เทคโนโลยีและศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก

อบก
TGO

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก
(องค์การมหาชน)

ดำเนินการผลิต

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภายใต้โครงการสำรวจเทคโนโลยีและศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก

ดำเนินการผลิตและเผยแพร่โดย :

สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 อาคารรัฐประศาสนภักดี ชั้น 9

เลขที่ 120 หมู่ที่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

โทรศัพท์ 02 141 9790 โทรสาร 02 143 8400

เว็บไซต์ http://www.tgo.or.th

คณะบรรณาธิการ

ดร.ปวีณา พาณิชยพิเชฐ

นางสาวศิริพร วิริยะตั้งสกุล

นายจักรพงษ์ แย้มยิ้ม

นางสาวจิตติมา บุญเกิด

นายภัทรภณ คล้ายกุล

บรรณาธิการ

ผศ.ดร.พฤกษ์ อักกะรังสี

นางสาวเพ็ญนภา ต้นรังกลาง

นายอลงกรณ์ ศิริพัฒน์

นายธนะศักดิ์ ศิริจันทร์

ดร.ณัฐวุฒิ จารุวสุพันธุ์

นายกฤษณ์ ลิขิตอนุรักษ์

นายณัฐพล ไชยแก้ว

นายชุมนัดภ์ มณีศิริ

คำนำ

เนื่องด้วยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ได้พัฒนากลไกโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นกลไกลดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างสมัครใจ และส่งเสริมให้มีการปรับตัวมุ่งสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low-carbon Society) และรองรับภารกิจข้อตกลงในการมีส่วนร่วมและมีเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคตหลังปีพ.ศ. 2563 ซึ่งการดำเนินงานที่ผ่านมามุ่งเน้นการพัฒนารูปแบบและระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER Methodology) ที่รองรับเทคโนโลยีที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลหรือรายละเอียดของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันและเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เป็นนวัตกรรมเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำ/มีประสิทธิภาพสูงขึ้นที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ยังไม่มีการรวบรวมเป็นหลักแหล่งที่ชัดเจน ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้จะเอื้อต่อการนำไปสู่การปรับปรุงเทคโนโลยีที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ปล่อยก๊าซเรือนกระที่น้อยลง และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

ดังนั้น อบก.จึงมอบหมายให้สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดำเนินการสำรวจเทคโนโลยีและศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเภทของโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น พลังงานทดแทน การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การจัดการของเสีย ให้ครอบคลุมเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (Short-term และ Long-term) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการในการกำหนดลำดับความสำคัญในการเลือกใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งสามารถวางแผนงานและแผนเงินสำหรับการเลือกใช้เทคโนโลยีตามยุคสมัยที่เปลี่ยนไปได้อย่างเหมาะสมกับบริบทขององค์กรและธุรกิจต่อไป ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ประกอบการ และมองเห็นศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในอนาคตมากยิ่งขึ้น

สารบัญ

หน้า

สรุปโครงการโดยย่อ **4**

คำอธิบาย **6**

1. เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน **10**

- **ด้านพลังงานทดแทน และการจัดการของเสีย**

1.1 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon 11

1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 12

1.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Channel Digester 13

1.4 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) 14

1.5 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) 15

1.6 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (Wind power) 16

1.7 เทคโนโลยีการผลิตชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า (Biomass for Electricity Generation) 17

1.8 เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับโรงไฟฟ้า (Incinerator for Power Plant) 18

1.9 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower Plant) 20

1.10 เทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF) 21

- **ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน**

1.11 เทคโนโลยีการนำพลังงานสูญเสีย (Heat loss) กลับมาทำประโยชน์ 22

1.12 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น (Chiller) 23

1.13 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อน (Boiler) 24

1.14 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง (LED) 25

1.15 เทคโนโลยี ORC เพื่อใช้งานในแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ 26

- **ด้านการขนส่ง**

1.16 เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันสำหรับยานยนต์ (Biodiesel for Vehicles) 27

1.17 รถไฟฟ้าระบบรางเพื่อการขนส่ง ทดแทนน้ำมันดีเซล (Railway Electrification System) 28

2. เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต **29**

- **ด้านพลังงานทดแทน และการจัดการของเสีย**

2.1 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบ CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) 30

2.2 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักแห้ง (Dry Fermentation) 31

2.3 เทคโนโลยีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบวัสดุเก็บเกี่ยวแสงอาทิตย์ (Perovskite) 32

2.4 เทคโนโลยีการเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem Solar Cells 33

2.5 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ (Full spectrum solar cell) 34

2.6 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Electricity) 35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล (Offshore wind farm) 36

2.8 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำ (Run-of-the-river plants (no reservoirs)) 37

2.9 การผลิตไฟฟ้าระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System) 38

2.10 เทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนและการนำไปใช้ประโยชน์ (Carbon Capture and Utilization: CCU) 39

- **ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน**

2.11 เทคโนโลยีระบบผลิตความร้อน โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อทดแทนระบบผลิตพลังงานแบบแยกส่วนแบบ Poly-Generation 40

2.12 เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็น โดยการผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึมโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Absorption chiller using solar heating) 41

2.13 เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ (Heat pump using low temp waste) 42

2.14 เทคโนโลยีการใช้มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่าน (Brushless DC Motor) 43

2.15 เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน (Wind Hydrogen Hybrid) 44

- **ด้านการขนส่ง**

2.16 เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนรถยนต์ไฟฟ้าทดแทนน้ำมันดีเซล (Electric Car) 45

2.17 เทคโนโลยีรถไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน (Electric Bus) 46

2.18 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัดเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ (Compressed Biomethane Gas: CBG) 47

2.19 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อทดแทนการใช้น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ (Hydrogen Fuel Cell) 48

3. เทคโนโลยีส่วนเสริม 49

3.1 เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานทางด้านเคมี (Chemical Energy Storage) 50

3.2 เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล (Flywheel Energy Storage) 51

3.3 ระบบโครงข่ายสำหรับส่งไฟฟ้าอัจฉริยะแบบครบวงจรโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล (Smart Grid system) 52

3.4 เทคโนโลยีเครื่องสำรองไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Uninterruptible Power Supply: UPS) 53

สรุปโครงการอย่างย่อ

โครงการสำรวจเทคโนโลยีและศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก เริ่มดำเนินงานตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2560 จึงถึงเดือนสิงหาคม 2561 รวมใช้ระยะเวลาดำเนินงานทั้งสิ้น 10 เดือน ทำการสำรวจเทคโนโลยีจำนวนทั้งสิ้น 40 เทคโนโลยี โดยแบ่งออกเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน จำนวน 17 เทคโนโลยี เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต จำนวน 19 เทคโนโลยี และเทคโนโลยีส่วนเสริม จำนวน 4 เทคโนโลยี ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

1) เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน จำนวนทั้งสิ้น 17 เทคโนโลยี

- ด้านพลังงานทดแทนและการจัดการของเสีย มีจำนวน 10 เทคโนโลยี
- ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพ จำนวน 5 เทคโนโลยี
- ด้านการขนส่ง จำนวน 2 เทคโนโลยี

เทคโนโลยีส่วนใหญ่มีศักยภาพในระดับ TRL level 9 คือ เทคโนโลยีได้รับการยอมรับและมีการนำไปใช้งานอย่างต่อเนื่องในตลาดหรือมีการใช้งานในเชิงสาธารณะประโยชน์ หรือในระดับเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย และในหลายๆ เทคโนโลยีสามารถที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากขึ้น

2) เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต จำนวนทั้งสิ้น 19 เทคโนโลยี

- ด้านพลังงานทดแทนและการจัดการของเสีย มีจำนวน 10 เทคโนโลยี
- ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพ จำนวน 5 เทคโนโลยี
- ด้านการขนส่ง จำนวน 4 เทคโนโลยี

ทั้งนี้ในส่วนที่คาดว่าจะมีการนำเทคโนโลยีไปใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในทุกภาคส่วน เป็นออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะสั้น 1-5 ปี (Short Term) ระยะกลาง 6-10 ปี (Medium Term) และระยะยาว คือกมากกว่า 10 ปี (Long Term) จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าว พบว่า

- มีเทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระยะสั้น (1-5 ปีข้างหน้า) จำนวน 10 เทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ แบบ CSTR และ Dry Fermentation, เทคโนโลยีการผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Electricity), เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำ, เทคโนโลยีระบบผลิตความร้อนโดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อทดแทนระบบผลิตพลังงานแบบแยกส่วนแบบ (Polygeneration) , เทคโนโลยีการใช้มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่านประสิทธิภาพสูง, เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน, รถยนต์ไฟฟ้า (EV car), รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน (EV Bus) และเทคโนโลยี CBG
- เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระยะกลาง (6-10 ปีข้างหน้า) จำนวน 7 เทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบวัสดุเก็บเกี่ยวแสงอาทิตย์ Perovskite, Full spectrum solar cell, เทคโนโลยีการผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากการติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล, เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากระบบผสมผสานระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง, เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึมโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์, เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ และ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ

- เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระยะยาว (มากกว่า 10 ปีข้างหน้า) จำนวน 2 เทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีการเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem Solar Cells และเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนและการนำไปใช้ประโยชน์

3) เทคโนโลยีส่วนเสริม

มีทั้งสิ้นจำนวน 4 เทคโนโลยี โดยพบว่า ระบบ Smart Grid และแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน มีศักยภาพความพร้อมอยู่ในระดับ 9 และ 8 ตามลำดับ และคาดว่าจะมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายภายในระยะเวลาสั้น (Short Term), แบตเตอร์รี่แบบลิเทียมซัลเฟอร์ศักยภาพความพร้อมอยู่ในระดับ 5 และคาดว่าจะมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายภายในระยะเวลามากกว่า 10 ปีข้างหน้า (long Term), รีดอกซ์แบตเตอร์รี่ศักยภาพความพร้อมอยู่ในระดับ 7 และคาดว่าจะมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายภายในระยะเวลา 5-10 ปีข้างหน้า (Medium Term) ส่วนเครื่องสำรองไฟฟ้า UPS ประสิทธิภาพสูง มีศักยภาพความพร้อมอยู่ในระดับ 9 และมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

คำอธิบาย

รายการ	คำอธิบาย
1. ความหมาย	อธิบายความหมายของแต่ละเทคโนโลยี วัตถุประสงค์การใช้ และแนวทางการนำไปใช้เบื้องต้น
2. กระบวนการ/หลักการทำงาน	อธิบายถึงกระบวนการทำงาน (Process) หรือหลักการทำงานของแต่ละเทคโนโลยีเบื้องต้น ตั้งแต่แหล่งวัตถุดิบ จนถึงกระบวนการนำไปใช้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ทราบถึงวิธีการใช้ ประโยชน์ที่ได้รับ และแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. รูปภาพเทคโนโลยี	ใส่รูปภาพในลักษณะของแบบจำลองหรือภาพจริง ตามลักษณะของเทคโนโลยีนั้นๆ
4. ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	▪ ศึกษาระดับ TRL (Technology Readiness Levels) ซึ่งมีอยู่ 9 ระดับ โดยใช้วิธีการวัดของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งานสู่อุตสาหกรรม ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบ องค์ประกอบสำคัญ อุปกรณ์ และกระบวนการทำงานทั้งระบบ ก่อนที่จะมีการบูรณาการเทคโนโลยีเป็นระบบ อันจะนำมาสู่ผลกระทบที่สำคัญทางเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต อธิบายเพิ่มเติมได้ดัง (1) ▪ ศึกษาข้อดี ข้อจำกัด และแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีอันจะนำไปสู่การมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในอนาคต ▪ คาดคะแนวโน้วที่คาดว่าจะมีการใช้อย่างแพร่หลายในอนาคตข้างหน้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ Short-Term, Medium-Term และ Long-Term อธิบายเพิ่มเติมได้ดัง (2)
5. ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	▪ ใช้สมมติฐานบนพื้นฐานของข้อมูลจากการทำการสำรวจเทคโนโลยี ▪ ทำการประเมินโดยใช้แนวทางการประเมินตามระเบียบวิธีของโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และแนวทางของ IPCC
6. เงินลงทุน	ข้อมูลมาจากการประเมินหรือประมาณการจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีนั้นๆ และ/หรือเอกสารวารสาร/จากแหล่งที่เชื่อถือได้ และ/หรือข้อมูลจากพื้นที่จริงที่มีการใช้เทคโนโลยีนั้นๆ อยู่
7. แหล่งข้อมูลอ้างอิง	เนื้อหาการสำรวจข้อมูล และรูปภาพเทคโนโลยี ได้นำมาจากแหล่งทางวิชาการที่เชื่อถือได้ และได้ทำการอ้างถึงแหล่งที่มาของข้อมูลไว้ในเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

(1) ระดับ TRL (Technology Readiness Levels)

TRL 1 : หลักการพื้นฐานได้รับการพิจารณาและมีการรายงาน

คำอธิบาย: มีการพิจารณาหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ โดยมีการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature review/priorart)

เอกสารประกอบ:

- เอกสารรวบรวมและเอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีดังกล่าวที่เคยมีในอดีต โดยระบุอ้างอิงว่ามีใคร ทำการศึกษาเรื่องอะไร ได้ผลอย่างไร ที่ใดและเมื่อใด (literature review/prior art)

TRL 2 : มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้

คำอธิบาย: เริ่มทำการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อยืนยันหลักการพื้นฐานทางเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ โดยยังไม่มีการพิสูจน์หรือวิเคราะห์ในรายละเอียดเพื่อสนับสนุนสมมติฐาน

เอกสารประกอบ:

- แนวคิด/การประยุกต์ใช้ของเทคโนโลยี ขอบเขตงานวิจัย ซึ่งมีการกำหนดรายละเอียดทางเทคนิค (specification) อย่างชัดเจน
- บทวิเคราะห์อ้างอิงผลงานตีพิมพ์หรือเอกสารที่สนับสนุนความไปได้ของของแนวคิด/การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ความจำเป็นหรือประโยชน์ในการทำวิจัย และระบุ technical challenge ว่างานชิ้นนี้มีความยาก ความท้าทาย และความใหม่อย่างไร

TRL 3 : แนวคิดได้ถูกสาธิตด้วยการวิเคราะห์หรือด้วยการทดลอง

คำอธิบาย: มีผลการศึกษาวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ว่าหลักการนั้นเป็นไปได้ (proof-of-concept) โดยอาจเป็นการวิเคราะห์ หรือด้วยการทดลอง

เอกสารประกอบ:

- บันทึกผลการวิเคราะห์ หรือผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวคิดนั้นเป็นไปได้ (proof-of-concept) หรือแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองน่าจะเป็นไปตามที่คาดการณ์

TRL 4 : องค์ประกอบที่สำคัญได้ถูกสาธิตในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว

คำอธิบาย: องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกประกอบเข้ากันเพื่อให้ชิ้นส่วนทางานด้วยกันได้ และต้นแบบผ่านการสาธิตในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่อง รวมทั้งแสดงให้เห็นมุมมองของการทำงานหลักๆ ของต้นแบบว่าสามารถทำงานได้ตามที่คาดหวังได้

เอกสารประกอบ:

- วิธีการทดลอง และผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่สอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน

TRL 5 : องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกสาธิตในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

คำอธิบาย: องค์ประกอบที่สาคัญได้ถูกประกอบเข้ากันด้วยองค์ประกอบที่สนับสนุนจริง เพื่อให้เทคโนโลยีสามารถถูกทดสอบและสาธิตในสภาวะที่เลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริง

เอกสารประกอบ:

- วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบย่อย/องค์ประกอบสำคัญซึ่งถูกประกอบเข้ากันกับองค์ประกอบสนับสนุนอื่นๆ ในสภาวะแวดล้อมที่เลียนแบบ โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน
- มีการระบุความแตกต่างของสภาวะแวดล้อมที่เลียนแบบหรือการสร้างแบบจำลองที่คาดหวังในระบบคอมพิวเตอร์กับสภาวะแวดล้อมการทำงานจริงที่คาดหวัง

TRL 6 : ตัวแทนสิ่งที่จะส่งมอบ ได้ถูกสาธิตในสภาวะที่เกี่ยวข้อง

คำอธิบาย: ตัวแทนสิ่งที่จะส่งมอบ (ต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว) ได้ถูกทดสอบและสาธิตในสภาวะที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสภาวะที่เกี่ยวข้อง(relevant environment) หมายถึง ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบ ได้ถูกควบคุมให้เหมือนกับสภาวะทำงานจริง

เอกสารประกอบ:

- วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบต้นแบบ (prototype system) ในสภาวะที่เกี่ยวข้อง โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน
- มีการระบุว่าสภาวะแวดล้อมที่ทดสอบ (test environment) แตกต่างจากสภาวะแวดล้อมการทำงานจริง (operational environment) อย่างไร

TRL 7 : ผลของการพัฒนาขั้นสุดท้าย ได้ถูกสาธิตในสภาวะทำงานจริง

คำอธิบาย: ผลของการพัฒนาขั้นสุดท้ายผ่านการสาธิตในสภาวะทำงานจริง ซึ่งสภาวะทำงานจริง (operational environment) หมายถึงสภาพแวดล้อมจริงในการทำงานของระบบ ซึ่งไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบได้

เอกสารประกอบ:

- วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบต้นแบบ (prototype system) ในสภาวะแวดล้อมการทำงานจริง (operational environment) ที่สอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน
- ระบุผู้ทดสอบที่เชื่อถือได้ เช่น หน่วยงานคู่สัญญา หรือวิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้ เช่นสามารถอ้างอิงกับหลักการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

TRL 8 : สิ่งที่ส่งมอบจริง ได้ผ่านการทดสอบและสาธิต

คำอธิบาย: ต้นแบบผ่านการทดสอบคุณภาพการใช้งาน และมาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า / ผู้ใช้งาน หรือถูกบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้ใช้งานแล้ว

เอกสารประกอบ:

- วิธีการทดสอบ และผลการทดสอบการทำงานของระบบที่ประกอบเข้ากับระบบเดิมที่มีอยู่แล้วอย่างครบวงจร ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง โดยผลการทดสอบต้องสอดคล้องกับความต้องการในเชิงปฏิบัติงานจริงที่คาดหวัง
- ผลการทดสอบคุณภาพ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ถ้ามี) มีความน่าเชื่อถือและอ้างอิงได้ หรือตรวจสอบด้วยหน่วยงานภายนอกที่เป็นตัวแทนการควบคุมมาตรฐานนั้นๆ

