยวัสดุ Perovskite เช่น methylammonium lead halides โดยที่การทำงานจะมีลักษณะคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป แต่จะมีขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับชั้น perovskite จะทำให้สาร perovskite แตกตัวเป็นอิเล็กตรอนไปที่ชั้น n – type (Titanium dioxide) และ โฮลในชั้น p – type (Spiro-OMeTAD) โดยพลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในเซลล์จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ

2.4 เทคโนโลยีการเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem Solar Cells

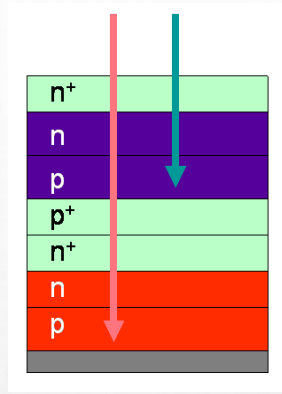
ความหมาย:

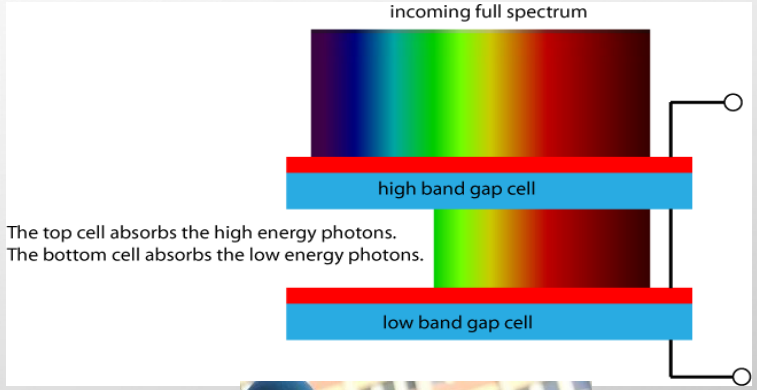
Tandem Solar Cells เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการรวมหลายๆ รอยต่อ (Junction) เข้าด้วยกัน เพื่อตอบสนองต่อ Spectrum ของแสง ได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยการลด thermal relaxation loss (thermalisation) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของความแตกต่าง ของพลังงานระหว่าง absorbed photon และ band-gap ของสารวัสดุกึ่งตัวนำ และมี ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 35

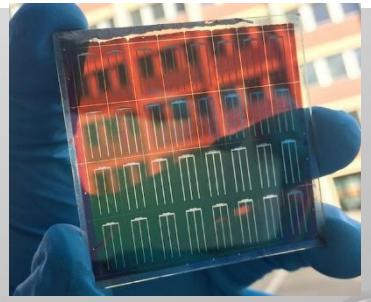
หลักการทำงาน :

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem มีลักษณะคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป แต่มีการเพิ่มชั้น p-n Junction เป็น 2 ชั้น โดย p-n Junction ที่ใช้จะมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อ Band gab ของแสงที่แตกต่างกันคือ High band-gab (รับแสงสีเขียว) ที่อยู่ด้านบน และ (รับแสงสีแดง) ที่อยู่ด้านล่าง โดยที่เมื่อแสงมากระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะสีเขียวจะถูกดูดกลืนเข้าไปในชั้น High band-gab เพื่อทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ส่วนแสงสีแดงจะผ่านไปและดูดกลืนที่ชั้น Low band-gab แล้วผลิตไฟฟ้า ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem สามารถตอบสนองต่อแสงและมีประสิทธิภาพดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบัน

รูปภาพเทคโนโลยี







Site Ref. : ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ

2.5 Full spectrum solar cell

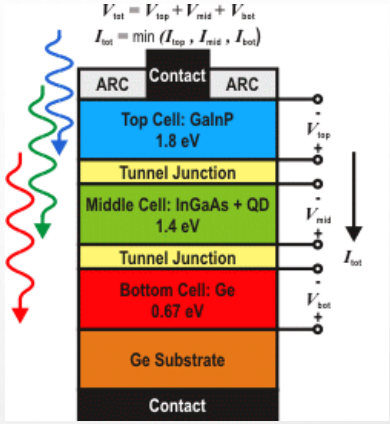
ความหมาย:

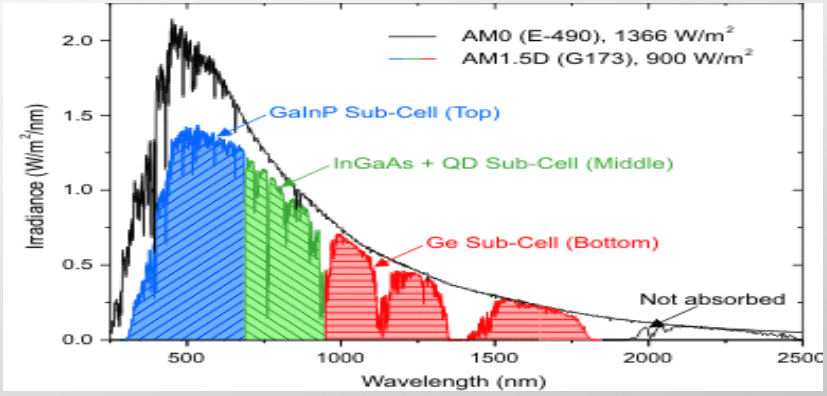
Full spectrum solar cell คือการนำวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มี Energy gab ที่แตกต่างกัน มาต่อกันแบบอนุกรม ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ ตอบสนองต่อ ความยาวคลื่นได้มากขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบใหม่ Full spectrum ทำงานโดยแบ่งส่วนที่ตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกเป็นหลายๆส่วนที่ตอบสนองกับคลื่นที่มีความยาวแตกต่างกัน โดยเมื่อแสงมาตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนวิ่งผ่านภาระทางไฟฟ้าไปรวมกับโฮล เกิดกกำลังไฟฟ้าขึ้น โดยปรากฏการณ์นี้ก็จะเกิดขึ้นในอีกส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน เมื่อนำเซลล์สองชนิดมาต่อกัน จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงขึ้นตามไปด้วย

รูปภาพเทคโนโลยี





2.6 Solar Thermal Electricity

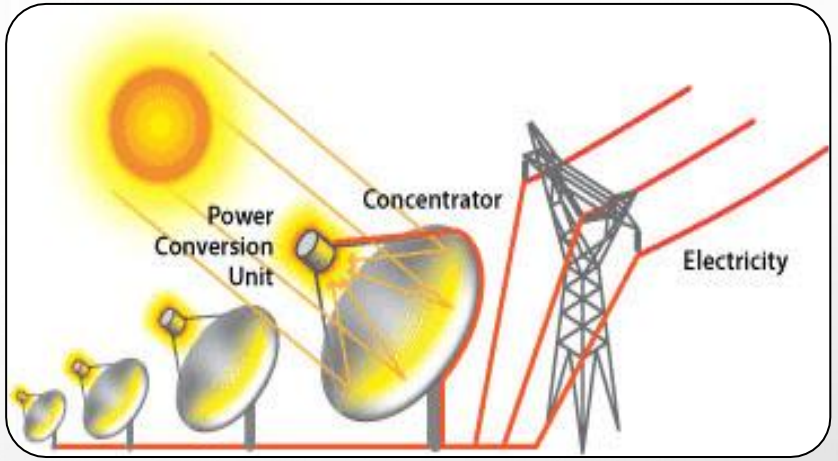
ความหมาย:

Solar Thermal Electricity เทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากรังสีแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคการรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่ตัวรับแสงด้วยกระจก หรือวัสดุสะท้อนแสง โฟกัสให้แสงไปรวมที่จุดใดจุดหนึ่ง (Concentrated Solar Power หรือ CSP) เกิดเป็นพลังงานความร้อน จากนั้น พลังงานความร้อนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า

หลักการทำงาน :

การผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Electricity) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากรังสีแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคการรวบรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่ตัวรับแสงด้วยกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสง โดยโฟกัสให้แสงไปรวมที่จุดใดจุดหนึ่ง (Concentrated Solar Power หรือ CSP) เกิดเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นพลังงานความร้อนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงหรือถูกนำไปเก็บไว้ในสารเคมีที่สามารถเก็บความร้อนได้ เช่น สารละลายเกลือ (Molten Salt) เพื่อนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในภายหลัง

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิกของ Tessera Solar ณ โรงไฟฟ้า Maricopa ประเทศอเมริกา

Capacity : 1.5 MW

2.7 Offshore wind farm

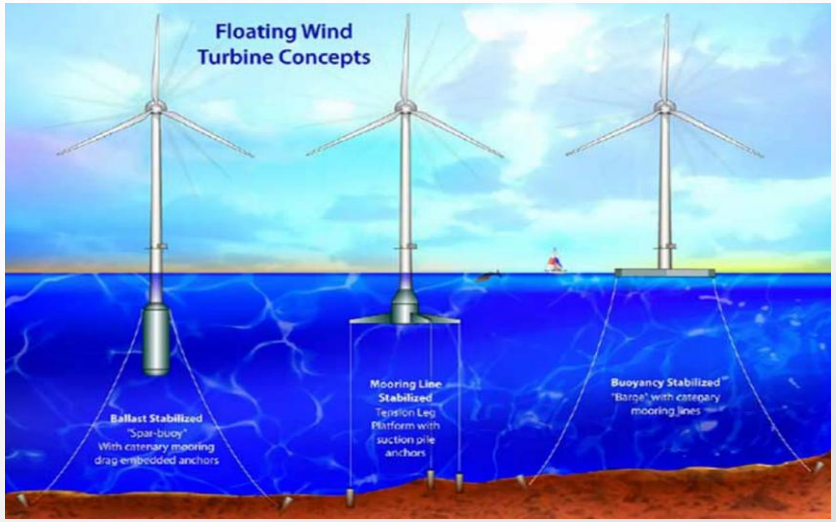
ความหมาย:

กังหันลมเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่การติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ในบางพื้นที่กลับ ประสบปัญหาและมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ปัญหาเรื่องที่ดิน/เขตหวงห้าม ปัญหาการบดบังทัศนียภาพ และปัญหามลพิษทางเสียง ส่งผลให้การติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลจึงกลายเป็นอีกหนึ่งหนทางที่เป็นทางออกของปัญหาดังกล่าวเหล่านั้น โดยกังหันลมส่วนใหญ่ ที่ใช้งานจะมีขนาด 450–600 kW ติดตั้งที่ระดับน้ำลึกสุด 6 เมตรและห่างจากฝั่งมากที่สุด 4 กิโลเมตร

หลักการทำงาน :

การผลิตไฟฟ้าจากการติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล ในการออกแบบฐานรากต้องให้มีความเหมาะสมกับระดับความลึกต่างๆของน้ำทะเลแต่ละพื้นที่ ที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เมตรนั้นมีฐานรากที่เหมาะสมอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ชนิด Monopile และชนิด Gravity อีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการติดตั้งกังหันลมที่ระดับน้ำไม่ลึกมากนักก็คือชนิด Suction Caisson ที่มีวิธีการก่อสร้างที่ง่ายกว่าและใช้วัสดุน้อยกว่าฐานรากแบบ Gravity สำหรับฟาร์มกังหันลมที่ถูกติดตั้งที่ระดับความลึก 30-45 เมตร การใช้ฐานรากหลายๆ ตัวจะช่วยทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพเพียงพอ ซึ่งอาจจะใช้เป็นชนิด Multiple pile หรือแบบ Suction Pile

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : กังหันลมนอกชายฝั่ง Utgrunden ประเทศสวีเดน

2.8 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำ (Run-of-the-river plants (no reservoirs))

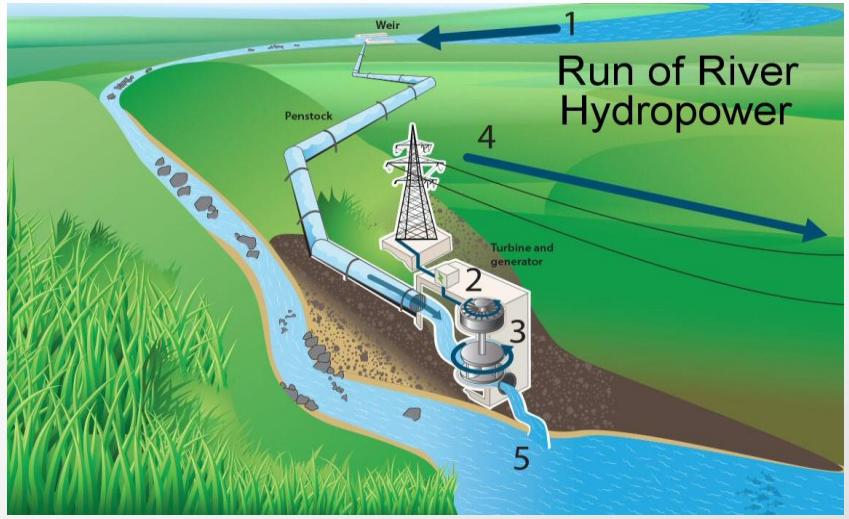
ความหมาย:

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานของน้ำ อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำที่เกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูง การไหลของน้ำ หรือการขึ้น-ลงของคลื่น ไปหมุนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำ รวมไปถึงประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลักการทำงาน :

ไฟฟ้าพลังน้ำแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำ เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้น โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบนี้จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ มักสร้างอยู่ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก มีน้ำไหล ตลอดปี และเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบที่มีข้อจำกัดด้านภูมิประเทศที่ทำให้ไม่สามารถสร้างอ่างเก็บน้ำได้ โดยจะมีอาคารสำหรับทดน้ำให้ สูงขึ้นแทน ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ น้ำจากแม่น้ำจะถูกผันเข้าสู่ท่อหรือรางเพื่อนำไปที่โรงสร้างกระแสไฟฟ้า การผันน้ำนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ของกระแสน้ำใน การขับเคลื่อนกังหันใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากนั้นน้ำจะไหลกลับรวมสู่แม่น้ำอีกครั้งหนึ่ง