TRL 9 : การใช้งานของสิ่งที่ส่งมอบ

คำอธิบาย: เทคโนโลยีหรือผลิตภัณฑ์ถูกนาไปใช้งานจริง และติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม โดยหากมีข้อบกพร่อง ต้องดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย

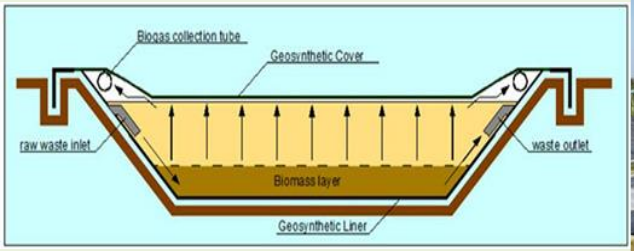
เอกสารประกอบ:

- ข้อมูลป้อนกลับจากการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสมโดยผู้ใช้งานจริง ซึ่งประกอบด้วยการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน หรือ จดหมายรับรองว่า มีการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้จริงอย่างต่อเนื่องในตลาดหรือมีการใช้งานในเชิงสาธารณประโยชน์ หรือหลักฐานอื่นที่แสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้งานจริงและได้รับการยอมรับ

(2) ระยะเวลาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต แยกออกเป็น 3 ระดับ คือ

- Short – Term หมายถึง ระยะเวลาที่คาดว่าเทคโนโลยีจะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างแพร่หลายภายใน 1-5 ปีข้างหน้า
- Medium – Term หมายถึง ระยะเวลาที่คาดว่าเทคโนโลยีจะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างแพร่หลายภายใน 6-10 ปีข้างหน้า
- Long – Term คือ ระยะเวลาที่คาดว่าเทคโนโลยีจะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างแพร่หลายมากกว่า 10 ปีข้างหน้า

1. เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ปัจจัย	1.1 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon
ความหมาย	เป็นการบำบัดของเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย/ของเสีย เกิดเป็นก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ของกระบวนการ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทนได้ต่อไป องค์ประกอบของระบบ เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน น้ำเสีย/ของเสียจะถูกนำมาเก็บกักในบ่อที่เป็นระบบปิดซึ่งคลุมด้วยแผ่นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและกันน้ำ เพื่อสร้างสภาวะไร้ออกซิเจนภายในบ่อและเก็บกักก๊าซชีวภาพจากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์
หลักการทำงาน	น้ำเสีย/ของเสียจะถูกกักเก็บในบ่อปิด เพื่อให้สารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time) สำหรับน้ำเสีย/ของเสียที่มีค่าความเข้มข้นของแข็งระหว่าง 0.5-5% (5,000-50,000 มก./ล) อยู่ในช่วง 30-50 วัน [2] รูปแบบของระบบคือใช้แผ่นพลาสติกที่มีคุณสมบัติในการกันซึมและลอยน้ำได้ คลุมบนบ่อ โดยการยึดขอบแผ่นโดยรอบเข้ากับทุ่นลอยน้ำ หรือโยงยึดด้วยเชือกเข้ากับแท่นคอนกรีตที่วางตามขอบบ่อเพื่อตรึงให้อยู่กับที่ ส่วนชายแผ่นพลาสติกที่ยาวเลยทุ่นลอยน้ำจะถ่วงด้วยน้ำหนักเพื่อให้มีลักษณะเป็นเสมือนม่านใต้ผิวน้ำ เพื่อการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในบ่อ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยการต่อท่อนำก๊าซเข้าไปข้างใต้แผ่นพลาสติกภายในบ่อ
รูปภาพ	 ระบบบำบัด Covered Lagoon

ศักยภาพของเทคโนโลยี

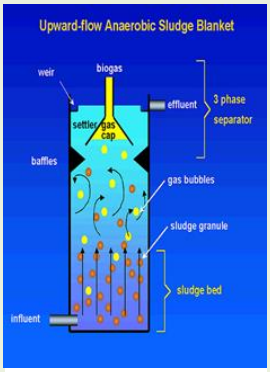
TRL: Level 9

ข้อดี	ข้อจำกัด	แนวทางพัฒนา
☐ ระบบสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของน้ำเสีย ☐ บ่อที่มีการกระจายน้ำเข้าบริเวณใต้พื้นบ่ออย่างสม่ำเสมอ จะเกิดการผสมผสานของตะกอนแบคทีเรียและสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ดี ☐ การก่อสร้าง เดินระบบ และบำรุงรักษาง่าย ไม่ซับซ้อน	☐ มีการสะสมของตะกอนส่วนเกินภายในบ่อเมื่อใช้ไปได้ระยะหนึ่ง เป็นระบบที่ใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ☐ ต้องการระบบบำบัดขั้นหลังเพื่อบัดน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักให้มีคุณภาพต่อไป ☐ พลาสติกคลุมบ่อมีขนาดใหญ่ อาจเกิดการฉีกขาดได้ง่าย	☐ ปรับปรุงรูปแบบการกระจายน้ำเข้าบ่อหมักให้ทั่วถึงยิ่งขึ้น ☐ พัฒนาระบบดึงกากตะกอนส่วนเกิน หรือวิจัยและพัฒนากลไกคัดเลือกตะกอนในบ่อหมักให้ทำงานกับสภาวะและของเสียที่ไม่พึงประสงค์ได้ดียิ่งขึ้น ☐ เพิ่มช่องทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
☐ น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กำลังการผลิต 45 ตัน/ชั่วโมง จำนวนวันผลิต 330 วัน/ปี ☐ ปริมาณน้ำเสีย 540 m^3/day มีค่า COD ขาเข้าเฉลี่ย 70,000 mg/l ☐ ค่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มีค่าเฉลี่ย 10,500 mg/l ☐ เทคโนโลยีแบบ Covered Lagoon ขนาด 40,000 ลบ.ม. ☐ เงินลงทุนโครงการ 40,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี	T-VER-METH-WM-01
	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้
	41,245 tCO_2e/year
	ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e
	64.65 บาท/tCO_2e

เงินลงทุน	ประมาณ 2,000-5,000 บาท/ลบ.ม.ของบ่อหมัก

ปัจจัย	1.2 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
ความหมาย	ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic) คิดค้นขึ้นโดย Prof. Gatze Lettinga แห่งมหาวิทยาลัย Wageningen ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ระบบนี้จะอาศัยตะกอนจุลชีพที่แขวนลอยในถังปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบอื่นๆ และสามารถใช้งานกับน้ำเสียหลากหลายชนิด
หลักการทำงาน	น้ำเสียที่บำบัดโดยถังปฏิกิริยาแบบ UASB จะถูกจ่ายเข้าทางด้านล่างของถังน้ำเสียและจะค่อยๆ ไหลขึ้นผ่านชั้นเม็ดตะกอน สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกใช้เป็นอาหารสำหรับตะกอนจุลชีพที่แขวนลอยในถังปฏิกิริยา ซึ่งถูกกักเก็บไว้ในถังปฏิกิริยา ชั้นตะกอนมีความสูงประมาณ 4-7.5 เมตรจนเกิดเป็นเม็ดตะกอน (Granular Sludge) ขนาด 1-5 มม. เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนจะเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น ซึ่งจะช่วยในการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ ด้านบนของถังปฏิกิริยาจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator (GSS) ทำหน้าที่แยกก๊าซ ตะกอนแบคทีเรีย และน้ำทิ้งออกจากกัน น้ำทิ้งจะระบายออกไป ก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีก๊าซมีเทนอยู่ประมาณร้อยละ 50-85 ตะกอนแบคทีเรียจะตกกลับลงไปส่วนล่างของถังปฏิกิริยาทับถมเป็นชั้นตะกอนต่อไป
รูปภาพ	 ถังปฏิกิริยา ระบบ UASB
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ มีความต้องการพลังงานต่ำ ☐ ไม่ต้องใช้สารตัวกลางสำหรับให้แบคทีเรียเกาะ ☐ เกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อย ☐ สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง ☐ กำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้ดี ☐ สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการและพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิม **ข้อจำกัด** ☐ ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการกวนผสมในถัง ☐ ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ค่อนข้างนาน ☐ ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเป็นพิษและมีกรดไขมันระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก สารเคมีที่เป็นพิษ ควรใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน โดยให้ถังปฏิกิริยา UASB ทำหน้าที่เป็นถังสร้างมีเทน ☐ พัฒนาอุปกรณ์ Gas Solid Separator ของถังปฏิกิริยา UASB เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก ☐ ภาครัฐควรมีการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง จำนวนวันที่ผลิต 330 วัน/ปี ☐ ปริมาณน้ำเสีย 3,000 m^3/day มีค่า COD เฉลี่ย 30,000 mg/l ☐ เทคโนโลยีแบบ USAB ขนาด 25,000 ลบ.ม. ☐ ค่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มีค่าเฉลี่ย 4,500 mg/l ☐ เงินลงทุนโครงการ 125,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-WM-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 98,203 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 84.86 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	อยู่ระหว่าง 4,000-8,000 บาท/ลบ.ม.ถังหมัก

ปัจจัย	1.3 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักราง (Channel Digester: CD)
ความหมาย	เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักราง เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการจัดการของเสีย ฟาร์มปศุสัตว์ จัดอยู่ประเภทบ่อหมักแบบช้า มีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการบังคับการไหลของน้ำเสียให้ไหลไปตามแนว ยาวของบ่อ (Plug flow) หรือมีลักษณะคล้ายรางน้ำ เพื่อส่งน้ำจากหัวบ่อไปท้ายบ่อ โดยด้านบนของบ่อจะติดตั้งแผ่นพลาสติกพีวีซี สำหรับ กักเก็บก๊าซชีวภาพ ส่วนด้านล่างของบ่อจะมีท่อสำหรับดึงกากและตะกอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือตะกอนส่วนเกินออกจากบ่อตลอด ความยาวของบ่อ
หลักการทำงาน	บ่อหมักแบบราง (Channel Digester, CD) เป็นบ่อหมักที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยน้ำเสียภายในบ่อหมักรางจะถูกบังคับทิศทางการไหลจากด้านหัวบ่อมายังด้านท้ายบ่อตามแนวความยาวของบ่อหมักแบบราง ผลพลอยได้จากกระบวนการหมักย่อยคือก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บกักไว้ภายใต้ผืนพลาสติกคลุมบ่อ ก่อนที่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป บริเวณก้นบ่อหมักจะติดตั้งท่อดึงกากไว้เป็นจุดๆ ตามแนวยาวของบ่อหมัก เพื่อนำตะกอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้แล้วออกจากบ่อหมักและนำไปตากยังลานตากตะกอนต่อไป
รูปภาพ	ระบบ CD
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ เป็นแหล่งพลังงานราคาถูก ☐ ระบบแข็งแรง ทนทาน มีอายุใช้งานยาวนาน และบำรุงรักษาง่าย ☐ สามารถรองรับขยะ/น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงได้ **ข้อจำกัด** ☐ ใช้พื้นที่มาก ☐ แรงดันก๊าซที่ได้มีค่าต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มแรงดัน ☐ แผ่นพลาสติกที่ใช้คลุมบ่อหมักอาจฉีกขาด และมีอายุการใช้งานสั้น **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมีการพัฒนาระบบแยกเศษวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายออกได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ น้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยมีสุกรขุน จำนวน 5,000 ตัว ☐ เทคโนโลยีแบบบ่อหมักราง CMU-CD ขนาด 1,000 m^3 ☐ ค่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มีค่าเฉลี่ย 800 mg/l ☐ เงินลงทุนโครงการ 3,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-WM-08 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 4,400 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 45.44 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ประมาณ 3,000 บาท/ลบ.ม.ถังหมัก

ปัจจัย	1.4 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)
ความหมาย	โซลาร์เซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงตกกระทบกับเซลล์วัสดุจะเกิดการดูดซับพลังงานไว้ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซมิคอนดักเตอร์จะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและเคลื่อนที่อย่างอิสระ การเคลื่อนที่หรือการไหลของอิเล็กตรอนก็คือ การไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นขณะทำงานก็คือ กำลังไฟฟ้าที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตได้และมีวัตถุประสงค์ในการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า
หลักการทำงาน	เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าจำหน่ายแก่การไฟฟ้าโดยตรง เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายระบบไฟฟ้าเข้าถึง Solar Cell → Inverter → Grid connected
รูปภาพ	โซล่าฟาร์ม จ.ปราจีนบุรี โซล่าฟาร์ม จ.พระนครศรีอยุธยา
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	TRL: Level 9

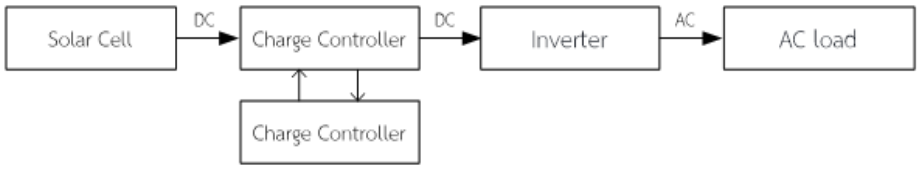
ข้อดี	ข้อจำกัด	แนวทางพัฒนา
☐ เป็นพลังงานสะอาดและมีศักยภาพสูง ☐ เป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ☐ การดูแลรักษาไม่ซับซ้อนมากนัก ☐ สามารถสร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาด	☐ ใช้เงินลงทุนสูง ☐ ปริมาณไฟฟ้ามักเกินกำลังการผลิตระบบสายส่งไม่เพียงพอ ☐ พลังงานที่ผลิตได้ไม่คงที่เพราะต้องขึ้นกับสภาพอากาศ ☐ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานสั้น	☐ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์ ☐ พัฒนาระบบสายส่งให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ผลิต ☐ ควรมีระบบกำจัดแผงโซล่าร์รองรับในอนาคต

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

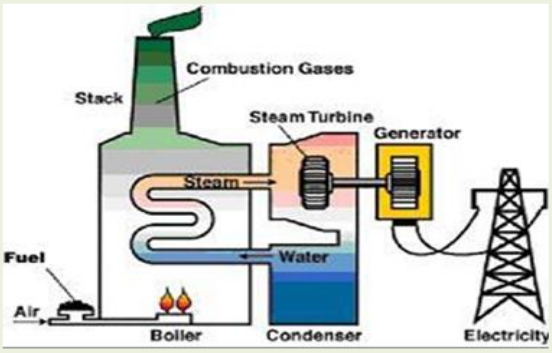
สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
☐ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic module) ขนาด 250 วัตต์/แผง ☐ จำนวน 508,794 แผง ☐ กำลังการผลิตติดตั้งรวม 126.126 MW ☐ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ 169,204,539 kWh/ปี ☐ ดำเนินการผลิต 365 วันต่อปี ☐ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ☐ เงินลงทุนโครงการ 7,000 ล้านบาท ☐ อายุโครงการ 20 ปี	T-VER-METH-AE-01
	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้
	95,862 tCO_2e/year
	ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e
	3,651.07 บาท/tCO_2e

เงินลงทุน

☐ การลงทุน Solar Farm Grid Connected System อยู่ที่ 110 - 120 บาท/วัตต์
☐ การลงทุน PV Rooftop Grid Connected System อยู่ที่ 60 บาท/วัตต์

ปัจจัย	1.5 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system)
ความหมาย	โซลาร์เซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงตกกระทบกับเซลล์วัสดุจะเกิดการดูดซับพลังงานไว้ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซมิคอนดักเตอร์จะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและเคลื่อนที่อย่างอิสระ การเคลื่อนที่หรือการไหลของอิเล็กตรอนก็คือ การไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นขณะทำงานก็คือ กำลังไฟฟ้าที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตได้โดยมีวัตถุประสงค์ในการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้เอง
หลักการทำงาน	หลักการทำงานคือ เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ประจุจะเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นตัวควบคุม ในขณะที่ต้องการใช้ภาระทางไฟฟ้าแบตเตอรี่จะจ่ายไฟให้กับภาระทางไฟฟ้าโดยมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า 
รูปภาพ	 Solar PV Rooftop จ.สกลนคร โซลาร์เซลล์โรงเรียนศรีแสงธรรม จ.ประจวบคีรีขันธ์
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่สายส่งไปไม่ถึง ☐ มีแบตเตอรี่เพื่อสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในยามกลางคืน **ข้อจำกัด** ☐ ราคาเริ่มต้นหรือเงินลงทุนแรกของระบบมีราคาสูง ☐ พลังงานที่ผลิตได้ไม่คงที่เนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ **แนวทางพัฒนา** ☐ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยการลดอุณหภูมิของแผง
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PolyCrystalline) ขนาด 250 วัตต์/แผง จำนวน 200 แผง ☐ กำลังการผลิตรวม 50 kW ☐ พื้นที่ติดตั้ง 346.5 ตร.ม. ☐ ดำเนินการผลิต 365 วัน/ปี ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อปี 95,448 kWh/ปี ☐ ขนาดแบตเตอรี่ลูกละ 2V จำนวน 240 ลูก ☐ เงินลงทุนโครงการ 5,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 20 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-02 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 3 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 77,643.89 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	มูลค่าการลงทุนเฉลี่ย 100 บาท/วัตต์

ปัจจัย	1.6 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากลม (Wind Power)
ความหมาย	กังหันลมเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของกระแสลมให้เป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้นั้นมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ กังหันลมมีหลากหลายชนิดแตกต่างกันไปตามลักษณะและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ที่ใช้กันมากในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่ กังหันลมแบบใบกังหันไม้ กังหันลมใบเสื่อลำแพน หรือกังหันลมแบบใบกังหันหลายใบ
หลักการทำงาน	อาศัยหลักการทำงานคือ เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนรอบแกน พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนนั้น โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม สถานที่ติดตั้งกังหันลม และลักษณะเฉพาะของกังหันที่ใช้งาน (ความยาวของใบพัด/ขนาดห้องเครื่อง/ชนิดของตัวกักเก็บพลังงาน)
รูปภาพ	 กังหันลมที่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช กังหันลมที่ อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ เป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารก่อมลพิษอื่นๆ ☐ ดำเนินงานได้รวดเร็ว การติดตั้งหอคอยของกังหันลม ส่วนเชื่อมต่อกับปีกหมุนและใบพัดเหนือฐานคอนกรีตเสริมกำลังสามารถเสร็จสิ้นภายในเวลาไม่กี่สัปดาห์ ☐ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลา **ข้อจำกัด** ☐ ลมในประเทศไทยมีความเร็วค่อนข้างต่ำ เป็นเหตุให้ยังขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับศักยภาพลมในประเทศ ☐ พื้นที่ที่เหมาะสมในการทำฟาร์มกังหันลมมีอยู่จำกัด ☐ ต้องใช้แบตเตอรี่ราคาแพงเป็นแหล่งเก็บพลังงาน ☐ ต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ☐ อาจเกิดมลภาวะทางเสียงจากการทำงานของใบพัดกังหันลม **แนวทางพัฒนา** ☐ พัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศที่ไม่สูงมาก ☐ ศึกษาความเป็นไปได้ในพื้นที่อื่นของประเทศ นอกเหนือไปจากพื้นที่ทางชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนล่าง ☐ พัฒนาขนาดเสาให้เล็กลงแต่ยังคงประสิทธิภาพหรือมีประสิทธิดีกว่าเดิม
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ กังหันลมจำนวน 90 ต้น ผลิตไฟฟ้าได้ต้นละ 2.3 MW เพื่อทดแทนไฟฟ้าในระบบสายส่ง ☐ จำนวนวันที่ผลิต 365 วัน/ปี ☐ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ 451,800,000 kWh/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 13,053 ล้านบาท ☐ อายุโครงการ 20 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 254,593 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 2,407.18 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	การลงทุนเริ่มต้นของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในประเทศไทย (ขนาดกังหันลม 1.25 เมกะวัตต์) อยู่ที่ประมาณ 60 ล้านบาท และค่าการปฏิบัติการและซ่อมบำรุงอีกประมาณ 1 ล้านบาทต่อปี

ปัจจัย	1.7 เทคโนโลยีการผลิตชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า (Biomass for Electricity Generation)
ความหมาย	ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่ได้จากอินทรีย์สารของพืชและสัตว์ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยใช้กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 วิธีการหลัก ได้แก่ วิธีเคมีความร้อน วิธีชีวเคมี วิธีปฏิกิริยาเคมี โดยที่ชีวมวลที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตความร้อนและไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เศษวัสดุจากอุตสาหกรรมไม้แปรรูปและเฟอร์นิเจอร์ และชีวมวลจากไม้โตเร็ว
หลักการทำงาน	เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานเคมีให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนและไฟฟ้ามีหลายประเภท และมีกระบวนการดังนี้ เปลี่ยนรูปชีวมวลดังนี้ กระบวนการเตรียมชีวมวลก่อนการแปรรูปเป็นพลังงาน กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน และกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้กระบวนการเตรียมชีวมวลก่อนการแปรรูปเป็นพลังงานที่พบโดยทั่วไปได้แก่การลดขนาดโดยการตัด (Chipping) บด (Grinding) ทำให้เป็นผง (Pulverizing) อัดก้อน (Briquetting) หรืออัดเม็ด (Pelletizing) และการลดความชื้นโดยการตากแห้งหรืออบแห้ง เทคโนโลยีหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานความร้อนและไฟฟ้าโดยกระบวนการทางความร้อนเคมีได้แก่ เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Combustion) เทคโนโลยีหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ (Boiler and Steam turbine) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหรือแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) เทคโนโลยีการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และเทคโนโลยีการกำจัดมลพิษ (Emission and controls)
รูปภาพ	 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล โรงไฟฟ้าชีวมวล 9.9 MW จ.สงขลา
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ เป็นการลดขยะรวมถึงเพิ่มคุณค่าที่เหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรม ☐ มีกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล และไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก ☐ เชื้อเพลิงจากชีวมวลหาได้ง่ายและถูกกว่าเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ☐ สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้เองในประเทศ **ข้อจำกัด** ☐ เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง จึงเหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่ ☐ ถ้ามีการผลิตตั้งแต่ 10 MWขึ้นไป ต้องทำ EIA ☐ อาจเกิดปัญหาการแย่งวัตถุดิบในพื้นที่ **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมีการจัด Zoning แหล่งผลิตวัตถุดิบและโรงไฟฟ้าให้มีความสอดคล้องกัน ☐ การหาตลาดซื้อขายเชื้อเพลิงและกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ความมั่นใจกับผู้ใช้
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ผลิตไฟฟ้า 9.9 MW หรือประมาณ 78,408,000 หน่วย/ปี ☐ ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 111,000 ตัน/ปี หรือเฉลี่ย 337 ตัน/วัน ☐ เชื้อเพลิงเป็นเศษไม้แปรรูปไม้ยางพาราจากพื้นที่ใกล้เคียง (ไม่เกิน 200 กิโลเมตร) ☐ เงินลงทุนโครงการ 747 ล้านบาท ☐ อายุโครงการ 25 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 43,404 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 688.41 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	☐ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 7.5 MW ใช้เงินลงทุนประมาณ 140 ล้านบาท ☐ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.5 MW ใช้เงินลงทุนประมาณ 480 ล้านบาท ☐ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 23 MW ใช้เงินลงทุนประมาณ 1,600 ล้านบาท

ปัจจัย	1.8 เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับโรงไฟฟ้า (Incinerator for Power Plant)
ความหมาย	การเผาขยะมูลฝอย เป็นรูปแบบการจัดการขยะที่สามารถลดปริมาณขยะได้มากถึงร้อยละ 80-90 โดยอาศัยการควบคุมปริมาณอากาศหรือการใช้เชื้อเพลิงเสริม เพื่อให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้ อุณหภูมิ ความดัน เวลา และความปั่นป่วนที่เหมาะสม กับรูปแบบและขนาดของเตาเผาแต่ละประเภท โดยทั่วไปอุณหภูมิเผาไหม้ขั้นสุดท้าย ภายในเตา จะอยู่ในช่วงระหว่าง 850-1,200 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมมลพิษหลังการเผาไหม้ ซึ่งทำให้เกิดแก๊สและอนุภาคชนิดต่าง ๆ
หลักการทำงาน	ระบบการเผาไหม้ชนิดเตาเผาขยะชุมชน (Incineration) โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) ซึ่งเป็นระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยในสภาพที่รับเข้ามาโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นก่อน และระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยที่มีการจัดการเบื้องต้น (Burning of Preheated and Homogenized Waste) ซึ่งเป็นการเผาไหม้ขยะที่ต้องมีการจัดการเบื้องต้นก่อนการเผา โดยต้องมีการคัดแยก ลดขนาด บดตัด หรืออาจผลิตเป็น RDF ก่อนนำเข้าเตาเผา การเผาไหม้ของขยะมูลฝอยในเตาเผา มีหลักการทำงานอยู่ 2 ระบบคือ แบบใช้อากาศมาก (Excess Air) เป็นการเผาไหม้ขยะที่ใช้อากาศช่วยในการเผาไหม้ เหมาะกับขยะมูลฝอยที่ติดไฟได้ง่าย และไม่มีการเผาไหม้ที่รุนแรง และแบบใช้อากาศน้อย (Starved Air) เป็นการเผาไหม้ขยะที่ใช้อากาศช่วยในการเผาไหม้ในปริมาณที่จำกัด เหมาะกับการจัดการขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน เตาเผาแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) แบบตะกรับเคลื่อนที่ (Moving Grate) เป็นเตาขยะแบบเผาไหม้ มวลขยะมูลฝอย โดยขยะจะเผาไหม้อยู่บนตะกรับซึ่งทำหน้าที่เสมือนพื้นผิวด้านล่างของเตาที่เคลื่อนที่แบบขึ้นลง หรือเดินหน้าถอยหลัง 2) แบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) เป็นการเผาไหม้มวลของขยะมูลฝอย โดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกนและมีฉนวนหุ้มโดยรอบ โดยขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ เตาเผาแบบนี้สามารถเผาไหม้มูลฝอยที่มีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอได้สูง 3) แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ทำงานโดยอาศัย การเผาไหม้ร่วมกันของวัสดุที่เติมเข้าไปในเตาเพื่อช่วยในการเผา (bed) กับขยะมูลฝอย โดยวัสดุนี้จะช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องภายในเตา 4) แบบไพโรไลซิส ก๊าซซิฟิเคชั่น (pyrolysis gasification) จะใช้การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยจำกัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น แบบ Updraft, Downdraft, Fluid Bed และ Entrained Bed Gasifier โดยพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะสามารถนำมาใช้ผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตไฟฟ้าได้
รูปภาพ	 เตาเผาตะกอนชีวภาพแบบฟลูอิดไดซ์เบด ประเทศเยอรมันนี เตา Rotary kiln ประเทศญี่ปุ่น เตาเผาขยะโรงไฟฟ้า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เตาเผา Rotary kiln บริษัท Siam Service

ปัจจัย	1.8 เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับโรงไฟฟ้า (ต่อ)

ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี

Moving Grate: Level 8 | Rotary Kiln: Level 8
Fluidized Bed: Level 8 | Pyrolysis and Gasification: Level 7

ข้อดี	ข้อจำกัด	แนวทางพัฒนา
1. Moving Grate ☐ ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะชุมชนก่อนการเผา ☐ สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง ร้อยละ 85 **2. Rotary Kiln** ☐ ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะชุมชนก่อนการเผา ☐ ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง ร้อยละ 80 **3. Fluidized Bed** ☐ เงินลงทุนและค่าบำรุงรักษาเตาค่อนข้างต่ำ เนื่องจากออกแบบและติดตั้งได้ง่ายกว่าเตาชนิดอื่น ☐ สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง ร้อยละ 90 **4. Pyrolysis and Gasification** ☐ เงินลงทุนและค่าบำรุงรักษาเตาค่อนข้างต่ำ ☐ สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง ร้อยละ 90 ☐ สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้หลากหลาย ทั้งก๊าซเชื้อเพลิง, น้ำมันชีวภาพ และถ่านชาร์	**1. Moving Grate** ☐ ต้องใช้เงินลงทุนและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะกับการจัดการขยะที่มีปริมาณน้อยกว่า 500 ตัน/วัน **2. Rotary Kiln** ☐ ต้องใช้เงินลงทุนและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ☐ ความสามารถในการเผาทำลายขยะค่อนข้างน้อย คือ 20 ตัน/ชั่วโมง/เตา **3. Fluidized Bed** ☐ มีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะจึงต้องมีกระบวนการในการจัดการขยะหรือการคัดแยกก่อนส่งเข้าเตาเผา **4. Pyrolysis and Gasification** ☐ มีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะจึงต้องมีกระบวนการในการจัดการขยะหรือการคัดแยกก่อนส่งเข้าเตาเผา	☐ ควรมีการบริหารจัดการในเรื่องของปริมาณขยะ โดยให้สามารถนำเข้าขยะได้ไม่น้อยกว่า 500 ตัน/วัน ☐ พัฒนาเทคโนโลยีให้มีต้นทุนที่ถูกลง ☐ หน่วยที่เกี่ยวข้องควรมีการวางแผนแบบบูรณาการร่วมกันในการบริหารจัดการขยะของแต่ละพื้นที่นั้นๆ

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
☐ ขยะชุมชน 250 ตัน/วัน กำลังผลิตไฟฟ้า 7 MW ☐ เทคโนโลยีแบบ ash melting Gasification ☐ ทำงานต่อเนื่อง 24 ชม. 365 วัน/ปี ☐ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานนั้นจะคิดเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบสายส่งหมุนเวียน ซึ่งถูกทดแทนโดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงาน ☐ เงินลงทุนโครงการ 800,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี	T-VER-TOOL-WASTE-01 T-VER-METH-WM-02 T-VER-METH-AE-01
	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้
	39,658 tCO_2e/year
	ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e
	1,344.82 บาท/tCO_2e

เงินลงทุน

1. Moving Grate
☐ ขยะ 250 ตัน/วัน ผลิตไฟฟ้า 2.5 MW เงินลงทุนประมาณ 788,000,000 บาท

2. Rotary Kiln
☐ เตาเผาขนาด 50-1,000 กก./วัน เงินลงประมาณ 1,000,000 บาท

3. Fluidized Bed
☐ ขยะขนาด 400 ตัน/วัน เงินลงทุนประมาณ 800,000,000 บาท

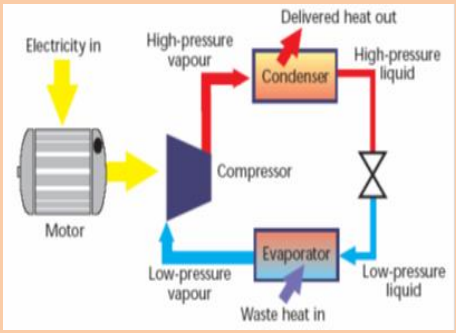
4. Pyrolysis and Gasification
☐ ขยะ 250 ตัน/วัน ผลิตไฟฟ้า 7 MW เงินลงทุนประมาณ 800,000,000 บาท

ปัจจัย	1.9 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower Plant)
ความหมาย	เป็นเทคโนโลยีการการเก็บพลังงานชนิดหนึ่งที่ใช้หลักการการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานศักย์โดยการใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า สูบน้ำไปเก็บไว้บนที่สูงจากนั้นปล่อยน้ำจากที่สูงผ่านกังหันน้ำจะได้กระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีการเก็บพลังงานชนิดนี้มีปริมาณการติดตั้งมากกว่าร้อยละ 99 ของทั้งโลก มีอายุการใช้งาน 40-60 ปี
หลักการทำงาน	โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำกลับเป็นโรงไฟฟ้าที่มีอ่างเก็บน้ำสองส่วนคือ อ่างเก็บน้ำส่วนบน (upper reservoir) และอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง (lower reservoir) น้ำจะถูกปล่อยจากอ่างเก็บน้ำส่วนบนลงมาเพื่อหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต้องการผลิตไฟฟ้าดังแสดงในภาพและในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำหรือน้อยลง จะใช้ไฟฟ้าที่เหลือจ่ายให้กับปั๊มน้ำขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ในอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง เพื่อสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำส่วนล่างนี้กลับขึ้นไปเก็บไว้ที่อ่างเก็บน้ำส่วนบนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป
รูปภาพ	 The Ludington Pumped Storage Plant โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ ลำตะคอง
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ มีอายุการใช้งานยาวนาน (40-60 ปี) ☐ นำไปใช้ในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน ช่วยให้ลดค่าการใช้พลังงานสูงสุด (Peak load) ของประเทศได้ ☐ มีอัตรา Self-discharge ต่ำ **ข้อจำกัด** ☐ ต้องทำลายสภาพแวดล้อมเดิมเพื่อสร้าง อ่างเก็บ น้ำ และเขื่อน ☐ มี Energy density ต่ำ **แนวทางพัฒนา** ☐ การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์การสูบน้ำกลับจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 250 MW จำนวน 4 เครื่อง รวมกำลังการผลิตติดตั้ง 1,000 MW ☐ เงินลงทุนโครงการ 21,800 ล้านบาท (เฉพาะโรงไฟฟ้า) ☐ อายุโครงการ 40 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 737,683 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 738.80 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	☐ 19,000- 64,000 บาท/kW

ปัจจัย	1.10 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)
ความหมาย	การจัดการขยะเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยการนำขยะที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาทำการปรับปรุงและแปลงสภาพทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพ ทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะที่มีคุณสมบัติด้านความร้อน (Heating Value) ความหนาแน่น ขนาด และความชื้น เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในอุตสาหกรรมการเผาไหม้ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน
หลักการทำงาน	**การผลิตเชื้อเพลิงขยะ:** ขยะมูลฝอยจะถูกลดขนาดเพื่อให้มีความสม่ำเสมอ จากนั้นขยะจะถูกร่อนเพื่อทำการคัดแยกขนาดขยะ โดยที่ขยะส่วนเบา เช่น กระดาษ พลาสติก และส่วนหนัก เช่น โลหะ จะถูกแยกโดยใช้อากาศ ซึ่งโลหะหนักจะใช้แม่เหล็กทำการแยกวัสดุที่เป็นเหล็กออกจากขยะ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการอบแห้งเพื่อลดความชื้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น Densified - RDF ต่อไป การลดขนาด → การร่อน → การคัดแยก → การอบแห้งและทำให้แน่น
รูปภาพ	 ศูนย์การเรียนรู้การผลิตเชื้อเพลิงขยะ จ.ปทุมธานี ต้นแบบเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะและปุ๋ยอินทรีย์ ม.สุรนารี
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 8** **ข้อดี** ☐ เชื้อเพลิงขยะมีค่าความร้อนสูงและมีค่าความชื้นต่ำ ☐ เป็นระบบเชื้อเพลิงที่จัดเก็บ ขนส่งสะดวก และส่งผลกระทบน้อย ☐ สามารถเก็บรักษาได้นาน ☐ ชุมชนสามารถดำเนินการเองได้ **ข้อจำกัด** ☐ เงินลงทุนในการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยค่อนข้างสูง ☐ ต้องมีระบบการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ดี ☐ ต้องมีระบบรองรับเพื่อนำแท่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ☐ ไม่มีการประกันราคา RDF **แนวทางพัฒนา** ☐ การใช้ชีวมวลที่มีโครงสร้างเป็นเส้นใย ทำหน้าที่เป็นตัวประสานยึด เกาะเชื้อเพลิงในขณะทำการอัดแท่ง ☐ พัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดขยะด้วยวิธีการแบบ MBT ให้มี Capacity 800 ตัน/วัน
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ การนำขยะมูลฝอยชุมชนมาผลิต RDF แทนการฝังกลบ โดยมีปริมาณขยะ 20 ตัน/วัน ☐ ใช้เทคโนโลยีกำจัดขยะ มูลฝอยแบบเติมอากาศโดยวิธีทางกลและชีวภาพ (Mechanical Biological Treatment หรือ MBT) ☐ ขยะที่นำมาผลิต RDF ประมาณ 57% ของขยะที่ผลิตได้ทั้งหมด คิดเป็นเชื้อเพลิง RDF ที่ผลิตได้ประมาณ 11.4 ตัน/วัน ☐ เดินระบบ 365 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 39,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-TOOL-WASTE-01 T-VER-METH-WM-04 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 2,746 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 946.91 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ขยะ 20 ตัน/วัน ใช้เงินลงทุนประมาณ 39,000,000 บาท