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ประเทศบราซิล

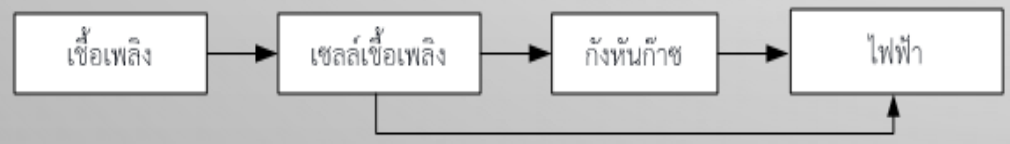
2.9 Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System

ความหมาย:

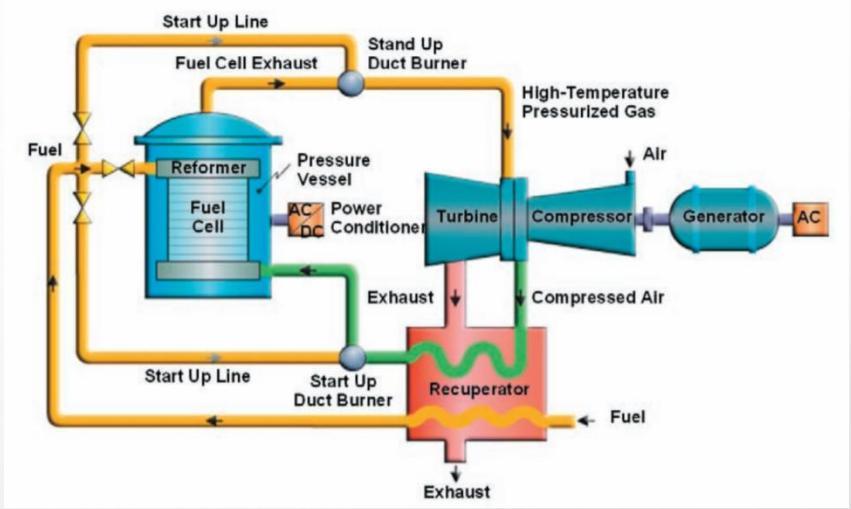
เป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่ต้องการอุณหภูมิสูงในการผลิตไฟฟ้า เช่น solid oxide fuel cells และ molten carbonate fuel cells เข้ามาแทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน จากนั้นนำความร้อนที่เหลือจากเซลล์เชื้อเพลิงไปขับกังหันที่ต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้จาก 2 แหล่ง ทั้งเซลล์เชื้อเพลิงและกังหันก๊าซ

หลักการทำงาน :

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากระบบผสมผสานระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง เริ่มขึ้นเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงเช่น ก๊าซธรรมชาติ ไฮโดรเจน คอร์บอนมอนนอกไซด์ โพรเพน เข้าทางขั้ว anode ของเซลล์เชื้อเพลิง แล้วป้อนอากาศหรือออกซิเจนเข้าทางขั้ว cathode ของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตไฟฟ้าและความร้อนออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 600-1000 °C จากนั้นนำความร้อนที่เหลือ ไปปั่นกังหันที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป



รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System ของ Mitsubishi Hitachi Power Systems Capacity : 250 Kw

2.10 Carbon Capture and Utilization (CCU)

ความหมาย:

เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน เป็นกระบวนการที่ถูกออกแบบมาเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ออกจากไอเสีย ที่อาจจะ ผลิตจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และ/หรือ น้ำมันปิโตรเลียมจากโรงไฟฟ้าต่างๆ โดยการแยก CO2 และเปลี่ยนให้เป็นในรูปของเหลวและ กับเก็บในใต้ดิน และสามารถนำก๊าซ CO2 นั้นมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน เป็นกระบวนการที่ถูกออกแบบมาเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกจากไอเสีย ที่อาจจะผลิตจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และ/หรือ น้ำมันปิโตรเลียมจากโรงไฟฟ้าต่างๆ โดยการแยก CO_2 และเปลี่ยนให้เป็นในรูปของเหลวและกับเก็บในใต้ดิน เทคโนโลยี CCS แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

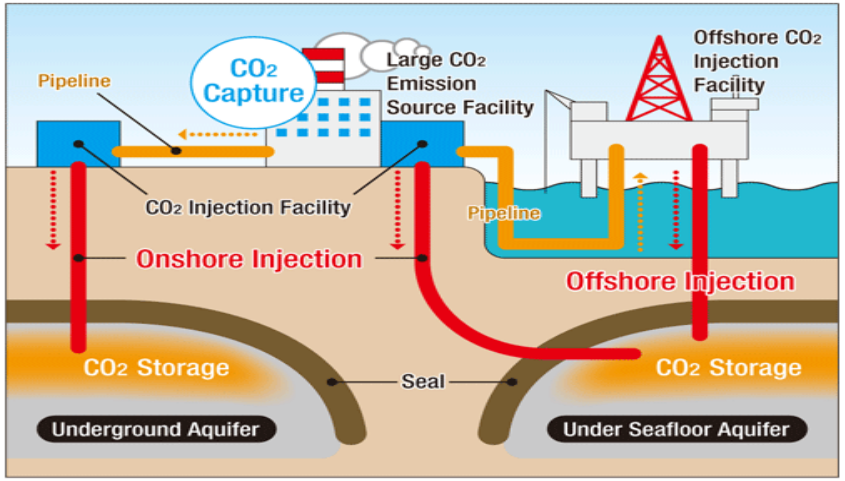
1) การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Capture)

2) การขนถ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Transportation) และ

3) การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Storage)

ทั้ง 3 ส่วนของระบบนั้น ถ้า CCS สามารถทำการติดตั้งระบบขนาดที่ใหญ่ จะสามารถทำการกักเก็บได้ถึงร้อยละ90 ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : โรงไฟฟ้า Boundary Dam ประเทศแคนาดา โรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยี CCS ในเชิงพาณิชย์เป็นแห่งแรกในโลก