ปัจจัย	1.11 เทคโนโลยีการนำพลังงานสูญเสียกลับมาทำประโยชน์ (Heat Loss)
ความหมาย	ปัจจุบันมีการผลิตก๊าซชีวภาพกันอย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์สัปดาปภายในเป็นต้น และจะมีการสูญเสียความร้อนไปกับไอเสีย (Exhaust gas) 32% และสูญเสียความร้อนไปกับน้ำระบายความร้อน (Water jacket) 25% โดยประมาณ ดังนั้นหากสามารถนำความร้อนทิ้งมาใช้งานให้เกิดประโยชน์จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมได้แก่ 1) Organic Rankine Cycle (ORC) คือ ระบบการนำความร้อนที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และ 2) Absorption Chiller คือ ระบบทำความเย็นชนิดดูดซึม
หลักการทำงาน	1) ระบบ ORC สารทำความเย็นจะทำงานงานอยู่ในระบบปิด (Close loop) โดยใช้ปั๊มสูบหมุนเวียนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนกับแหล่งความร้อน (Heat source) ที่คอยล์เย็น (Evaporator) เมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิสูงและความดันสูงขึ้น ไหลผ่านกังหันผลิตไฟฟ้า (Turbine) จากนั้นนำความร้อนทิ้งที่คอยล์ร้อน (Condenser) แล้วสูบกลับมารับความร้อนอีกครั้งที่คอยล์เย็น (Evaporator) 2) ระบบทำความเย็นชนิดดูดซึมจะใช้ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนอุณภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียเพื่อจ่ายให้กับระบบผลิตความเย็นจากนั้นจะหมุนวนกลับไปรับความร้อนอีกครั้ง
รูปภาพ	 ระบบผลิตพลังงานร่วม CCHP และเครื่องยนต์ก๊าซ ของบริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอ พาวเวอร์ จำกัด
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ ประหยัดพลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็น ☐ ได้กำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบมากขึ้น **ข้อจำกัด** ☐ ระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนต่อการออกแบบติดตั้งและควบคุม จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์มาดำเนินงาน ☐ ต้นทุน ค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ☐ แหล่งความร้อนต้องมีอุณหภูมิมากกว่า 95 ^{0}C **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรพัฒนาในส่วนของการนำสิ่งที่ได้ไปใช้งานทั้งไฟฟ้าและน้ำเย็นที่ได้ และในส่วนของราคาอุปกรณ์ให้มีราคาที่ถูกลง
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** **ก่อนการดำเนินงาน** ☐ เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ขนาด 1 MW ☐ ระยะเวลาการทำงาน 24 ชม./วัน จำนวน 330 วัน/ปี ☐ หม้อไอน้ำไฟฟ้าขนาด 50 kW 1 ชุด **หลังการดำเนินงาน** ☐ เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ขนาด 1 MW ☐ ระยะเวลาการทำงาน 24 ชม./วัน จำนวน 330 วัน/ปี ☐ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ให้กับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อน ☐ ปั๊มหมุนเวียนน้ำร้อนขนาด 4 kW จำนวน 2 ชุด (สลับกันทำงาน) ☐ เงินลงทุนโครงการ 2,922,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-12 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 206 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 944.02 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	☐ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ให้กับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อน ราคา 2,900,000 บาท ☐ ปั๊มหมุนเวียนน้ำร้อนขนาด 4 kW จำนวน 2 ชุด (สลับกันทำงาน) ราคา 22,000 บาท

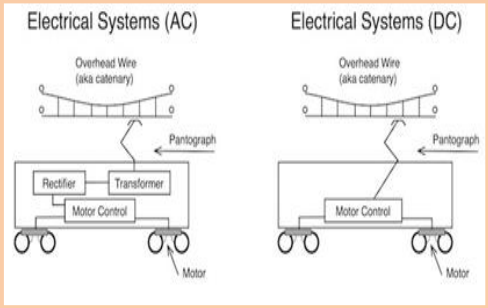
ปัจจัย	1.12 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น (Chiller Efficiency System)
ความหมาย	Chiller (ชิลเลอร์) คือ เครื่องทำความเย็น ที่มีหน้าที่ในการผลิตความเย็นปรับลดอุณหภูมิ โดยใช้ น้ำเป็นตัวหลักในการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความเย็นจากตัวเครื่องชิลเลอร์ ส่วนประกอบหลักของชิลเลอร์ ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ชุดระบายความร้อน (Condenser) อุปกรณ์ลดแรงดัน (Expansion Valve) และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากสารทำ ความเย็น (Evaporator)
หลักการทำงาน	เครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูง มี 3 เทคโนโลยีหลัก ได้แก่ 1) แบบ Fixed Speed Chiller มีหลักการทำงานที่ไมแตกตางจากเครื่องทำน้ำเย็นทั่วไป แต่ไดรับ การออกแบบในรายละเอียดของอุปกรณ์โดยใชวัสดุที่มีคุณภาพและลดการสูญเสียจากการใชงาน 2) แบบ Variable Speed Drive Chiller จะอาศัยหลักการทำงานของ VFD (Variable Frequency Drive) ในการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในการดูดอัดสารทำความเย็นตามภาระโหลดที่ต้องการ ซึ่งจะทำการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์โดยการปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามภาระโหลดที่เกิดขึ้นจริง 3) แบบ Oil-Free Magnetic Bearing เป็นเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานของคอมเพรสเซอร์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบให้น้อยที่สุด โดยใช้ Magnetic Bearing เพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ ไมใช้น้ำมันหล่อลื่น (Oil free) ติดตั้ง Variable Speed Drive Chiller เพื่อปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในการดูดอัดสารทำ ความเย็นตามภาระโหลดที่ต้องการ
รูปภาพ	 เครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง ขนาด 400 ตัน และหลังปรับปรุงเป็นเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ขนาด 300 ตัน
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** 1. Fixed Speed Chiller ☐ ราคาของเทคโนโลยีไม่สูงมาก 2. Variable Speed Drive Chiller ☐ สามารถปรับเปลี่ยนการเดินของ Chiller เพื่อให้ใช้งานได้ง่าย 3. Oil-Free Magnetic Bearing VSD ☐ ประสิทธิภาพสูงทั้ง Full Load และ Part Load ค่าบำรุงรักษาต่ำ ทั้งนี้การใช้ Magnetic Bearing จะมีการสูญเสียแรงเสียดทานเพียง 0.5% เมื่อเทียบกับบอลแบริ่งปกติ อีกทั้งยังตัดปัญหาการปนเปื้อนน้ำมันในระบบสารทำความเย็น ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ **ข้อจำกัด** 1. Fixed Speed Chiller ☐ หากใช้งานแบบ Part Load ประสิทธิภาพของ Chiller จะต่ำ 2. Variable Speed Drive Chiller ☐ หากใช้งานแบบ Full Load จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 3. Oil-Free Magnetic Bearing VSD ☐ ราคาค่อนข้างสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อปรับสภาพปัจจัยองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TDS) ค่าการ นำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) หรือมีแม้กระทั่งเชื้อแบคทีเรียที่มากับน้ำข้างต้นให้มีความเหมาะสม
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** **ก่อนการดำเนินงาน** ☐ Chiller ขนาด 125 Ton แบบ Fixed Speed Chiller อายุการใช้งาน 10 ปี ☐ ระยะเวลาทำงาน 12 ชม. จำนวน 330 วัน/ปี ☐ จากการตรวจวัดประสิทธิภาพของชิลเลอร์ที่ 85.62 Ton หรือคิดเป็นภาระโหลด ที่ 68.50% เท่ากัน 120 kW/TR **หลังการดำเนินงาน** ☐ Chiller ขนาด 125 Ton แบบ Fixed Speed Chiller ประสิทธิภาพสูงแทนของเดิม ☐ ระยะเวลาทำงาน 12 ชม. จำนวน 330 วัน/ปี ☐ จากการตรวจวัดประสิทธิภาพของชิลเลอร์ที่ 85.72 Ton หรือคิดเป็นภาระโหลด ที่ 68.58% เท่ากัน 120 kW/TR ☐ เงินลงทุนโครงการ 2,200,000 บาท (รวมการติดตั้ง) ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-08 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 28 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 5,251.01 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคาเฉพาะอุปกรณ์ไม่รวมการติดตั้ง ☐ Fixed Speed Chiller 150 Ton ราคาประมาณ 1,950,000 บาท ☐ VSD Chiller 150 Ton ราคาประมาณ 2,200,000 บาท ☐ Magnetic Bearing Chiller 150 Ton ราคาประมาณ 4,251,000 บาท

ปัจจัย	1.13 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อน (Boiler Efficiency System)
ความหมาย	เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน ปั๊มความร้อนคือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานในอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้
หลักการทำงาน	ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อนประกอบด้วย 1) อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ 2) คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่ อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์ 3) คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยัง เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว 4) เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์  วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน
รูปภาพ	 ปั๊มความร้อนขนาด 45 kWความร้อน ใช้ทำความร้อนทดแทนการใช้ไอน้ำในการทำความร้อน ปั๊มความร้อนขนาด 75 kWความร้อน ใช้ทำความร้อนทดแทนขดลวดไฟฟ้า
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี**: ☐ ประหยัดพลังงาน มีประสิทธิภาพสูง ☐ ได้ความเย็นในกระบวนการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ **ข้อจำกัด**: ☐ มีอุปกรณ์ย่อยต้องมีพื้นที่ในการวางระบบ ☐ มีข้อจำกัดอุณหภูมิน้ำร้อนไม่ควรเกิน 60 °C **แนวทางพัฒนา**: -
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** **ก่อนการดำเนินงาน** ☐ Boiler จำนวน 2 ชุด ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ☐ แหล่งความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ขนาด 15 kW จำนวน 8 ชุด ☐ อุณหภูมิที่ใช้งานน้ำร้อนในระบบ 60-70 °C **หลังการดำเนินงาน** ☐ ปั๊มความร้อนขนาด 45 kW และ 55 kW อย่างละ 1 ชุด ☐ แผงแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 2 แผง ☐ ปั๊มน้ำร้อนขนาด 3.7 kW จำนวน 1 ชุด และ 5 kW จำนวน 1 ชุด ☐ เงินลงทุนโครงการ 2,800,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้**: - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้**: 362 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e**: 515.32 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคาของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน ☐ ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาท/กิโลวัตต์ความร้อน หรือ 3,500,000 – 8,200,000 บาท/MMBtu

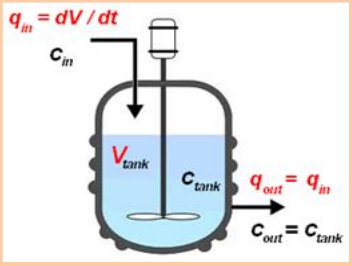
ปัจจัย	1.14 เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง (LED Efficiency System)
ความหมาย	LED ย่อมาจากLight-Emitting Diode สามารถประหยัดพลังงานลงจากเทคโนโลยี หลอดไฟแบบเดิมๆ ได้ 50% – 80% ในการสร้างความสว่างที่เทียบเท่ากัน และทำให้เกิดความร้อนน้อย
หลักการทำงาน	LED เป็นเทคโนโลยีการให้แสงสว่างแบบ Solid-state ที่ใช้ Semiconductor ในการเปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าให้กลายเป็นแสงสว่าง มีแหล่งกำเนิดแสงของ LED เกิดจากการผสมแสงหลายสีเข้าด้วยกัน ดังนั้น LED จึงมีสีให้ เลือกได้หลากหลาย เหมาะสมต่อการใช้งานได้ในรูปแบบที่แตกต่างกันไป ไม่มีรังสี UV ที่เป็นอันตรายต่อดวงตาและผิวหนัง รวมถึงไม่มีส่วนประกอบของสารปรอท จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
รูปภาพ	 การติดตั้งหลอด LED ภายในอาคาร
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสงสว่างที่ระดับสูง ☐ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ☐ ปล่อยความร้อนออกมาน้อย ทำให้ประหยัดพลังงาน ☐ อายุการใช้งานของหลอด LED ยาวนาน **ข้อจำกัด** ☐ การควบคุมภาพของหลอดที่มีขายในท้องตลาดทำได้ยาก **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมีมาตรการในการทดสอบ/ตรวจสอบคุณภาพหลอดที่วางขายในท้องตลาดได้อย่างทั่วถึง
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ เปลี่ยนหลอด LED T8 ขนาด 18 วัตต์ แทนหลอดธรรมดา T8 ขนาด 30 วัตต์ (บัลลาสต์ขดลวด) จำนวน 1,000 หลอด ☐ หลอด LED T8 ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 1,000 หลอด หลอดละ 250 บาท ☐ ชั่วโมงการใช้งาน 2,000 ชั่วโมง/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 250,000 บาท ☐ อายุโครงการ 5 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 32 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 1,576.37 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคาหลอดขึ้นอยู่กับปริมาณการติดตั้งหลอด LED ในอาคาร ☐ 4 วัตต์ ราคา 84 บาท/หลอด ☐ 9 วัตต์ ราคา 185 บาท/หลอด ☐ 18 วัตต์ ราคา 250 บาท/หลอด

ปัจจัย	1.15 เทคโนโลยี ORC เพื่อใช้งานในแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ (Organic rankine cycle: ORC)
ความหมาย	การผลิตไฟฟ้าที่ใช้หลักการทำงานของวัฏจักรแรงคิน (Rankine) แต่ใช้สารทำงานในกลุ่มของสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอที่จุดเดือดต่ำหรืออุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงคิน ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าจึงสามารถใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ และใช้ความดันไม่สูงเท่ากับโรงไฟฟ้าไอน้ำ
หลักการทำงาน	กระบวนการทำงานเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้แก่หัวเผา (Burner) ตัวที่ 1 และ 2 และใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้แก่หัวเผาตัวที่ 3 ในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ (Hot Water Generator) เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นน้ำร้อนดังกล่าวจะถูกจ่ายให้แก่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC โดยปั๊มน้ำร้อน (Hot Water Pump) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงาน (Refrigerant) ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC น้ำร้อนจะมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 10 องศาเซลเซียส และถูกส่งกลับไปรับความร้อนอีกครั้งที่หม้อต้มน้ำ ทั้งนี้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC ซึ่งเป็นการแปลงพลังงานความร้อนทิ้งมาเป็นไฟฟ้า ทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่เชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าเท่าเดิม จึงทำให้ไม่ก่อให้เกิดการปล่อย CO_2 เพิ่มขึ้น
รูปภาพ	 โรงไฟฟ้า ORC อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ โรงไฟฟ้า ORC มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 8** **ข้อดี** ☐ มีอายุการใช้งานนาน เนื่องจากไม่มีการกัดกร่อนของใบกังหัน ☐ ไม่ต้องมีระบบรักษาความสะอาดน้ำ ดังเช่น โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ ☐ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้ง Full Load และ Partial Load **ข้อจำกัด** ☐ ต้นทุนสูง โดยเฉพาะระบบ ORC ที่มีขนาดน้อยกว่า 200 kW_e **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรลดต้นทุน โดยการใช้ระบบ ORC ร่วมกับแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำลง
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 0.10 MW จากไอเสียเครื่องยนต์ ☐ ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ☐ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ 756,000 kWh/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 35,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-12 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 428 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 5,449.19 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	จำนวนเงินลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้าแบบ ORC แตกต่างกันออกไปตามกำลังการผลิตไฟฟ้า ☐ ORC ที่ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า 1 kW_e ใช้เงินลงทุนประมาณ 128,000 บาท ☐ ORC ที่ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า 20 kWe ใช้เงินลงทุนประมาณ 7,757,408 บาท

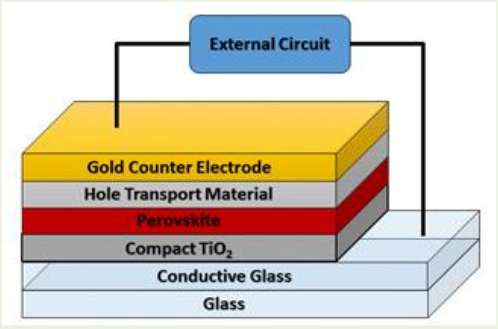
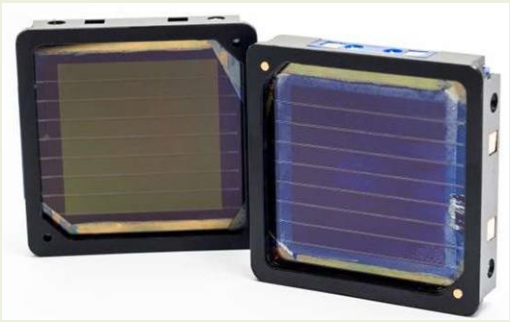
ปัจจัย	1.16 เทคโนโลยีผลิตน้ำมันดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันสำหรับยานพาหนะ (Biodiesel for vehicles)
ความหมาย	ไบโอดีเซล คือเชื้อเพลิงจากธรรมชาติ ที่สามารถนำไปผสมในน้ำมันดีเซลเพื่อใช้งานได้ โดยกรณีที่ใช้ไบโอดีเซล 100% หรือที่นิยมเรียก B100 ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องจักรกลการเกษตร แต่หากต้องการให้เครื่องยนต์หมุนเร็วหรือนำใช้ในรถยนต์จะผสมในสัดส่วนไบโอดีเซล 5 ส่วน ต่อน้ำมันดีเซล 95 ส่วน ได้เป็นไบโอดีเซลสูตร B5 เป็นต้น
หลักการทำงาน	ไบโอดีเซล มีกระบวนการผลิต โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า Transesterifcation โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Ethanol/Methanol) และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะได้ผลิตผลเป็น Ester และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ Glycerol ซึ่งจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบ Ester นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิด Ester นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหากับเครื่องยนต์
รูปภาพ	รถที่ใช้เชื้อเพลิง B100 และ B20 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โรงผลิตไบโอดีเซล สหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมัน จ.กระบี่
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ มีการผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอช่วยให้ จึงช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ☐ การสันดาปสมบูรณ์คาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ☐ ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ **ข้อจำกัด** ☐ อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ของ ระบบเชื้อเพลิงที่เป็นยางและโลหะ ☐ ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล ☐ ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่า น้ำมันดีเซลประมาณ 10% ☐ มีข้อขัดแย้งเรื่องการนำพืชอาหาร/พืชพลังงานไปใช้ **แนวทางพัฒนา** ภาครัฐและภาค เอกชนต้องร่วมมือในการพัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัย มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานแก่ประชาชนหรือผู้บริโภค
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (3,000 – 4,000 ลิตร/วัน) ☐ ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ 1,704,000 ลิตร/ปี ☐ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมันเตา) ☐ น้ำมันไบโอดีเซล B5 ทดแทนน้ำมันดีเซลในรถยนต์ ☐ เงินลงทุนโครงการ 1,950,000 บาท ☐ อายุโครงการ 10 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-05 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 3,976 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 49.04 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ประมาณ 3,000 – 4,000 ลิตร/วัน ค่าใช้จ่ายในการลงทุนประมาณ 1,950,000 บาท