2.11 Polygeneration

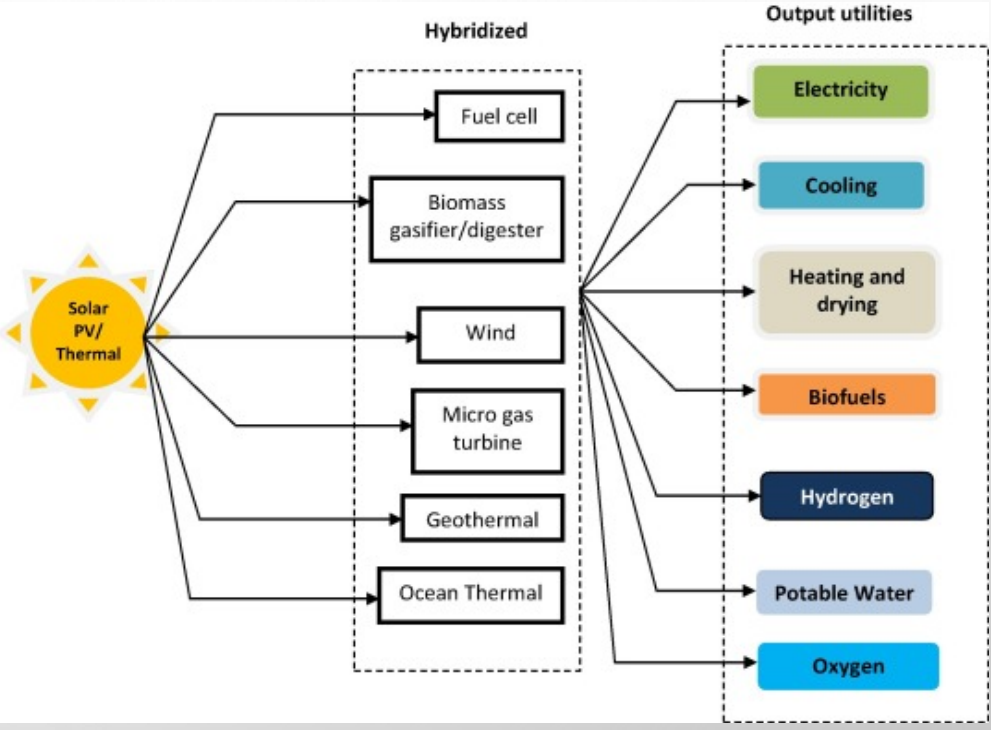
ความหมาย:

เทคโนโลยี Poly-generation คือเทคโนโลยีที่รวมแหล่งทรัพยากรพลังงานหลายแหล่งเข้าด้วยกันและบริหารจัดการทรัพยากรในการ ผลิตพลังงานรวมถึงสิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยี Poly-generation เป็นการเพิ่มระบบการจัดการพลังงานหลายแหล่งเพื่อผลิตพลังงานและผลผลิตอื่นนอกเหนือจาก พลังงาน หากจะอธิบายย้อนไปจากเดิมที่มีการใช้พลังงาน (Power plant) เชื้อเพลิงเข้าสู่โรงไฟฟ้าเพื่อผลิตออกมาเป็นไฟฟ้าอย่างเดียว ต่อมาได้มีเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยดึงเอาความร้อนที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการกระบวนการ (Cogeneration plant) จากนั้นได้พัฒนาการแปรรูปพลังงานนอกเหนือจาก ไฟฟ้า ความร้อน โดยเพิ่มระบบทำความเย็น เพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สูงขึ้น ในส่วนของเทคโนโลยี Poly-generation เป็นการรวมศูนย์ระบบผลิตพลังงานและการใช้พลังงานเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุดทั้งนี้ยังรวมถึงผลิตผลอื่นๆที่เกิดขึ้นได้จะกระบวนการนอกเหนือจากพลังงาน

รูปภาพเทคโนโลยี



ระบบ Solar based and solar hybrid polygeneration

2.12 Absorption chiller using solar heating

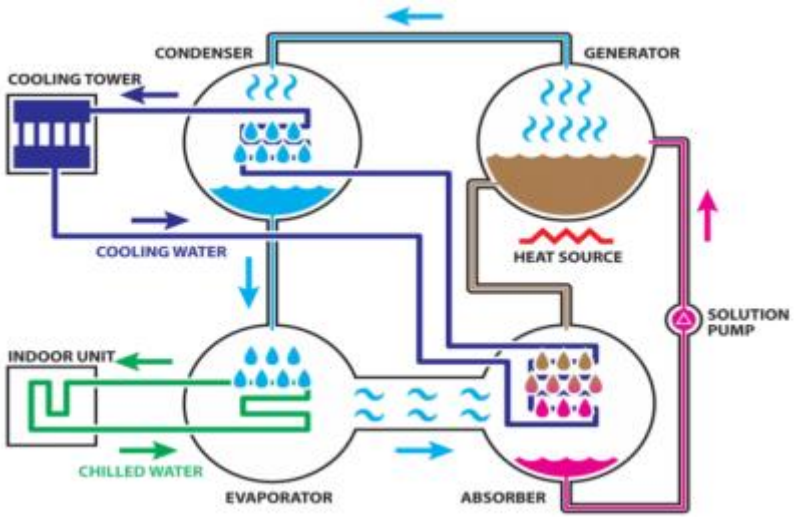
ความหมาย:

เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งหลังงานเพื่อเปลี่ยน เป็นความเย็น โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม หรือ Absorption Chiller เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง จากแหล่งอื่นๆ มาใช้ในการขับเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้ Absorption Chiller ส่วนมากจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นพลังงานคุณภาพต่ำ จึงเหมาะที่จะทำงานคู่กับระบบ Cogeneration

หลักการทำงาน :

วัฏจักรของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ การระเหย การดูดซึมความร้อน การแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ ให้ความร้อน (Generator) และการควบแน่น โดยเริ่มต้นที่สารละลายลิเธียมโบรไมด์เข้มข้น และอุณหภูมิสูงที่ไหลลงมาจาก Generator จะถูกฉีดกระจายลงบนขดท่อน้ำหล่อเย็นที่มีน้ำหล่อเย็นหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดอุณหภูมิของ สารละลายลิเธียม โบรไมด์ โดยสารละลายนี้จะดูดซึมไอระเหยของสารทำความเย็น (น้ำ) จาก Evaporator ไปพร้อมๆ กัน เมื่อสารละลายลิเธียมโบรไมด์ ดูดซึมสารทำความเย็น และลดอุณหภูมิลงแล้ว ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นสารละลายลิเธียมโบรไมด์ ที่เจือจาง และจะไหลมารวมกันบริเวณ ด้านล่างของตัวถัง เพื่อให้เครื่องสูบหมุนเวียนของสารละลาย ลิเธียมโบรไมด์สูบส่งไปยัง Generator เพื่อแยกสารทำความเย็น (น้ำ) ออกจากสารละลายลิเธียมโบรไมด์ด้วยการให้ความร้อนเพื่อแยกสารทำความเย็นออกจากลิเธียมโบรไมด์

รูปภาพเทคโนโลยี



Site Ref. : การติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนจากหลอดสุญญากาศ

2.13 Heat pump using low temp waste

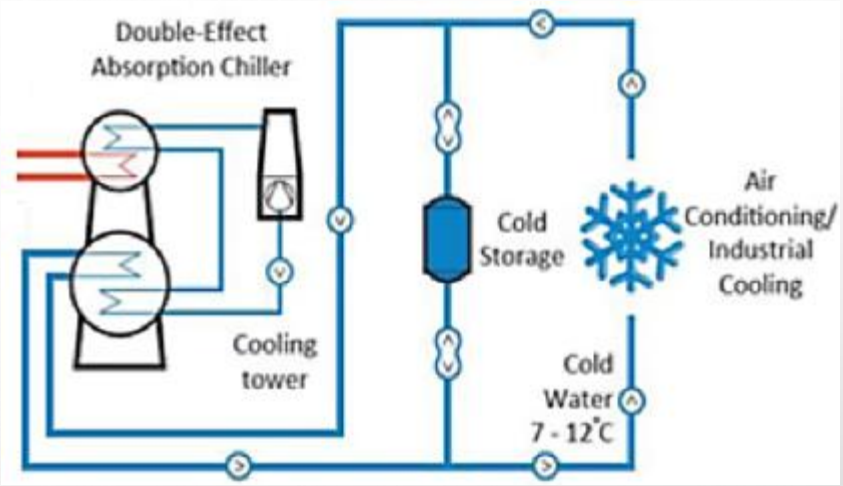
ความหมาย:

การประยุกต์เทคโนโลยีการทำความเย็นนิยมใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ซึ่งมีความหลากหลายในการเลือกใช้แหล่งพลังงาน ความร้อน เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการ พลังงานไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำ หรือการนำระบบ Heat Pump มาเป็นแหล่ง ความร้อน เนื่องจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งอาจมีพลังงานความร้อนที่ต่ำ จึงต้องมีการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100 0C) ร่วมกับแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80-90 ^{0}C

หลักการทำงาน :

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบคล้ายกับระบบอัดไอ คือ เครื่องควบแน่น (Condenser), เครื่องทำระเหย (Evaporator), วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) และเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) แต่ในส่วนของเครื่องอัด (Compressor) ในระบบดูดซึมจะเป็นเครื่องอัดชนิดความร้อน (Thermal Compressor) ซึ่งใช้พลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนระบบ ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นเครื่องดูดซึมความร้อน (Absorber) และอุปกรณ์ให้ความร้อน (Generator) ซึ่งระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

รูปภาพเทคโนโลยี



การใช้ Heat Pump ทำงานร่วมระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

Hot Water Operated Two Stage Lithium Bromide

2.14 เทคโนโลยีการใช้มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่าน (Brushless DC Motor)

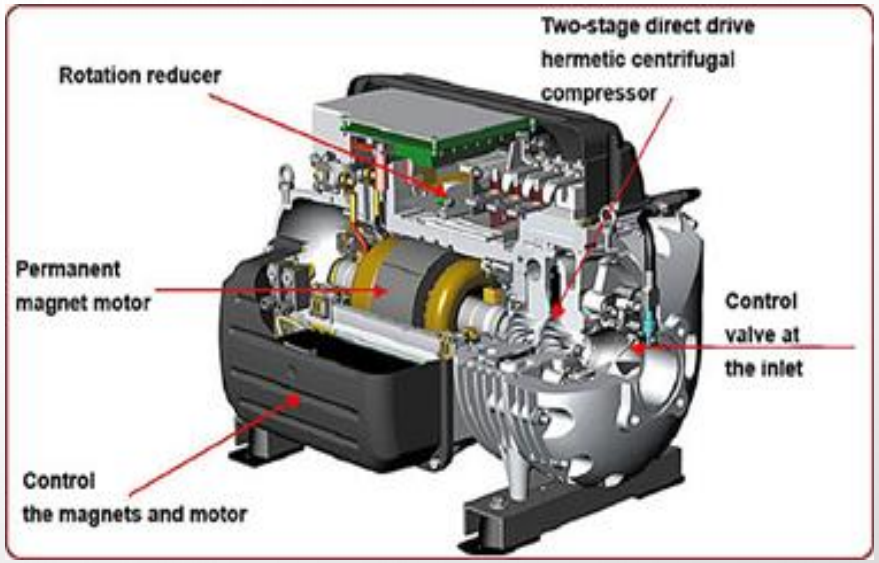
ความหมาย:

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งอาร์เมเจอร์จะเป็นตัวอยู่กับที่ และสนามแม่เหล็กจะเป็นตัวหมุนและใช้ตัวตรวจจับ (sensor) เพื่อตรวจจับตำแหน่งสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์และใช้อินเวอร์เตอร์ส่าหรับขบวนการคอมมิวเตชันทางระบบอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจจับ ต่าแหน่งของตัวหมุนตลอดเวลาใช้ตัวตรวจจับฮอลล์ (hall sensor) สามตัวโดยติดตั้งไว้บริเวณใกล้กับตัวหมุน ซึ่งตัวตรวจจับฮอลล์จะอาศัย หลักการตรวจจับสนามแม่เหล็กจากตัวหมุนที่มาปะทะกับตัวตรวจจับฮอลล์ตลอดเวลา

หลักการทำงาน :

การทำงานของมอเตอร์จะอาศัยพื้นฐานของแรงดูด และแรงผลัก ระหว่างขั้วแม่เหล็กที่อาศัยหลักการเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับซิงโครนัสที่มีตัวหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้นตอนการเริ่มหมุนเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดชุดที่หนึ่งของ ชุดขดลวด ที่สเตเตอร์ทั้งสาม และสร้างขั้วแม่เหล็กนั้นเป็นแรงดูดให้สนามแม่เหล็กครบรอบของขั้วที่ต่างกัน โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป ถ้ากระแส เลื่อนไปที่ชุดขดลวดที่ติดกันเกิดลำดับการเปลี่ยนแปลงแต่ละชุดขดลวดท่าให้โรเตอร์ติดตามการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุน

รูปภาพเทคโนโลยี



การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน อยู่ในระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

2.15 Wind Hydrogen Hybrid

ความหมาย:

เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่อาศัยกังหันลม เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) เพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าไปกักเก็บพลังงานในรูปก๊าซไฮโดรเจน จากการ แตกตัวของน้ำ (H2O) และเมื่อมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้า จะผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง โดยมีก๊าซไฮโดรเจนที่ กักเก็บไว้เป็นเชื้อเพลิง

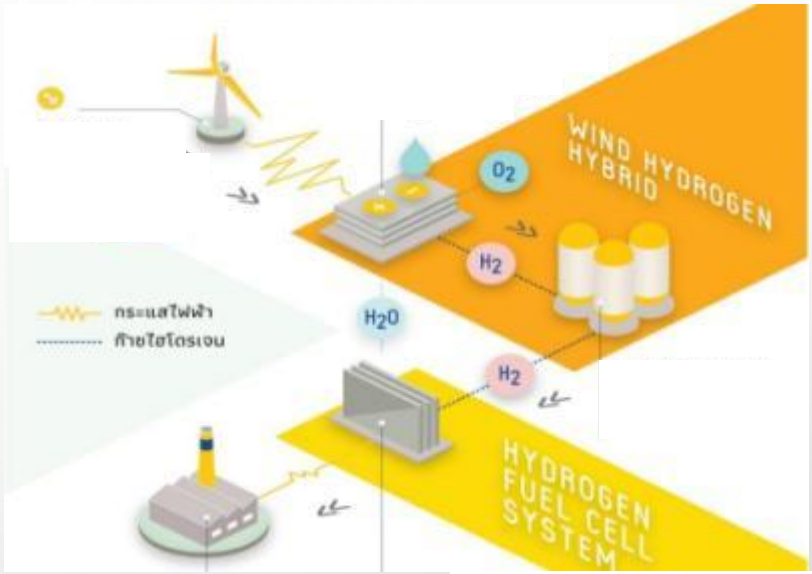
หลักการทำงาน :