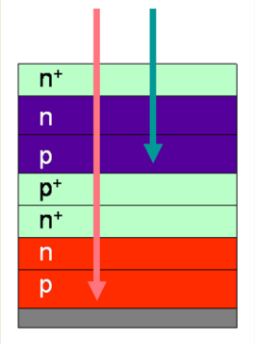
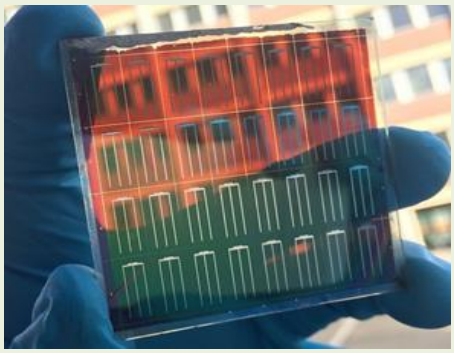
ปัจจัย	1.17 เทคโนโลยีรถไฟฟ้าระบบรางเพื่อการขนส่ง (Railway Electrification System)
ความหมาย	รถไฟไฟฟ้าระบบราง (หรือรถไฟฟ้า) เป็นรถไฟที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการเคลื่อนที่ เป็นระบบขนส่งมวลชน ที่บรรทุกผู้โดยสารหรือสินค้าจำนวนมาก ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยการขนส่งต่ำ และลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในสาขาการขนส่งอย่างมีนัยสำคัญ
หลักการทำงาน	การให้บริการรถไฟฟ้ามี 5 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ตัวรถ (รถไฟ) ระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling System) ระบบไฟฟ้าและการสื่อสาร (Electrification and Communication System) ระบบปฏิบัติการ (Operation) และงานโยธา (Civil Work) ซึ่ง ตัวรถจักรดีเซล (DL) และรถดีเซลราง (DMU) เปรียบเสมือนโรงไฟฟ้าเคลื่อนที่ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้า แล้วจึงนำไปขับมอเตอร์ โดยตัวรถ DL จะมีเครื่องยนต์ที่ใหญ่กว่า เนื่องจากมีเครื่องยนต์เฉพาะที่หัวจักร สำหรับ DMU จะมีเครื่องยนต์ที่เล็กกว่า กระจายไปยังรถพ่วงเพื่อช่วยกันขับเคลื่อนขบวนรถไฟ  องค์ประกอบหลักของรถรางไฟฟ้า
รูปภาพ	 รถไฟฟ้า BTS รถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิ้ง
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการคมนาคมขนส่ง ☐ มีความจุในการขนส่งสูง ☐ ลดปัญหาการจราจร ☐ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ☐ ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงถนน **ข้อจำกัด** ☐ องค์ความรู้ในการพัฒนาเทคโนโลยีระบบรางในประเทศค่อนข้างน้อย ☐ ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนาสูงมาก ☐ การถ่ายโอนความรู้จากต่างประเทศและบริษัทผู้ผลิตค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะเทคโนโลยีหลักที่ใช้ ☐ องค์กรรับผิดชอบด้านการพัฒนาระบบรางของภาครัฐขาดเอกภาพ **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรทำสัญญาการถ่ายโอนความรู้จากผู้ผลิตอย่างจริงจัง ☐ มีการตั้งองค์กรภาครัฐที่รับผิดชอบเพื่อดำเนินการอย่างมีเอกภาพ และมีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องในระยะยาว
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ รถไฟฟ้าสีน้ำเงิน หัวลำโพง-บางแค ระยะทาง 19 กิโลเมตร และ บางซื่อ-ท่าพระ ระยะทาง 13 กิโลเมตร ☐ เงินลงทุนโครงการ 82,369,170,000.00 บาท (เป็นราคาโครงสร้างและตัวรถไฟฟ้า) ☐ อายุโครงการ 21 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** ACM0016 version 01 Baseline Methodology for Mass Rapid Transit Projects **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 25,603 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 153,198.20 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	☐ สำหรับโครงสร้างบนดิน เงินลงทุนประมาณ 500-1,000 ล้านบาท/กม. ☐ สำหรับโครงสร้างลอยฟ้า เงินลงทุนประมาณ 1,000-3,000 ล้านบาท/กม. ☐ สำหรับโครงสร้างใต้ดิน เงินลงทุนประมาณ 2,000-4,000 ล้านบาท/กม.

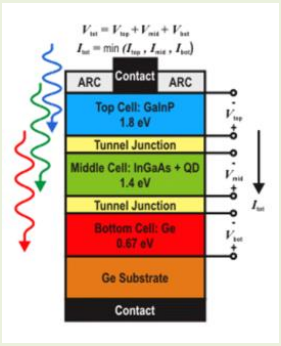
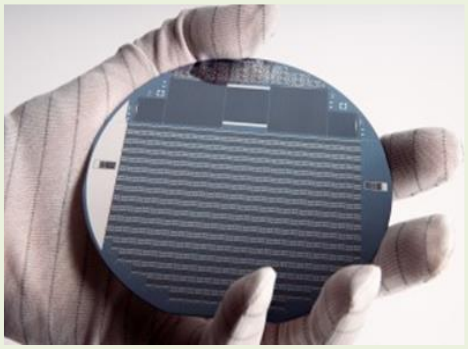
2. เทคโนโลยีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

ปัจจัย	2.1 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบ CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor)
ความหมาย	เทคโนโลยี CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor) หรือเรียกว่า ถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ เป็นถังปฏิกิริยาที่ออกแบบให้ทำงานโดยอาศัยหลักการว่า สสารที่อยู่ภายในถังจะมีคุณสมบัติและความเข้มข้นเป็นเนื้อเดียวกันด้วยการกวนผสมเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกิริยามีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ
หลักการทำงาน	เทคนิคการกวนผสม ☐ กวนผสมด้วยแก๊ส (gas mixing) โดยการอัดก๊าซชีวภาพและฉีดเข้าไปทั้งจากด้านล่างหรือด้านบนของถัง ฟองอากาศที่ฟุ้งกระจายทำให้เกิดการกวนหมุนวนของสสารในถังปฏิกิริยา ☐ การกวนผสมด้วยเครื่องจักรกล (mechanical mixing) โดยการติดตั้งเครื่องกวนผสมทั้งแบบใบพัดหรือแบบสกรู ☐ การกวนผสมทางชลศาสตร์ (hydraulic mixing) ทำให้เกิดการวนเวียนของของเสียภายในถังโดยสูบน้ำเข้าและออกผ่านเครื่องสูบน้ำและหัวฉีดแรงดันสูง  ถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์
รูปภาพ	 ถังปฏิกิริยาระดับใช้งานจริง ถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ บ. เอส พี เอ็ม จ.ราชบุรี
ศักยภาพของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี ☐ มีการกวนผสมอย่างทั่วถึงทำให้มีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี ☐ การก่อสร้าง การเดินระบบ และการบำรุงรักษาเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน **ข้อจำกัด** ☐ อาจพบปัญหาเซลล์จุลินทรีย์ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ☐ น้ำเสียยังคงมีค่าความสกปรกสูง ต้องทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดขั้นหลังต่อไป **แนวทางพัฒนา** ☐ วิจัยและประยุกต์ใช้กับของเสียที่ย่อยสลายยาก ของเสียที่มีสารปนเปื้อนเฉพาะ หรือของเสียที่มีมูลค่าทางอุตสาหกรรม ☐ ประยุกต์ใช้กับถังปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ในรูปแบบการบำบัดแบบสองขั้นตอน หรือการหมักย่อยร่วม (Co-digester)
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยนำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้า ☐ ปริมาณหญ้าเนเปียร์ 135 ตัน/วัน ขนาดบ่อ CSTR 10,000 ลบ.ม. ☐ เครื่องยนต์ผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW ☐ เงินลงทุนโครงการ 100,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 4,351 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 1,532.11 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ระบบ CSTR ขนาด 18,000 ลบ.ม. เพื่อผลิตไฟฟ้า 3 MW จะใช้เงินลงทุนประมาณ 200 ล้านบาท

ปัจจัย	2.2 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักแห้ง (Dry Fermentation)
ความหมาย	Dry fermentation ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบแห้ง ซึ่งเป็นระบบหมักที่มีความเข้มข้นของของแข็งรวมเข้าระบบ อยู่ระหว่างร้อยละ 20 - 40 โดยสารอินทรีย์เข้าระบบต้องมีค่าความชื้นน้อยว่าร้อยละ 75 และไม่จำเป็นต้องผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น เหมาะสำหรับการบำบัดของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง
หลักการทำงาน	เทคโนโลยีการหมักแบบแห้ง (Dry Fermentation) หรือระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศ: สารอินทรีย์ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) และได้จุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้ เรียกว่าก๊าซชีวภาพ (Biogas) Hydrolysis → Acidogenesis → Acetogenesis → Methanogenesis
รูปภาพ	 ระบบหมักแห้ง รองรับเศษอาหาร 250 กก./วัน ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระบบหมักแห้ง รองรับขยะ 30 ตัน/วัน ของ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ ขั้นตอนการหมักไม่ซับซ้อน ใช้พลังงานต่ำ ☐ สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นของแข็งสูงได้ ☐ ได้ก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์เป็นผลพลอยได้ **ข้อจำกัด** ☐ ควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหมักได้ยากโดยเฉพาะในการหมักที่มีปริมาณวัสดุหมักมากจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่ยาก ☐ ต้องมีกระบวนการย่อยเศษอาหารก่อนเข้าระบบหมัก ☐ เกิดการแยกชั้นของตะกอน หากการกวนผสมไม่ทั่วถึง **แนวทางพัฒนา** ☐ การพัฒนาระบบอุ่นตะกอนด้วยพลังแสงอาทิตย์ในบ่อหมักแบบแห้ง ช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในระบบหมักให้คงที่
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ปริมาณขยะอินทรีย์ 10 ตัน/วัน ☐ ปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ 1,100 m^3/วัน ☐ จำนวนวันทำงานของระบบ 330 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 22,800,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-WM-06 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 4,768 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 318.81 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ระบบหมักย่อยขยะอินทรีย์แบบแห้ง ขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปแบบของเทคโนโลยี ☐ รองรับเศษอาหาร จำนวน 200 kg/d ราคาประมาณ 850,000 บาท ☐ รองรับมูลไก่ (เนื้อ) จำนวน 300,000 ตัว/รอบ ราคาประมาณ 12,695,450 บาท

ปัจจัย	2.3 เทคโนโลยีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบวัสดุเก็บเกี่ยวแสงอาทิตย์ Perovskite
ความหมาย	Perovskite เป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้าง Perovskite เป็นส่วนประกอบ โดยมากจะเป็นส่วนผสมของวัสดุ organic-inorganic lead หรือ tin halide-based เป็นชั้นเก็บเกี่ยวพลังงาน [1,2] โดยวัสดุ Perovskite เช่น methylammonium lead halides มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ง่าย และมี ประสิทธิภาพร้อยละ 22.7
หลักการทำงาน	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ perovskite มีลักษณะคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป แต่มีการเพิ่มชั้น perovskite โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับชั้น perovskite จะทำให้สาร perovskite แตกตัวเป็นอิเล็กตรอนไปที่ชั้น n – type และ โฮลในชั้น p – type โดยพลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในเซลล์จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้
รูปภาพ	 โครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ perovskite  แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ perovskite
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 7 **ข้อดี** ☐ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ☐ มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ☐ อนาคตราคาเซลล์แสงอาทิตย์ถูกกว่าที่มีขายในปัจจุบัน **ข้อจำกัด** ☐ มี radiative efficiency limit ที่ประมาณร้อยละ 31 ☐ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ ยังไม่สามารถออกสู่ตลาดในอนาคตอันใกล้ **แนวทางพัฒนา** ☐ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ และมีศักยภาพในการพัฒนาเชิงพาณิชย์
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** - **ระเบียบวิธีการที่ใช้** - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** -
เงินลงทุน	ราคาเงินลงทุนประมาณ 0.1-0.2 USD/Watt

ปัจจัย	2.4 เทคโนโลยีการเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem Solar Cells
ความหมาย	Tandem Solar Cells เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการรวมหลายๆ รอยต่อ (Junction) เข้าด้วยกัน เพื่อตอบสนองต่อ Spectrum ของแสงได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยการลด thermal relaxation loss (thermalisation) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของความแตกต่าง ของพลังงานระหว่าง absorbed photon และ band-gap ของสารวัสดุกึ่งตัวนำ และมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 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 แสดงดังรูปที่ 1 โดย Tandem Solar Cells มีการทำงานคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป คือ เมื่อแสงมากระทบเซลล์แสงอาทิตย์ แสงสีเขียวจะถูกดูดกลืนเข้าไปในชั้น High band-gab เพื่อทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ส่วนแสงสีแดงจะผ่านไปและดูดกลืนที่ชั้น Low band-gab แล้วผลิตไฟฟ้า ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem สามารถตอบสนองต่อแสง และมีประสิทธิภาพดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบัน
รูปภาพ	 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem  เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Tandem
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Lomg - Term / TRL: Level 5 **ข้อดี**: ☐ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์ถึงร้อยละ 35 ซึ่งมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน **ข้อจำกัด**: ☐ มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ☐ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ ยังไม่สามารถออกสู่ตลาดในอนาคตอันใกล้ **แนวทางพัฒนา**: ☐ ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน**: - **ระเบียบวิธีการที่ใช้**: - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้**: - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e**: -
เงินลงทุน	ไม่มีข้อมูล เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ

ปัจจัย	2.5 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบใหม่ (Full spectrum solar cell)
ความหมาย	Full spectrum solar cell คือการนำวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มี Energy gab ที่แตกต่างกัน มาต่อกันแบบอนุกรม ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองต่อ ความยาวคลื่นได้มากขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย
หลักการทำงาน	เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Full spectrum ทำงานโดยแบ่งส่วนที่ตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกเป็น หลายๆ ส่วนที่ตอบสนองกับคลื่นที่มีความยาวแตกต่างกัน โดยเมื่อแสงมาตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะกระตุ้นให้ อิเล็กตรอนวิ่งผ่านภาระทางไฟฟ้าไปรวมกับโฮล เกิดกกำลังไฟฟ้าขึ้น โดยปรากฏการณ์นี้ก็จะเกิดขึ้น ในอีกส่วนของ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน เมื่อนำเซลล์สองชนิดมาต่อกัน จะทำให้ เกิดกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพ ของเซลล์สูงขึ้น
รูปภาพ	 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Full spectrum  เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Full spectrum
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 5 **ข้อดี**: ☐ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์ถึง ร้อยละ 50 ซึ่งมากกว่าเซลล์ แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน **ข้อจำกัด**: ☐ มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต **แนวทางพัฒนา**: ☐ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน**: - **ระเบียบวิธีการที่ใช้**: - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้**: - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e**: -
เงินลงทุน	ไม่มีข้อมูล เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการ

ปัจจัย	2.6 เทคโนโลยีการผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Electricity)
ความหมาย	Solar Thermal Electricity เทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากรังสีแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคการรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่ตัวรับแสงด้วยกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสง โฟกัสให้แสงไปรวมที่จุดใดจุดหนึ่ง (Concentrated Solar Power หรือ CSP) เกิดเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นพลังงานความร้อนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า
หลักการทำงาน	หลักการผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ การใช้ตัวรับแสงอาทิตย์สะท้อนแสงให้รวมกันจุดใดจุดหนึ่ง เกิดเป็นพลังงานความร้อน ถ่ายเทให้กับของเหลว ทำให้ของเหลวกลายเป็นไอที่ความดันสูง สามารถนำไปหมุนเครื่องปั่นไฟเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนแสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมแสง ได้แก่ ระบบรางพาราโบลิค (Parabolic Through) หอคอย (Power Tower) และจานพาราโบลิค (Parabolic Dish)
รูปภาพ	 ระบบพาราโบลิก จ.กาญจนบุรี ระบบหอคอย ประเทศสเปน ระบบจานพาราโบลิก ประเทศสหรัฐอเมริกา
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 9

ข้อดี

- ☐ เป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ
- ☐ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทุกขนาด ทั่วทุกมุมโลก
- ☐ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในช่วงที่ไม่มีแสงแดดได้อีกระยะหนึ่ง

ข้อจำกัด

- ☐ ลักษณะของแสงในประเทศไทยเป็นแบบสะท้อนมากกว่าแบบตรง จึงทำให้แสงที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนมีค่าความร้อนไม่สูงเท่าที่ควร
- ☐ ต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ในการก่อสร้าง
- ☐ เงินลงทุนสูง
- ☐ หากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่คงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ส่งผลต่ออุปกรณ์
- ☐ นกอาจจะถูกเผาไหม้และเสียชีวิตเมื่อบินผ่านโรงไฟฟ้า

แนวทางพัฒนา

- ☐ การนำเทคโนโลยีพลังงานมาทำงานร่วมกัน (Hybrid RE) เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่าง เสถียรมากขึ้น เช่น โรงไฟฟ้า Solar Thermal ที่ทำงานร่วมกับโรงไฟฟ้า ชีวมวล เป็นต้น

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน

- ☐ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลิค พื้นที่ติดตั้ง 150 ไร่
- ☐ กำลังการผลิตไฟฟ้า 5 MW ผลิตที่ 5 ชม./วัน
- ☐ ทำงาน 365 วัน/ปี
- ☐ เงินลงทุนโครงการ 900,000,000 บาท
- ☐ อายุโครงการ 20 ปี

ระเบียบวิธีการที่ใช้

T-VER-METH-AE-01

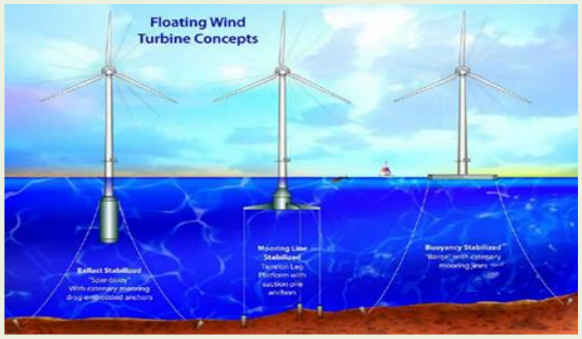
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้