การทำงานเริ่มต้นจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยอาศัยกังหันลม ผ่านเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากนั้นกระแสไฟฟ้า ที่ผลิตได้จะถูกป้อนเข้าสู่อิเล็กโทรไลต์เซอร์ ซึ่งทำหน้าที่แยกน้ำ โดยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จะผ่านเมมเบรน เพื่อแยกก๊าซผลิตภัณฑ์ให้เหลือเพียงก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนที่แยกได้จะถูกนำเข้าไปกักเก็บในถังเก็บก๊าซไฮโดรเจน เพื่อเก็บเป็น พลังงานไว้ใช้ในเวลาที่ต้องการ โดยการนำไปใช้งานเพื่อผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้า จะอาศัยเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ในการผลิต พลังงานไฟฟ้าในการนำไปใช้งาน สามารถแสดงสมการในการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไฮโดรเจน คือ

ขั้วแอโนด : $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

ขั้วคาโทด : $4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2$

รูปภาพเทคโนโลยี



กังหันลมแนวตั้ง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

อิเล็กโทรไลต์เซอร์

2.16 Electric Car

ความหมาย:

รถไฟฟ้า (Electric Vehicle; EV)” หรือ ยานพาหนะไฟฟ้า ซึ่งขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้สันดาป ภายในรถไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานแทนที่น้ำมันหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ โดยมอเตอร์ไฟฟ้าในรถไฟฟ้าจะเปลี่ยนไฟฟ้าซึ่งโดยปกติมาจาก ชุดแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานกลเพื่อการขับเคลื่อนล้อ โดยมีรูปแบบและขนาดต่างกัน

หลักการทำงาน :

ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

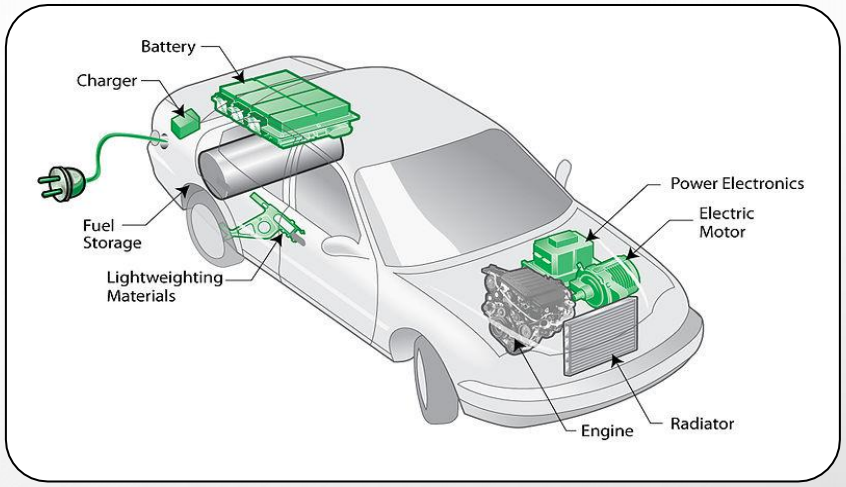
1) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลักใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุในยานยนต์ ทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูง

2) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ซึ่งสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้ยานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง

3) ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังที่ทำให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น

4) ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยยานยนต์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงถึง 60%

รูปภาพเทคโนโลยี



ส่วนประกอบภายในยานยนต์ไฮบริดที่ใช้พลังงานจากแหล่งภายนอก

Mitsubishi รุ่น i-MiEV

2.17 รถไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน (Electric Bus)

ความหมาย:

รถไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน คือรถบัสไฟฟ้าที่ใช้ขนส่งคนโดยสารเป็นขบวนขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอย่างอื่นไปตามทาง รถไฟฟ้าที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าขนส่ง มวลชนแห่งประเทศไทย เพื่ออำนวยความสะดวกในการขนส่งมวลชน

หลักการทำงาน :

รถไฟฟ้ามีขั้นตอนหลักของการทำงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) ระบบกำลัง: รถไฟฟ้าจะเก็บไฟฟ้าในแบตเตอรี่และนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เมื่อต้องการ โดยมีเครื่องควบคุมการทำงานของชุดแบตเตอรี่

2) ระบบพลังงาน: จะเป็นตัวแปลงกลับ (inverter) เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟแบบ DC จากแบตเตอรี่เป็นกระแส AC สำหรับมอเตอร์

3) การขับเคลื่อน: เป็นกล้ามเนื้อของรถไฟฟ้าอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งถูกส่งไปยังล้อผ่านเพลา เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะ

4) ระบบการชาร์จ: จะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อป้อนให้กับแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานหลังจากได้ใช้ไปจนหมด

รูปภาพเทคโนโลยี

รถโดยสารไฟฟ้า ของจังหวัดเชียงใหม่

รถโดยสารไฟฟ้า ของ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.18 CBG (Compressed Biomethane Gas)

ความหมาย:

ก๊าซไบโอมีเทนอัด คือ ก๊าซที่เกิดจากการนำเอาก๊าซชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยมีคุณสมบัติเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (NGV/CNG) แล้วอัดลงถังที่แรงดัน 200 – 250 barg เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์

หลักการทำงาน :

การผลิตก๊าซ CBG จะเป็นการนำเอาก๊าซชีวภาพมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยการลดก๊าซ CO_2, H_2S, ความชื้น และก๊าซอื่นๆ ออกตามที่กฎหมายหรือตามตามมาตรฐานกำหนด เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น ด้วยเทคโนโลยีปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ได้แก่ Water Scrubbing, PSA, Chemical Scrubbing with Amine Solvent และ Membrane เป็นต้น

รูปภาพเทคโนโลยี

Site Ref. : บริษัท เชียงใหม่ เฟรชมิคล์ จำกัด อ.บ้านโฮ่ง จ.ลำพูน

Capacity : 200 กก./วัน

2.19 Hydrogen Fuel Cell

ความหมาย:

เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ โดยจะถูกนำไปใช้งานควบคู่กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cells) สำหรับผลิต กระแสไฟฟ้าและใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ โดยเชื้อเพลิงไฮโดรเจนนี้ สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบตามธรรมชาติหลากหลาย ประเภท อาทิ วัสดุชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน

หลักการทำงาน :

เทคโนโลยีอาศัยกระบวนการรีฟอร์มมิง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

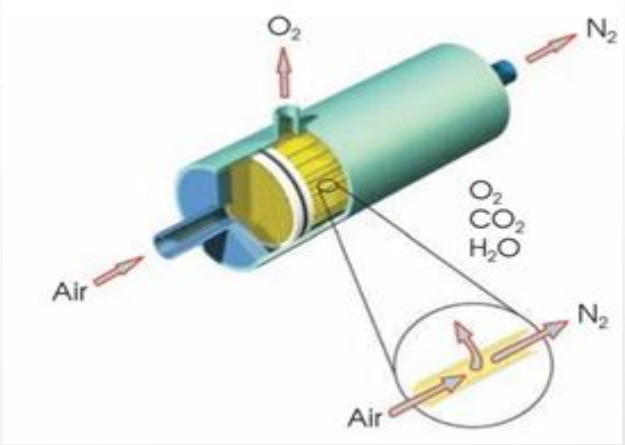
1) กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ: เป็นการป้อนไอน้ำ (steam) เข้าสู่ระบบเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะก๊าซ โดยไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากไอน้ำ และสารไฮโดรคาร์บอน (CH) ส่วนออกซิเจนที่เหลือจากน้ำและคาร์บอนที่เหลือจากไฮโดรคาร์บอน จะรวมตัวกันเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

2) กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบแต่สัดส่วนของไฮโดรเจนที่ได้จาก กระบวนการนี้จะต่ำกว่ากระบวนการแรก และตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมสภาพเร็วกว่า

3) กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน: เป็นกระบวนการระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจน โดยไม่จำเป็นต้องป้อนพลังงานจาก ภายนอก แต่ปริมาณออกซิเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบต้องไม่สูงจนเกินไป

4) กระบวนออโตเทอร์มัลรีฟอร์มมิง: กระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำกับออกซิเดชันบางส่วนโดยการป้อน ทั้งน้ำและออกซิเจนเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอน

รูปภาพเทคโนโลยี



การผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีแยกเมมเบรน

ต้นแบบระบบผลิตไฮโดรเจนโดยกระบวนการ Steam reformation จากก๊าซธรรมชาติ

3. เทคโนโลยีส่วนเสริม(4 เทคโนโลยี)

1) เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานทางด้านเคมี (Chemical Energy Storage)
   - แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
   - แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์
   - รีดอกซ์แบตเตอรี่
2) เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล (Flywheel Energy Storage)
3) ระบบโครงข่ายสำหรับส่งไฟฟ้าอัจฉริยะแบบครบวงจรโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล (Smart Grid)
4) เทคโนโลยีระบบสำรองไฟฟ้า (UPS)

3.1 Chemical Energy Storage

ความหมาย:

เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่อาศัยแบตเตอรี่ เป็นตัวกักเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่จะมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่ เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่ที่ได้รับความสนใจในการพัฒนา คือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์ และ รีดอกซ์แบตเตอรี่

หลักการทำงาน :

โดยแบตเตอรี่ที่ได้รับความสนใจในการพัฒนา คือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์ และ รีดอกซ์แบตเตอรี่ โดยหน้าที่ของแบตเตอรี่จะมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าและพลังงานทดแทนได้ ทั้งนี้แบตเตอรี่จะอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี โดยแบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ การคายประจุ (Discharge) และการอัดประจุ (charge) แสดงดังสมการข้างล่างนี้

เทคโนโลยี แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ขั้วแอโนด : $xLi^+ + xe^- + 6C \rightleftharpoons Li_xC_6$

ขั้วคาโทด : $LiCoO_2 \rightleftharpoons Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^-$

เทคโนโลยี แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์

ขั้วแอโนด : $16Li^+ \rightleftharpoons 16e^- + 16Li^+$

ขั้วคาโทด : $S_8 + 16e^- + 16Li^+ \rightleftharpoons 8Li_2S$

เทคโนโลยี รีดอกซ์แบตเตอรี่

สารทำงานเป็นวาเนเดียม

ขั้วแอโนด : $V^{2+} \rightleftharpoons V^{3+} + e^-$

ขั้วคาโทด : $VO^+_2 + 2H^+ + e^- \rightleftharpoons VO^{2+} + H_2O$

สารทำงานเป็นซิงค์โบรไมด์

ขั้วแอโนด : $2Br^- \rightleftharpoons Br_2 + 2e^-$

ขั้วคาโทด : $Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$

รูปภาพเทคโนโลยี

แบตเตอร์รี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์

รีดอกซ์แบตเตอร์รี่

3.2 Flywheel Energy Storage

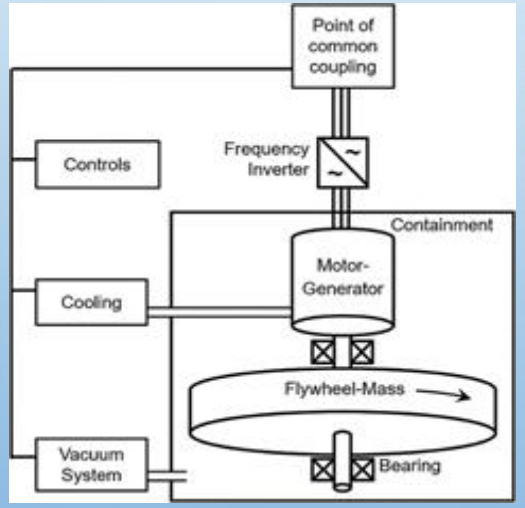
ความหมาย:

เป็นระบบกักเก็บพลังงานทางด้านพลังงานกล อุปกรณ์กักเก็บพลังงานแบบฟลายวีลจะประกอบด้วยตัวโรเตอร์ (Rotor) ที่เชื่อมต่อกับ กังหันฟลายวีล ตัวโรเตอร์ของฟลายวีลจะทำหน้าที่เสมือนมอเตอร์ไฟฟ้า และจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับให้เป็นพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ซึ่งตัว โรเตอร์จะหมุนที่ความเร็วสูงมาก และเพื่อลดพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทาน

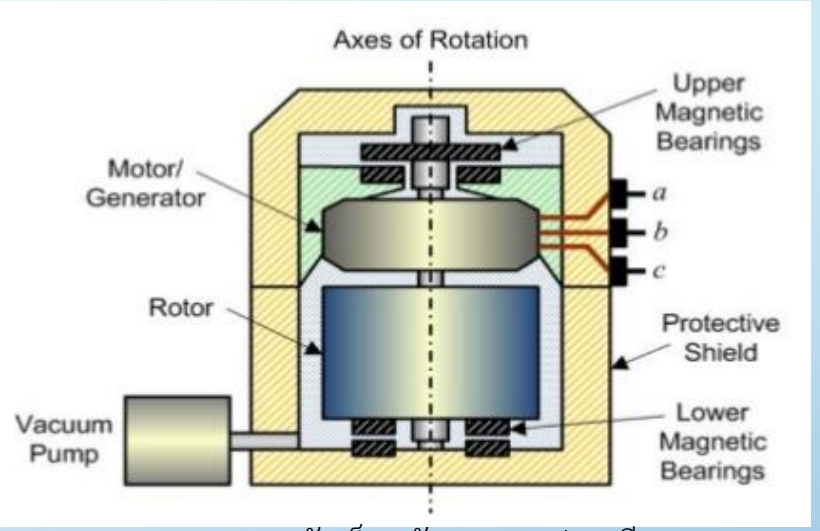
หลักการทำงาน :

ระบบกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล จะประกอบด้วยตัว Rotor ที่เชื่อมต่อกับกังหัน ฟลายวีล ตัวโรเตอร์ของฟลายวีลจะทำหน้าที่เสมือนมอเตอร์ไฟฟ้า และจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับให้เป็นพลังงานจลน์ โดยตัวโรเตอร์จะหมุนที่ความเร็วสูงมาก และเพื่อลดพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทาน ฟลายวีลจะถูกออกแบบให้

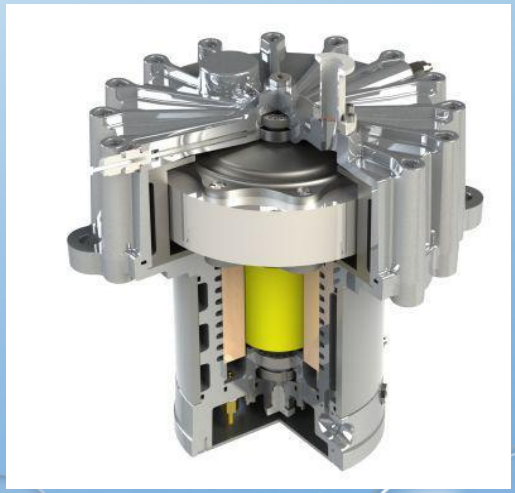
ทำงานในสภาวะสูญญากาศ ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์จะเพิ่มขึ้น ถ้าอุปกรณ์ฟลายวีลถูกชาร์จ ตัวฟลายวีลจะคงเก็บรักษาพลังงาน ถ้าระบบฟลายวีลยังคงหมุนที่ความเร็วสูง แต่เมื่ออุปกรณ์ฟลายวีลถูกใช้ให้เป็นแหล่งจ่ายเพื่อสนับสนุนความต้องการของโหลด ฟลายวีลจะลดความเร็วลงเข้าใกล้ศูนย์ในขณะนั้นเองพลังงานกลจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายกลับเข้าสู่ กริดไฟฟ้า



รูปภาพเทคโนโลยี



ระบบกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล



แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

3.3 Smart Grid

ความหมาย:

เป็นระบบที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ (ICT) ระบบเซ็นเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านการควบคุม อัตโนมัติ มาพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง และทำให้ระบบไฟฟ้า กำลังสามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่างๆ ในระบบมากขึ้น เพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติ

หลักการทำงาน :

ระบบSmart Grid มีเทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถตรวจวัด รับส่ง สัญญาข้อมูล และทางาน ระบบ ร่วมกับอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ โดยมีเทคโนโลยีในกลุ่มต่างๆ ได้แก่ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT), เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า, เทคโนโลยีการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ, เทคโนโลยีมิเตอร์อัจฉริยะ (AMI) และการปรับความต้องการไฟฟ้า (Demand Response) และเทคโนโลยีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า (EMS) โดยที่การคำนวณแบบกริด เป็นการคำนวณซึ่งเกิดจากการทำงาน ของคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสูงหลายเครื่องมาทำงานเชื่อมต่อกัน เพื่อให้ได้การประมวลผลที่มีประสิทธิภาพ ในการคำนวณที่ละเอียดซับซ้อน สมาร์ทกริดจึงทำงานคล้ายกับอินเทอร์เน็ตที่มีเราเตอร์ (Router) ในการเชื่อมต่อข้อมูล สมาร์ทกริด จะมีมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) ที่ปรับปรุงการอ่านค่าการใช้ไฟให้ละเอียดยิ่งขึ้น ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุม หรือตรวจวัด พลังงานภายในแต่ละสถานที่ของโครงข่าย ที่รับสัญญาณข้อมูลต่างๆ ทางด้านพลังงาน เพื่อเชื่อมต่อกับแหล่งไฟฟ้าภายในโครงข่าย และส่งสัญญาณโต้ตอบระหว่างผู้ให้บริการกับผู้ใช้ว่าการใช้พลังงานเป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่

รูปภาพเทคโนโลยี

เครือข่ายระบบ Smart Grid แบบครบวงจร

3.4 เทคโนโลยีเครื่องสำรองไฟ (UPS)

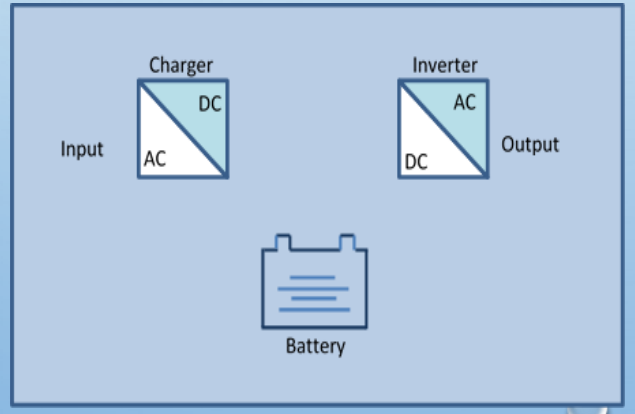
ความหมาย:

"เครื่องสำรองไฟฟ้าและปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ" หรือ แหล่งจ่ายพลังงานต่อเนื่อง UPS ถือเป็น อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อจ่ายไฟฟ้า สำรองจากแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ได้อย่างต่อเนื่องแม้ในเวลาที่เกิดไฟดับ หรือเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าผันผวนผิดปกติ โดย UPS จะทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์

หลักการทำงาน :

หลักการของ UPS ก็คือใช้วิธีการแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ส่วนหนึ่ง เมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า (เช่น ไฟดับ หรือ หรือคุณภาพไฟฟ้าผิดปกติ เป็นต้น) อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่รับมาได้ UPS ก็จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แล้วจึงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าตามปกติ ทั้งนี้ UPS มี 3 ประเภท ได้แก่ 1)

1) Offline UPS หรือ Standby UPS มีคุณสมบัติสำรองกระแสไฟฟ้า (ป้องกันไฟฟ้าดับ) ได้เพียงอย่างเดียว, **2) Online Protection UPS** มี ระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Stabilizer) ในขณะที่สภาวะไฟฟ้าปกติ และ **3) True Online UPS** เป็น UPS ที่มีศักยภาพ สูงสุด โดยสามารถป้องกันปัญหาทางไฟฟ้าได้ทุกกรณี



องค์ประกอบหลักของ UPS

รูปภาพเทคโนโลยี

UPS 3 เฟส เหมาะสำหรับอุปกรณ์ไอที อุปกรณ์สำนักงาน เครื่องจักรโรงงานอุตสาหกรรม

UPS 3 เฟส เหมาะสำหรับเครื่องจักรอุตสาหกรรม มีระบบป้องกันไฟไหลย้อน

ธรรมนูญ เตชะนา

นักวิชาการชำนาญการ

โทรศัพท์: 0-2141-9846 / 08-2897-6184

E-mail: thummanoon@tgo.or.th