5,194 tCO_2e/year

ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e

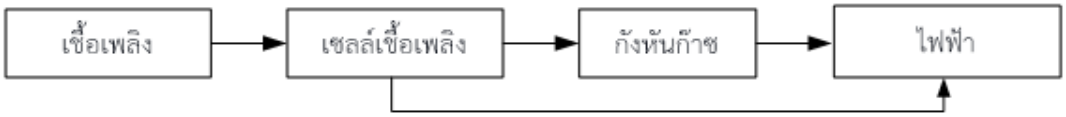
8,663.93 บาท/tCO_2e

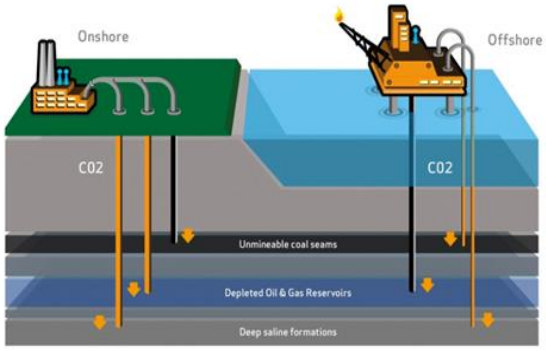
เงินลงทุน	ระบบการรวมแสงแบบรางพาราโบลิก กำลังการผลิตไฟฟ้า 5 MW เงินลงทุนประมาณ 900 ล้านบาท หรือขนาดกำลังการผลิต 10 MW มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระหว่าง 2.69 – 3.87 บาท/kWh

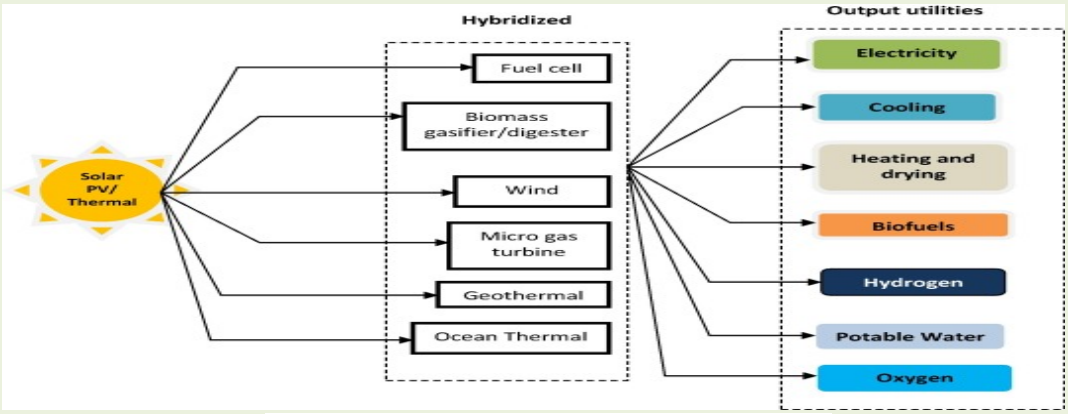
ปัจจัย	2.7 เทคโนโลยีการผลิตหรือใช้ไฟฟ้าจากการติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล (Offshore wind farm)
ความหมาย	กังหันลมเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่การติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ในบางพื้นที่กลับประสบปัญหาและมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ปัญหาเรื่องที่ดิน/เขตหวงห้าม ปัญหาการบดบังทัศนียภาพ และปัญหามลพิษทางเสียง ส่งผลให้การติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลจึงกลายเป็นอีกหนึ่งหนทางที่เป็นทางออกของปัญหาดังกล่าวเหล่านั้น โดยกังหันลมส่วนใหญ่ที่ใช้งานจะมีขนาด 450–600 kW ติดตั้งที่ระดับน้ำลึกสุด 6 เมตรและห่างจากฝั่งมากที่สุด 4 กิโลเมตร
หลักการทำงาน	เทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าสมัยใหม่ถ้าแบ่งตามประเภทเครื่องจักรกล สามารถแบ่งออกเป็น 2 เทคโนโลยีหลักๆ ได้แก่ เทคโนโลยีเกียร์ (Gearbox Technology) และเทคโนโลยีไร้เกียร์ (Gearless Technology) การติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในทะเลแตกต่างไปจากการติดตั้งบนบกเนื่องด้วยต้องอาศัยฐานรากที่มีลักษณะต่างออกไป การออกแบบฐานรากต้องให้มีความเหมาะสมกับระดับความลึกต่างๆ ของน้ำทะเลแต่ละพื้นที่ ที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เมตรนั้นมีฐานรากที่เหมาะสมอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ชนิด Monopile และชนิด Gravity อีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการ ติดตั้งกังหันลมที่ระดับน้ำไม่ลึกมากนักก็คือชนิด Suction Caisson ที่มีวิธีการก่อสร้างที่ง่ายกว่าและใช้วัสดุน้อยกว่าฐานรากแบบ Gravity สำหรับฟาร์มกังหันลมที่ถูกติดตั้งที่ระดับความลึก 30-45 เมตร การใช้ฐานรากหลายๆ ตัวจะช่วยทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ เพียงพอ ซึ่งอาจจะใช้เป็นชนิด Multiple pile หรือแบบ Suction Pile
รูปภาพ	 กังหันลมนอกชายฝั่งทะเลแบบฐานรากลอยน้ำ กังหันลมนอกชายฝั่งประเทศจีน
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 8 **ข้อดี** ☐ นอกชายฝั่งทะเลมีความเร็วลมสูงกว่า เนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางทางลมและความแตกต่างของปัจจัยแวดล้อมของชั้นบรรยากาศเหนือมหาสมุทร ซึ่งในทางทฤษฎีจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าฟาร์มกังหันลมบนบกถึง 5 เท่า ☐ การขนส่งกังหันลมขนาดใหญ่และการติดตั้งทางเรือทำได้สะดวก ☐ มลภาวะทางเสียงจากการทำงานของใบพัดกังหันลมน้อยกว่าบนฝั่ง **ข้อจำกัด** ☐ กังหันทั่วไปสามารถสร้างได้ที่ระดับความลึกน้ำทะเลประมาณ 60-90 ฟุต หากที่ระดับความลึกมากขึ้นก็จะต้องอาศัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและติดตั้งที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น ☐ ระบบเชื่อมต่อกับสายส่งบนฝั่งยังมีราคาค่อนข้างสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในรูปแบบของเทคโนโลยีกังหันลม ระบบสายส่งกับภาคพื้นดิน ☐ การประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ที่ต่างกันทางภูมิศาสตร์ ☐ ศึกษาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จะช่วยเสริมการวิเคราะห์ข้อมูล
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ กังหันลม 4 ต้น ผลิตไฟฟ้าได้ต้นละ 2.5 MW รวมกำลังการผลิตติดตั้ง 10 MW เพื่อทดแทนไฟฟ้าในระบบสายส่ง ☐ เงินลงทุนโครงการ 800,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 20 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 16,454 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 2,430.96 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	สำหรับในประเทศแถบยุโรปนั้น แล้วต้นทุนการลงทุนสำหรับฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งที่จะสร้างขึ้นใหม่ อยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.2 ล้านยูโรต่อเมกะวัตต์สำหรับพื้นที่ฝั่งน้ำตื้น

ปัจจัย	2.8 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำ (Run-of-the-river plants (no reservoirs))
ความหมาย	การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานของน้ำ อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำที่เกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูง การไหลของน้ำหรือการขึ้น-ลงของคลื่น ไปหมุนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำ รวมไปถึงประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
หลักการทำงาน	ไฟฟ้าพลังน้ำแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำ เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้น โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบนี้จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ มักสร้างอยู่ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก มีน้ำไหลตลอดปี และเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบที่มีข้อจำกัดด้านภูมิประเทศที่ทำให้ไม่สามารถสร้างอ่างเก็บน้ำได้ โดยจะมีอาคารสำหรับทดน้ำให้สูงขึ้นแทน ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ น้ำจากแม่น้ำจะถูกผันเข้าสู่ท่อหรือรางเพื่อนำไปที่โรงสร้างกระแสไฟฟ้า การผันน้ำนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ของกระแสน้ำในการขับเคลื่อนกังหันใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากนั้นน้ำจะไหลกลับรวมสู่แม่น้ำอีกครั้งหนึ่ง
รูปภาพ	โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ประเทศบราซิล
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 8 **ข้อดี** ☐ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ☐ การลงทุนต่ำโดยเฉพาะโครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในชุมชน ☐ ลดการสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้า **ข้อจำกัด** ☐ ในภาวะแห้งแล้งและขาดแคลนน้ำ ในแหล่งน้ำธรรมชาติไม่สามารถใช้งานได้ หรือผลิตไฟฟ้าได้น้อย ☐ พื้นที่ตั้งต้องมีความเหมาะสมเพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากศักยภาพทางไฟฟ้าของลำธารขนาดเล็กได้เต็มที่ ☐ การขยายขนาดหรือเพิ่มปริมาณการผลิตในอนาคตทำได้ค่อนข้างจำกัด **แนวทางพัฒนา** ☐ วิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของส่วนประกอบของระบบ อินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ ตัวควบคุม สายส่ง และท่อระบบเชื่อมต่อกับสายส่งบนฝั่ง

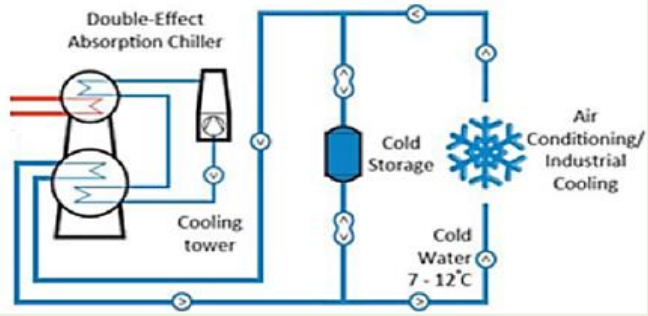
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
	☐ ติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้า 4 เครื่อง มีกำลังการผลิต 34,000 kW/เครื่อง รวมกำลังผลิต 136,000 kW ☐ ผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละประมาณ 280 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ☐ เงินลงทุนโครงการ 8,155 ล้านบาท ☐ อายุโครงการ 40 ปี	T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 158,592 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 1,285.53 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ในทวีปยุโรปการลงทุนขั้นแรกของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำแห่งใหม่นั้น จะอยู่ที่ประมาณ 900-4000 €/kW อเมริกาอยู่ที่ประมาณ 1,300-8,000 USD/kW	

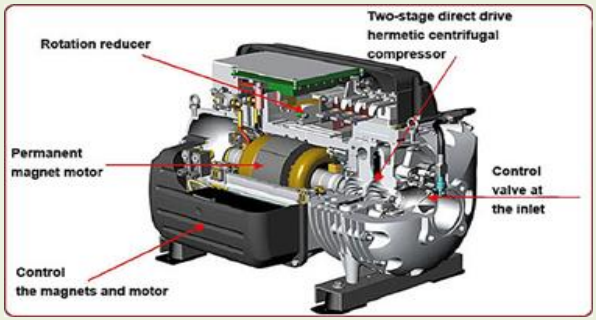
ปัจจัย	2.9 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากระบบผสมผสานระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System)
ความหมาย	เป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่ต้องการอุณหภูมิสูงในการผลิตไฟฟ้า เช่น solid oxide fuel cells และ molten carbonate fuel cells เข้ามาแทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน จากนั้นนำความร้อนที่เหลือจากเซลล์เชื้อเพลิงไปขับกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้จาก 2 แหล่ง ทั้งเซลล์เชื้อเพลิงและกังหันก๊าซ
หลักการทำงาน	กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากระบบผสมผสานระหว่างกังหันก๊าซและเซลล์เชื้อเพลิง เริ่มขึ้นเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงเช่น ก๊าซธรรมชาติ ไฮโดรเจน คอร์บอนมอนนอกไซด์ โพรเพน เข้าทางขั้ว anode ของเซลล์เชื้อเพลิง แล้วป้อนอากาศหรือออกซิเจนเข้าทางขั้ว cathode ของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตไฟฟ้าและความร้อนออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 600-1000 °C จากนั้นนำความร้อนที่เหลือไปปั่นกังหันที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป 
รูปภาพ	 Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System ขนาด 220 kW Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid System ขนาด 250 kW
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 8 **ข้อดี** ☐ มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 70 ☐ ระบบไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ☐ สามารถใช้เชื้อเพลิงหลากหลาย **ข้อจำกัด** ☐ มีอุณหภูมิสูงและกว้างทำให้วัสดุของเซลล์เชื้อเพลิงมีความเฉพาะเจาะจง ☐ ใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ และหยุดเดินระบบนาน ☐ เทคโนโลยีมีราคาสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมีการปรับขนาดให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมในเชิงพาณิชย์
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ติดตั้งเครื่อง Fuel Cell Gas Turbine ขนาด 250 kW ประสิทธิภาพ 70% ☐ เงินลงทุนโครงการ 53,600,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 246 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 14,524.81 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	☐ 2,400 USD/kW สำหรับระบบที่ประสิทธิภาพร้อยละ 44 ☐ 6,700 USD/kW สำหรับระบบที่ประสิทธิภาพร้อยละ 70 ทั้งนี้ระบบที่มีประสิทธิภาพต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ โดยมีตัวแปรที่แตกต่างกันเช่น การจัดการเชื้อเพลิง อัตราส่วนความดัน และอุณหภูมิขาเข้ากังหัน ทำให้มีประสิทธิภาพและราคาที่แตกต่างกัน

ปัจจัย	2.10 เทคโนโลยีการดักจับคาร์บอน และการนำไปใช้ประโยชน์ (Carbon Capture and Utilization: CCU)
ความหมาย	เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน เป็นกระบวนการที่ถูกออกแบบมาเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกจากไอเสีย ที่อาจจะผลิตจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และ/หรือ น้ำมันปิโตรเลียมจากโรงไฟฟ้าต่างๆ โดยการแยก CO_2 และเปลี่ยนให้เป็นในรูปของเหลวและกับเก็บในใต้ดิน และสามารถนำก๊าซ CO_2 นั้นมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ ได้
หลักการทำงาน	การทำงานของระบบเทคโนโลยีการดักจับ กักเก็บคาร์บอน และการนำไปใช้ประโยชน์ จะมีการทำงานหลักแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ 1. การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Capture) 2. การขนถ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Transportation) และ 3. การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Storage) และ 4. การนำไปใช้ประโยชนในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเพิ่มปริมาณการสูบน้ำมันดิบ/ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งส่วนที่ 1-3 นั้น ถ้า สามารถทำการติดตั้งระบบขนาดใหญ่ได้ จะสามารถทำการกักเก็บได้ถึงร้อยละ 90 ของ CO_2 ที่ผลิตออกมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล
รูปภาพ	 เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน โรงไฟฟ้าถ่านหิน ประเทศแคนาดา ที่ใช้เทคโนโลยี CCS ในเชิงพาณิชย์เป็นแห่งแรกในโลก
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Long - Term / TRL: Level 7 **ข้อดี** ☐ สามารถลดการปล่อยก๊าซ CO_2 สู่บรรยากาศ ☐ สามารถนำก๊าซ CO_2 ไปใช้ประโยชน์ เช่น การขุดเจาะปิโตรเลียม เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมี เป็นต้น **ข้อจำกัด** ☐ มีต้นทุนที่สูง ☐ ระบบพื้นฐานในการขนส่งยังคงต้องมีการสร้าง ☐ แหล่งในการกักเก็บยังคงต้องมีสำรวจ ☐ ขาดกฎหมายในการส่งผ่าน CO_2 และการกักเก็บ **แนวทางพัฒนา** ☐ พัฒนาเทคโนโลยีให้มีต้นทุนที่ถูกลง ☐ เพิ่มความสามารถในการกักเก็บปริมาณก๊าซ CO_2 จำนวนมาก เป็นแร่ธาตุแข็งหลังจากถูกสูบอัดเก็บอย่างถาวรไว้ที่ใต้ดิน ☐ เพิ่มความสามารถในการสำรวจพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพ
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ นำ CO_2 มาทำให้บริสุทธิ์โดยมีปริมาณก๊าซเจือปน H_2S ไม่เกิน 30 ppm, ก๊าซไฮโดรคาร์บอนรวมไม่เกิน 100 ppm และความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 มากกว่า 90% เพื่อผลิตโซเดียมไบคาร์บอเนต ☐ ปริมาณ CO_2 ที่ผลิตได้ 40,000 tCO_2e/year ☐ เดินเครื่องผลิต CO_2 ด้วยอัตรา 5 ตัน/ชม.จำนวนวันผลิต 330 วัน/ปี ☐ เงินลงทุน 175,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 7 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-OTH-01 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 38,299 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 652.75 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ประมาณการค่าใช้จ่ายในการดักจับและการจัดเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ที่ 60 USD/ตัน

ปัจจัย	2.11 เทคโนโลยีผลิตความร้อนโดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อทดแทนระบบผลิตพลังงานแบบแยกส่วน (Polygeneration)
ความหมาย	เทคโนโลยี Poly-generation คือเทคโนโลยีที่รวมแหล่งทรัพยากรพลังงานหลายแหล่งเข้าด้วยกันและบริหารจัดการทรัพยากรในการผลิตพลังงานรวมถึงสิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
หลักการทำงาน	เทคโนโลยี Poly-generation เป็นการเพิ่มระบบการจัดการพลังงานหลายแหล่งเพื่อผลิตพลังงานและผลผลิตอื่นนอกเหนือจากพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ต่อมาได้มีเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยดึงเอาความร้อนที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการกระบวนการ (Cogeneration plant) จากนั้นได้พัฒนาการการแปรรูปพลังงานนอกเหนือจาก ไฟฟ้า ความร้อน โดยเพิ่มระบบทำความเย็นเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สูงขึ้น ในส่วนของเทคโนโลยี Poly-generation เป็นการรวมศูนย์ระบบผลิตพลังงานและการใช้พลังงานเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุดทั้งนี้ยังรวมถึงผลิตผลอื่นๆที่เกิดขึ้นได้จะกระบวนการนอกเหนือจากพลังงาน
รูปภาพ	 ระบบ Solar based and solar hybrid polygeneration
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ สามารถบริหารจัดการในการผลิตพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ☐ เพิ่มมูลค่าของผลผลิตอื่นๆ ที่นอกเหนือจากพลังงาน **ข้อจำกัด** ☐ เป็นระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนต่อการออกแบบติดตั้งและควบคุม จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์มาดำเนินงาน ☐ ค่าติดตั้งและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ☐ ต้องมีแนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการเป็นอย่างดีเนื่องจากระบบมีความเกี่ยวเนื่องการเชื่อมโยงกัน **แนวทางพัฒนา** ☐ ควรมุ่งเน้นเรื่องของการทำความเข้าใจกระบวนการผลิตของโรงงานเองเพื่อหาช่องทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ☐ นโยบายภาครัฐควรส่งเสริมในเรื่องของการเชื่อมโยงไฟฟ้าโครงข่ายกับโรงงาน
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** **ระบบเดิม** มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงาน ขนาด 6.4 MW จ่ายไฟฟ้าเข้าโรงงานตามระบบต่างๆ ภายในโรงงาน และใช้เผาไหม้ให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันเพื่อผลิตไอน้ำ **ระบบเมื่อปรับปรุงแล้ว** มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงานจ่ายไฟฟ้าเข้าโรงงานตามระบบต่างๆภายในโรงงานยกเว้น (ระบบปรับอากาศ และระบบอากาศอัด) และกำลังของเครื่องยนต์จะต่อเข้ากับ Air Compressed เพื่อผลิตอากาศอัดโดยตรงจากเพลารับกำลังซึ่งเป็นการลดพลังงานสูญเสียจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน ในส่วนของไอเสียเครื่องยนต์จะเข้า Heat Exchanger แลกเปลี่ยนกับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนใช้ในระบบการผลิต และบางส่วนจะแบ่งเพื่อใช้ใน Absorption Chiller ในการผลิตน้ำเย็นใช้ในส่วนระบบปรับอากาศ **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-08 และสมการคำนวณ **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 4,496 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 963.89 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	มีปัจจัยรูปแบบการใช้งานของระบบซึ่งอาจจะใช้อุปกรณ์ที่ต่างกันทำให้ราคาของระบบขึ้นอยู่กับการใช้งานและการออกแบบและตัวระบบเองยังอยู่ในส่วนของการพัฒนาจึงไม่สามารถระบุเงินลงทุนได้

ปัจจัย	**2.12 เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึม โดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Absorption chiller using solar heating)**
ความหมาย	การประยุกต์พลังงานแสงอาทิตย์กับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งหลังงานเพื่อเปลี่ยนเป็นความเย็น โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม หรือ Absorption Chiller เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งอื่นๆ มาใช้ในการขับเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้ Absorption Chiller ส่วนมากจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นพลังงานคุณภาพต่ำ จึงเหมาะที่จะทำงานคู่กับระบบ Cogeneration
หลักการทำงาน	วัฏจักรของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ การระเหย การดูดซึมความร้อน การแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ให้ความร้อน (Generator) และการควบแน่น โดยเริ่มต้นที่สารละลายลิเธียมโบรไมด์เข้มข้น และอุณหภูมิสูงที่ไหลลงมาจาก Generator จะถูกฉีดกระจายลงบนขดท่อน้ำหล่อเย็นที่มีน้ำหล่อเย็นหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดอุณหภูมิของ สารละลายลิเธียมโบรไมด์ โดยสารละลายนี้จะดูดซึมไอระเหยของสารทำความเย็น (น้ำ) จาก Evaporator ไปพร้อมๆ กัน เมื่อสารละลายลิเธียมโบรไมด์ดูดซึมสารทำความเย็น และลดอุณหภูมิลงแล้ว ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็น สารละลายลิเธียมไบรไมด์ ที่เจือจาง และจะไหลมารวมกันบริเวณด้านล่างของตัวถัง เพื่อให้เครื่องสูบหมุนเวียนของสารละลาย ลิเธียมโบรไมด์สูบส่งไปยัง Generator เพื่อแยกสารทำความเย็น (น้ำ) ออกจากสารละลายลิเธียมโบรไมด์ด้วยการให้ความร้อนเพื่อแยกสารทำความเย็นออกจากลิเธียมโบรไมด์
รูปภาพ	ระบบผลิตน้ำร้อนจากหลอดสุญญากาศ เครื่องทำความเย็นชนิด Solar Absorption Cooling
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**Medium - Term** / **TRL: Level 7** **ข้อดี** ☐ สามารถนำมาประยุกต์เป็นระบบร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม โดยสามารถนำความร้อนทิ้งหรือนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ มาใช้เป็นแหล่งความร้อนใน Generator **ข้อจำกัด** ☐ มีการลงทุนในส่วนของการนำระบบมาต่อร่วม เช่น Heat Pump หรือแหล่งความร้อนอื่นๆ ☐ แผงรับความร้อนมีราคาสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ หากมีแหล่งความร้อน ทิ้งอุณหภูมิต่ำมากๆ จะต้องนำเทคโนโลยีอื่นมาประยุกต์ใช้
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ เปลี่ยนใช้ทดแทนซิลเลอร์ 140 ตันเดิม กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ 120 kW ☐ ระบบที่ติดตั้ง Absorption Chiller using solar heating ใช้แสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแก่ Absorption Chiller ในการผลิตน้ำเย็น โดยมีกำลังไฟฟ้าใช้ในระบบได้แก่ ปั๊มน้ำร้อน และระบบหมุนเวียนสารทำความเย็น รวม 22.5 kW ☐ ทำงานช่วงมีแดดประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน 300 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 10,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-08 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 82 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 8,082.61 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	เปลี่ยนใช้ทดแทนซิลเลอร์ 140 ตันเดิม เงินลงทุนประมาณ 10 ล้านบาท

ปัจจัย	2.13 เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ (Heat pump using low temp waste)
ความหมาย	การประยุกต์เทคโนโลยีการทำความเย็นนิยมใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ซึ่งมีความหลากหลายในการเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อน เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการ พลังงานไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำ หรือการนำระบบ Heat Pump มาเป็นแหล่งความร้อน เนื่องจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งอาจมีพลังงานความร้อนที่ต่ำ จึงต้องมีการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100 ^{0}C) 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)
รูปภาพ	 การใช้ Heat Pump ทำงานร่วมระบบทำความเย็นแบบดูดซึม Direct -fired Double Effect Lithium Bromide
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 8 **ข้อดี**: ☐ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึม โดยแหล่งความร้อนของ Generator จากแหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ และยกระดับความร้อนทิ้งโดยฮีตปั๊ม หรือ Heat Transformer ได้ **ข้อจำกัด**: ☐ มีการลงทุนในส่วนของการนำระบบมาต่อร่วม เช่น Heat Pump , Heat Transformer หรือการประยุกต์ความร้อนอื่นๆมาใช้งานร่วม **แนวทางพัฒนา**: ☐ ในการใช้ระบบการทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม มีปัจจัย หลายหลากหลาย ขึ้นอยู่กับแหล่ง ความร้อนทิ้งและแนวทาง โดย ส่วนใหญ่หากมีแหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำมากๆ จะต้องนำเทคโนโลยีอื่นมาประยุกต์ใช้
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ติดตั้งระบบนำความร้อนเหลือทิ้งจากคอนเดนเสทที่ออกจากเครื่องจักรอุณหภูมิ 85-95 ^{o}C เพื่อนำเข้าผลิตน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 ^{o}C ☐ นำไประบายความร้อนให้แก่เครื่องจักรทดแทนการใช้ระบบทำความเย็นโดยใช้ไฟฟ้าขนาดพิกัดทำความเย็น 73 ตันความเย็น ☐ ระบบทำความเย็นใช้ไฟฟ้าขนาด 73 ตัน ใช้กำลังไฟฟ้า 109.5 kW ☐ ระบบ Absorption Chiller ขนาด 73 ตันความเย็น ใช้กำลังไฟฟ้าเพื่อเดินเครื่อง 16.2 kW อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า 90 ^{o}C ☐ ระยะเวลาการทำงาน 20 ชั่วโมงต่อวัน 300 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 4,100,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้**: T-VER-METH-EE-08 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้**: 317 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e**: 1,293.09 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคาระบบ Absorption Chiller - Unit price 2,200,000 บาท - System Cooiing Tower,Pump 1,500,000 บาท - Commissioning 400,000 บาท

ปัจจัย	2.14 การใช้มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่านประสิทธิภาพสูง (Brushless DC Motor)
ความหมาย	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งอาร์เมเจอร์จะเป็นตัวอยู่กับที่ และสนามแม่เหล็กจะเป็นตัวหมุนและใช้ตัวตรวจจับ (sensor) เพื่อตรวจจับตำแหน่งสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์และใช้อินเวอร์เตอร์สำหรับขบวนการคอมมิวเตชันทางระบบอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจจับตำแหน่งของตัวหมุนตลอดเวลาใช้ตัวตรวจจับฮอลล์ (hall sensor) สามตัวโดยติดตั้งไว้บริเวณใกล้กับตัวหมุน ซึ่งตัวตรวจจับฮอลล์จะอาศัยหลักการตรวจจับสนามแม่เหล็กจากตัวหมุนที่มาปะทะกับตัวตรวจจับฮอลล์ตลอดเวลา
หลักการทำงาน	การทำงานของมอเตอร์จะอาศัยพื้นฐานของแรงดูด และแรงผลัก ระหว่างขั้วแม่เหล็กที่อาศัยหลักการเดียว กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับซิงโครนัสที่มีตัวหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้นตอนการเริ่มหมุนเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดชุดที่หนึ่งของ ชุดขดลวดที่สเตเตอร์ทั้งสาม และสร้างขั้วแม่เหล็กนั้นเป็นแรงดูดให้สนามแม่เหล็กครบรอบของขั้วที่ต่างกัน โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป ถ้ากระแสเลื่อนไปที่ชุดขดลวดที่ติดกันเกิดลำดับการเปลี่ยนแปลงแต่ละชุดขดลวดท่าให้โรเตอร์ติดตามการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุน
รูปภาพ	 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน  การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน อยู่ในระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูง
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**Short - Term** / **TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ มีประสิทธิภาพสูง ประมาณ 85-90% และสามารถสูงถึง 96.5% ☐ มีความเร็วรอบที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับแรงบิด (Torque) ☐ กินไฟน้อยกว่า เนื่องจากไม่ได้จ่ายไฟฟ้าตลอดเวลา ☐ การสั่นสะเทือน และเสียงเงียบมาก **ข้อจำกัด** ☐ รูปแบบในการติดตั้งจำกัด และต้องมีชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้มอเตอร์ทำงานได้ ☐ เทคโนโลยีนี้ยังไม่แพร่หลายในประเทศ ตัวเลือกมีน้อย และราคาของระบบค่อนข้างสูง เพราะอุปกรณ์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ **แนวทางพัฒนา** ☐ พัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งขนาดเล็กที่อยู่ในมอเตอร์เชื่อมโยงด้วยสายไฟฟ้าไปยังชุดควบคุม เพื่อให้สามารถระบุว่าควรจะสวิทช์จ่ายไฟฟ้าไปยังขดลวดชุดไหนได้อย่างแม่นยำ ☐ เพิ่มแนวทางการใช้เชิงพาณิชย์ในยานพาหนะ เช่น รถจักรยานไฟฟ้า หรือรถมอเตอร์ไซด์
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ติดตั้งมอเตอร์แบบไร้แปลงถ่านประสิทธิภาพสูงทดแทนมอเตอร์เดิม ขนาด 30 kW ระยะเวลาใช้งาน 350 วัน วันละ 10 ชม. ☐ ติดตั้งมอเตอร์แบบไร้แปลงถ่านประสิทธิภาพสูงทดแทนมอเตอร์เดิมที่เป็นแบบเหนี่ยวนำ ขนาด 22 KW ☐ การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เดิมเท่ากับ 20.2 kW ☐ การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มอเตอร์แบบไร้แปลงถ่านเท่ากับ 18.1 KW ☐ ชั่วโมงการใช้งานเท่ากับ 3,300 ชั่วโมง/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 320,000 บาท (ราคามอเตอร์พร้อมระบบขนาด 22 KW) ☐ อายุโครงการ 10 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-EE-10 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 4 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 8,112.45 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคามอเตอร์พร้อมระบบขนาด 22 KW ประมาณ 320,000 บาท

ปัจจัย	2.15 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน (Wind Hydrogen Hybrid)
ความหมาย	ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน (Wind Hydrogen Hybrid) เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่อาศัยกังหันลมเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) เพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าไปกักเก็บพลังงานในรูปก๊าซไฮโดรเจน จากการแตกตัวของน้ำ (H_2O) และเมื่อมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้า จะผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง โดยมีก๊าซไฮโดรเจนที่กักเก็บไว้เป็นเชื้อเพลิง
หลักการทำงาน	การทำงานเริ่มต้นจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยอาศัยกังหันลม ผ่านเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากนั้นกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกป้อนเข้าสู่อิเล็กโทรไลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่แยกน้ำ โดยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จะผ่านเมมเบรนเพื่อแยกก๊าซผลิตภัณฑ์ให้เหลือเพียงก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนที่แยกได้จะถูกนำเข้าไปกักเก็บในถังเก็บก๊าซไฮโดรเจน เพื่อเก็บเป็นพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่ต้องการ โดยการนำไปใช้งานเพื่อผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้า จะอาศัยเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในการนำไปใช้งาน สามารถแสดงสมการในการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไฮโดรเจน คือ ขั้วแอโนด : $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ ขั้วคาโทด : $4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2$

รูปภาพ

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมในรูปก๊าซไฮโดรเจน

โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้าลำตะคอง จ.นครราชสีมา

ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี

Short - Term	TRL: Level 8

ข้อดี	ข้อจำกัด	แนวทางพัฒนา
☐ ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ☐ สามารถตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพสามารถป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับชุมชนได้โดยตรง โดยไม่ต้องเสียค่าเดินสายไฟฟ้าจากแหล่งผลิต ☐ สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของพลังงานได้ เมื่อต่อเชื่อมกับระบบกักเก็บพลังงาน	☐ มีผลต่อทัศนียภาพ เนื่องจากต้องใช้กังหันขนาดใหญ่ ☐ ใบพัดขนาดใหญ่ทำงานจะเกิดเสียงดังรบกวนผู้อยู่ใกล้เคียง ☐ อาจทำให้สิ่งมีชีวิตใกล้เคียงมีการอพยพ	☐ พัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยกังหันลม ที่ความเร็วลมต่ำๆ เพื่อสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอ ☐ พัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความปลอดภัยสูง และราคาถูกลง

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
☐ กังหันลมจำนวน 12 ต้น ผลิตไฟฟ้าได้ต้นละ 2 MW รวมกำลังการผลิตไฟฟ้า 24 MW เพื่อทดแทนไฟฟ้าในระบบสายส่ง เงินลงทุน 1,407 ล้านบาท ☐ ระบบการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมจับคู่กับเซลล์เชื้อเพลิง ขนาดกำลังการผลิต 300 kW เงินลงทุนระบบ 234.5 ล้านบาท ☐ จำนวนวันผลิต 365 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 1,641.5 ล้านบาท ☐ อายุโครงการ 20 ปี	T-VER-METH-AE-01
	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้
	119,045 tCO_2e/year
	ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e
	689.44 บาท/tCO_2e

เงินลงทุน

☐ กังหันลมแบบแกนนอน ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 24 MW จะมีเงินลงทุนระบบประมาณ 1,407 ล้านบาท
☐ ระบบการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมจับคู่กับเซลล์เชื้อเพลิง ขนาดกำลังการผลิต 300 kW จะมีเงินลงทุนระบบประมาณ 234.5 ล้านบาท

ปัจจัย	2.16 เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนรถยนต์ไฟฟ้าทดแทนน้ำมัน (Electric Car)
ความหมาย	รถไฟฟ้า (Electric Vehicle; EV)” หรือ ยานพาหนะไฟฟ้า ซึ่งขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้สันดาปภายใน รถไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานแทนที่น้ำมันหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ โดยมอเตอร์ไฟฟ้าในรถไฟฟ้าจะเปลี่ยนไฟฟ้าซึ่งโดยปกติมาจากชุดแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานกลเพื่อการขับเคลื่อนล้อ โดยมีรูปแบบและขนาดต่างกัน
หลักการทำงาน	ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ 1) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลักใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุในยานยนต์ทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังยานยนต์ให้เคลื่อนที่ 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%
รูปภาพ	Mitsubishi รุ่น i-MEV Nissan รุ่น Leaf BYD รุ่น e6
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**Short - Term** / **TRL: Level 9** **ข้อดี** ☐ การปล่อยมลพิษใกล้เคียงศูนย์ ☐ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางถูกกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์สันดาป ภายใน ☐ สามารถชาร์จประจุไฟฟ้าได้ที่บ้าน **ข้อจำกัด** ☐ ต้นทุนแบตเตอรี่สูง ☐ สามารถเดินทางได้ในระยะทางสั้น ☐ หัวชาร์จมีความหลากหลายมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้กับทุกสถานี **แนวทางพัฒนา** ☐ การพัฒนาแบตเตอรี่ ที่มีค่าความหนาแน่น พลังงานจำเพาะ และกำลังจำเพาะสูง เพื่อให้ได้ขนาดแบตเตอรี่เล็ก น้ำหนักเบาและให้อัตราเร่งสูง ☐ รัฐควรวางแผนปริมาณไฟฟ้าสำรองสำหรับรถไฟฟ้าในอนาคต
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ ปรับเปลี่ยนใช้รถ EV car แทน รถโดยสารขนาดเล็กที่ใช้น้ำมัน ☐ รถ NISSAN LEAF มอเตอร์ไฟฟ้า EM57 แบตเตอรี่ Li-on ความจุ 40 kWh ☐ แรงบิดสูงสุด 320 นิวตันเมตร ☐ จะใช้ระยะเวลาชาร์จไฟ 8 ชม. (6kW) และ 16 ชม. (3kW) สำหรับการชาร์จไฟแบบปกติ แต่ถ้าหากเป็นการชาร์จไฟแบบเร็วเมื่อมีการแจ้งเตือนจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที ในการชาร์จให้ไฟในแบตเตอรี่มีปริมาณ 80 เปอร์เซ็นต์) ☐ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รถยนต์โดยสารขนาดเล็กใช้น้ำมันเบนซิน 17.77 กม./ลิตร ☐ อัตราการใช้รถ 160 กม./วัน 300 วันต่อปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** สมการคำนวณ **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 2 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 50,608.21 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	ราคารถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาด รุ่นและยี่ห้อ ☐ ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น MiEV ราคา 2.2 ล้านบาท ☐ ยี่ห้อ Nissan รุ่น LEAF ราคา 0.995 ล้านบาท (ราคาในสหรัฐอเมริกา) ☐ ยี่ห้อ BYD รุ่น e6 ราคา 3.15 ล้านบาท

ปัจจัย	2.17 รถไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน (Electric Bus)
ความหมาย	รถไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน คือรถบัสไฟฟ้าที่ใช้ขนส่งคนโดยสารเป็นขบวนขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอย่างอื่นไปตามทางรถไฟฟ้าที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าขนส่ง มวลชนแห่งประเทศไทย เพื่ออำนวยความสะดวกในการขนส่งมวลชน
หลักการทำงาน	รถไฟฟ้ามีขั้นตอนหลักของการทำงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ระบบกำลัง: รถไฟฟ้าจะเก็บไฟฟ้าในแบตเตอรี่และนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เมื่อต้องการ โดยมีเครื่องควบคุมการทำงานของชุดแบตเตอรี่ 2) ระบบพลังงาน: จะเป็นตัวแปลงกลับ (inverter) เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟแบบ DC จากแบตเตอรี่เป็นกระแส AC สำหรับมอเตอร์ 3) การขับเคลื่อน: เป็นกล้ามเนื้อของรถไฟฟ้าอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งถูกส่งไปยังล้อผ่านเพลาเพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะ 4) ระบบการชาร์จ: จะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อป้อนให้กับแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานหลังจากได้ใช้ไปจนหมด
รูปภาพ	 รถโดยสารไฟฟ้า ของจังหวัดเชียงใหม่ รถโดยสารไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 8

ข้อดี

- ☐ ปราศจากควันและเสียง รบกวน
- ☐ เกิดความนุ่มนวลในการขับขี่
- ☐ มีความปลอดภัยจากการระเบิดของอุปกรณ์ เนื่องจากใช้กำลังไฟสูงแต่กินกระแสไฟต่ำ
- ☐ ค่าใช้จ่ายในการใช้งานถูกกว่ารถที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับระยะทางที่เท่ากัน

ข้อจำกัด

- ☐ ราคาการลงทุนค่อนข้างสูง
- ☐ การกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ยังไม่ยาวนานมากพอสำหรับการวิ่งระยะทางไกล
- ☐ ระยะเวลาในการชาร์จไฟใช้เวลาค่อนข้างนาน
- ☐ สถานีบริการชาร์จไฟมีจำนวนน้อย

แนวทางพัฒนา

- ☐ ควรพัฒนาแบตเตอรี่ให้สามารถกักเก็บไฟฟ้าได้สูงและยาวนาน
- ☐ ควรพัฒนาให้สามารถถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำรองได้ทันทีหากแบตหมด
- ☐ พัฒนาความเร็วในการชาร์จแบตเตอร์รี่
- ☐ ระบุนโยบายหัวชาร์จให้เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั่วประเทศ

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน

- ☐ ปรับเปลี่ยนใช้รถ EVbus แทนรถโดยสารที่ใช้น้ำมันดีเซล
- ☐ แบตเตอรี่ลิเธียมขนาด 35.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)
- ☐ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รถบัสโดยสาร ใช้น้ำมันดีเซล = 2.85 กม./ลิตร
- ☐ อัตราการใช้รถ 100 กม./วัน 300 วันต่อปี
- ☐ เงินลงทุนโครงการ 4,000,000 บาท
- ☐ อายุโครงการ 10 ปี

ระเบียบวิธีการที่ใช้

สมการคำนวณ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้

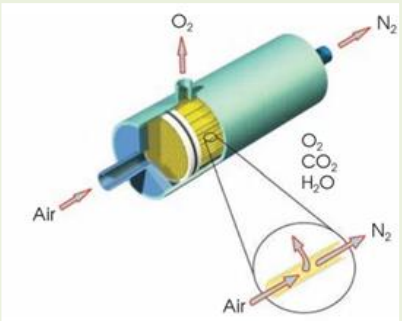
23 tCO_2e/year

ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e

17,499.06 บาท/tCO_2e

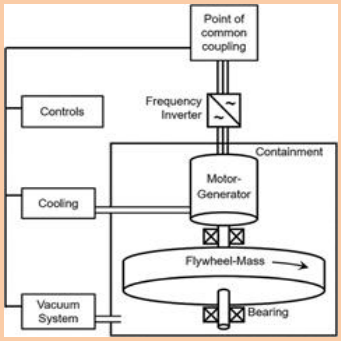
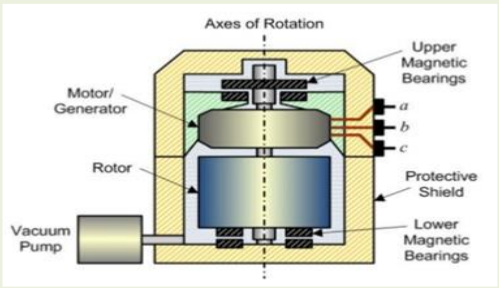
เงินลงทุน	ราคารถบัสไฟฟ้า ประมาณ 3.5 ล้านบาทขึ้นไป

ปัจจัย	2.18 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัดเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ (Compressed Biomethane Gas: CBG)
ความหมาย	ก๊าซไบโอมีเทนอัด คือ ก๊าซที่เกิดจากการนำเอาก๊าซชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพโดยการลดก๊าซ CO_2 , H_2S และความชื้นออกจนมีปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามที่กฎหมายหรือตามมาตรฐานกำหนด โดยมีคุณสมบัติเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (NGV/CNG) แล้วอัดลงถังที่แรงดัน 200 – 250 barg เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์
หลักการทำงาน	ก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วย CH_4 ประมาณ 50-70% และ CO_2 ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่นๆ เช่น H_2, O_2, H_2S, N และไอน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพ ด้วยเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อผลิตเป็นก๊าซ CBG ซึ่งส่วนใหญ่นิยม ใช้เทคโนโลยี Water Scrubbing และ เทคโนโลยี Membrane เพื่อให้ได้ก๊าซ CBG ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าก๊าซ NGV สามารถนำไปใช้สำหรับยานยนต์ได้
รูปภาพ	 เทคโนโลยี Water Scrubbing
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short - Term / TRL: Level 9 **ข้อดี** ☐ นำมาทดแทนน้ำมันในการเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ได้ ☐ การเผาไหม้ก๊าซ CBG ปล่อยมลพิษน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล หรือเบนซิน **ข้อจำกัด** ☐ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเป็นไบโอมีเทนมีค่าการลงทุนสูง **แนวทางพัฒนา** ☐ เน้นพัฒนาระบบการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่แหล่งกำเนิด โดยการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและลดต้นทุน
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** ☐ กำลังการผลิตก๊าซ CBG 6 ตัน/วัน โดยใช้เทคโนโลยีแบบ Menbrane ☐ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เข้าระบบ 12,000 ลบ.ม./วัน ☐ จำนวนวันผลิต 330 วัน/ปี ☐ เงินลงทุนโครงการ 60,000,000 บาท ☐ อายุโครงการ 15 ปี **ระเบียบวิธีการที่ใช้** T-VER-METH-AE-07 **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** 3,599 tCO_2e/year **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** 1,111.31 บาท/tCO_2e
เงินลงทุน	เงินลงทุนขึ้นอยู่กับระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ กรณีขนาดกำลังการผลิต CBG ขนาด 6,000 ลบ.ม./วัน จะใช้เงินลงทุนดังนี้ - Water Scrubbing เงินลงทุนประมาณ 41.5 ล้านบาท - Amine Solvent เงินลงทุนประมาณ 62.9 ล้านบาท - Pressure Swing Adsorption เงินลงทุนประมาณ 44.1 ล้านบาท - Membrane Separationเงินลงทุนประมาณ 40.7 ล้านบาท

ปัจจัย	2.19 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ (Hydrogen Fuel Cell)
ความหมาย	เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ โดยจะถูกนำไปใช้งานควบคู่กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cells) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ โดยเชื้อเพลิงไฮโดรเจนนี้ สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบตามธรรมชาติหลากหลายประเภท อาทิ วัสดุชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน
หลักการทำงาน	เทคโนโลยีอาศัยกระบวนการรีฟอร์มมิง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ 1) กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ: เป็นการป้อนไอน้ำ (steam) เข้าสู่ระบบเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะก๊าซ โดยไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากไอน้ำ และสารไฮโดรคาร์บอน (CH) ส่วนออกซิเจนที่เหลือจากน้ำและคาร์บอนที่เหลือจากไฮโดรคาร์บอนจะรวมตัวกันเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 2) กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบแต่สัดส่วนของไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการนี้จะต่ำกว่ากระบวนการแรก และตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมสภาพเร็วกว่า 3) กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน: เป็นกระบวนการระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจน โดยไม่จำเป็นต้องป้อนพลังงานจากภายนอก แต่ปริมาณออกซิเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบต้องไม่สูงจนเกินไป 4) กระบวนออโตเทอร์มัลรีฟอร์มมิง: กระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำกับออกซิเดชันบางส่วน โดยการป้อนทั้งน้ำและออกซิเจนเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอน
รูปภาพ	 การผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีแยกเมมเบรน ระบบผลิตไฮโดรเจนโดยกระบวนการ Steam reformation จากก๊าซธรรมชาติน้ำ
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Medium - Term / TRL: Level 8 **ข้อดี** ☐ แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถหาได้จากหลายแหล่ง ☐ พลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม **ข้อจำกัด** ☐ มีต้นทุนในเรื่องของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีทางไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้แพลทินัม ซึ่งมีราคาสูง ☐ หากจะนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้กับเซลเชื้อเพลิง จะต้องมีความบริสุทธิ์สูง **แนวทางพัฒนา** ☐ หาตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าแพลทินัม หรือมีราคาถูกลง เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของโลหะผสมต่างๆ เป็นต้น
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** - **ระเบียบวิธีการที่ใช้** - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2e** -
เงินลงทุน	มีการนำไปใช้ในรถยนต์แต่ยังไม่มีแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งขับเคลื่อนโดยอาศัยพลังงานจากก๊าซไฮโดรเจนบีบอัด ที่ถูกบรรจุไว้ในถังเชื้อเพลิง 2 ถังใต้ตัวรถ สามารถวิ่งได้ระยะทาง 650 - 700 กม (อัตราเร่งอยู่ที่ 40 - 70 กม./ชม) ราคาประมาณ 1.9 ล้านบาท/คัน

3. เทคโนโลยีส่วนเสริม

ปัจจัย	3.1 เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานทางด้านเคมี (Chemical Energy Storage)
ความหมาย	เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่อาศัยแบตเตอรี่ เป็นตัวกักเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่จะมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่ที่ได้รับความสนใจในการพัฒนา คือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์ และรีดอกซ์แบตเตอรี่
หลักการทำงาน	การทำงานของแบตเตอรี่ จะอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี โดยแบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ การคายประจุ (Discharge) และการ อัดประจุ (Charge) แสดงดังสมการ 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 รีดอกซ์แบตเตอรี 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 : $Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$
รูปภาพ	 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์ รีดอกซ์แบตเตอรี่
ศักยภาพของเทคโนโลยี	**ลิเทียมไอออน: Short-Term, ลิเที่ยมซัลเฟอร์: Long-Term, รีดอกซ์: Medium-Term** | **ลิเทียมไอออน: 8, ลิเที่ยมซัลเฟอร์: 5, รีดอกซ์: 7** **ข้อดี** ☐ สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดของกำลังไฟฟ้า ตามที่ต้องการ ☐ เกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเตรียมพร้อมในการทำงานต่ำ ☐ มีประสิทธิภาพการทำงานสูง (60-95%) **ข้อจำกัด** ☐ ความสามารถในการคายประจุในแบตเตอรี่บางชนิดมีการลดลงของความจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ☐ มีรอบการใช้งานที่สั้น ☐ แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ใช้วัสดุที่เป็นพิษ **แนวทางพัฒนา** ☐ การเพิ่มความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้สูงขึ้น ☐ พัฒนาอายุการใช้งาน ☐ พัฒนาวัสดุให้มี energy density สูง ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และลดความเป็นพิษของวัสดุ
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** สามารถพิจารณาได้จากการใช้ทดแทนพลังงานของเครื่องจักรที่มีการใช้งานตามปกติ ก่อนการทดแทนด้วยเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานทางด้านเคมี และการจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานทางด้านเคมี ภายใต้สมมติฐานการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคโนโลยี โดยพิจารณาการจากมาตรฐาน และโหลดการใช้งาน **ระเบียบวิธีการที่ใช้** - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2** -
เงินลงทุน	☐ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 1 MWh มีค่าลงทุนระบบเท่ากับ 40 ล้านบาท ☐ รีดอกซ์แบตเตอรี่ ขนาด 5 kW 10 kWh มีค่าลงทุนระบบเท่ากับ 1 ล้านบาท

ปัจจัย	3.2 เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล (Flywheel Energy Storage)
ความหมาย	เป็นระบบกักเก็บพลังงานทางด้านพลังงานกล อุปกรณ์กักเก็บพลังงานแบบฟลายวีลจะประกอบด้วยตัวโรเตอร์ (Rotor) ที่เชื่อมต่อกับกังหันฟลายวีล ตัวโรเตอร์ของฟลายวีลจะทำหน้าที่เสมือนมอเตอร์ไฟฟ้า และจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับให้เป็นพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ซึ่งตัว โรเตอร์จะหมุนที่ความเร็วสูงมาก และเพื่อลดพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทาน
หลักการทำงาน	ส่วนประกอบหลักได้แก่ 1) โรเตอร์ฟลายวีล 2) มอเตอร์/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3) แบริ่งโรเตอร์ 4) ระบบต่อเชื่อมพลังงานไฟฟ้า ระบบฯ จะมีมอเตอร์ขับเคลื่อนโรเตอร์ฟลายวีลด้วยความเร็วสูง ดังนั้นพลังงานจะถูกเก็บไว้ในรูปพลังงานทางกลในโรเตอร์ เมื่อจำเป็นต้องใช้พลังงานจะคายพลังงานไฟฟ้าโดยการลดความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ฟลายวีล ไฟฟ้าถูกส่งออกจากมอเตอร์ซึ่งโดยปกติจะเป็นแบบ dual-direction (มอเตอร์/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) โดยปกติโรเตอร์ฟลายวีลจะถูกยึดจับด้วยแบริ่งโรเตอร์แบบกล (Mechanical Bearing) 
รูปภาพ	 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน  โครงสร้างของระบบกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	**Long-Term** / **TRL: Level 5** **ข้อดี** ☐ ความหนาแน่นของกำลังไฟสูง ☐ อายุการใช้งานยาวนาน ☐ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม **ข้อจำกัด** ☐ มีการสูญเสียทางประสิทธิภาพพลังงานสูง ☐ สามารถใช้พลังงานในระยะเวลาสั้น **แนวทางพัฒนา** ☐ การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ☐ การลดการสูญเสียทางด้านประสิทธิภาพพลังงานโดยการลดแรงเสียดทานระหว่างแกนของ โรเตอร์ฟลายวีล และแบริ่งโรเตอร์
ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	**สมมติฐาน** สามารถพิจารณาได้ จากการใช้ทดแทนการใช้พลังงานของเครื่องจักรที่มีการใช้งานตามปกติก่อนการทดแทนด้วยเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล และการจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยการพัฒนา ประสิทธิภาพของมอเตอร์/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการการลดแรงเสียดทาน ระหว่างแกนของ โรเตอร์ฟลายวีล และแบริ่งโรเตอร์ ภายใต้สมมติฐานการ ปรับปรุงประสิทธิภาพ โดยพิจารณาการจากมาตรฐานและโหลดการใช้งาน **ระเบียบวิธีการที่ใช้** - **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้** - **ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2** -
เงินลงทุน	ยังไม่มีโครงการเชิงพาณิชย์ที่มีการบูรณาการกระบวนการเหล่านี้ให้เกิดขึ้นค่าใช้จ่ายจึงค่อนข้างมีความไม่แน่นอนแล้วแต่การพัฒนาเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานแบบฟลายวีล

ปัจจัย	3.3 ระบบโครงข่ายสำหรับส่งไฟฟ้าอัจฉริยะแบบครบวงจรโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล (Smart Grid)
ความหมาย	เป็นระบบที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ (ICT) ระบบเซ็นเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านการควบคุมอัตโนมัติ มาพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง และทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่างๆ ในระบบมากขึ้น เพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้ กระบวนการเหล่านี้จะต้องเกิดขึ้นทั่วทั้งระบบไฟฟ้า ซึ่งครอบคลุมระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบผู้ใช้ไฟฟ้า
หลักการทำงาน	ระบบSmart Grid มีเทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถตรวจวัด รับส่ง สัญญาข้อมูล และทำงานร่วมกับอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ โดยมีเทคโนโลยีในกลุ่มต่างๆ ได้แก่ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT), เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า, เทคโนโลยีการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ, เทคโนโลยีมิเตอร์อัจฉริยะ (AMI) และการปรับความต้องการไฟฟ้า (Demand Response) และเทคโนโลยีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า (EMS) โดยที่การคำนวณแบบกริด เป็นการคำนวณซึ่งเกิดจากการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสูงหลายเครื่องมาทำงานเชื่อมต่อกัน เพื่อให้ได้การประมวลผลที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ละเอียดซับซ้อน สมาร์ทกริดจึงทำงานคล้ายกับอินเทอร์เน็ตที่มีเราเตอร์ (Router) ในการเชื่อมต่อข้อมูล สมาร์ทกริดจะมีมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) ที่ปรับปรุงการอ่านค่าการใช้ไฟให้ละเอียดยิ่งขึ้น ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุม หรือตรวจวัดพลังงานภายในแต่ละสถานที่ของโครงข่าย ที่รับสัญญาณข้อมูลต่างๆ ทางด้าน พลังงาน เพื่อเชื่อมต่อกับแหล่งไฟฟ้าภายในโครงข่ายและส่งสัญญาณโต้ตอบระหว่างผู้ให้บริการกับผู้ใช้ว่าการใช้พลังงานเป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่
รูปภาพ	 เครือข่ายระบบ Smart Grid
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short-Term / TRL: Level 9

ข้อดี	ข้อจำกัด	แนวทางพัฒนา
☐ สามารถจัดการให้เกิดสมดุลระหว่าง การใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าตลอดเวลา ☐ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้ ☐ การบริหารจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น	☐ ต้องอาศัยกลไกราคาและสิ่งจูงใจเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินการ เนื่องจากมีต้นทุนของระบบสูง	☐ การสร้างระบบการพยากรณ์ไฟฟ้าที่ใช้และผลิตพลังงาน ที่มีความแม่นยำ ☐ ระบบมีความเสถียร ☐ ลดต้นทุนของระบบ

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2	สมมติฐาน	ระเบียบวิธีการที่ใช้
	-	-
		ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้
		-
		ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2
		-

เงินลงทุน	การลงทุนขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการติดตั้งระบบ ซึ่งต้องมีการสำรวจ และระบุจำนวนจุดติดตั้งของระบบโครงการให้มีความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เงินลงทุนจึงค่อนข้างมีความไม่แน่นอน

ปัจจัย	3.4 เทคโนโลยีเครื่องสำรองไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Uninterruptible Power Supply: UPS)
ความหมาย	"เครื่องสำรองไฟฟ้าและปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ" หรือ แหล่งจ่ายพลังงานต่อเนื่อง UPS ถือเป็น อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ได้อย่างต่อเนื่องแม้ในเวลาที่ เกิดไฟดับหรือเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าผันผวนผิดปกติ โดย UPS จะทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
หลักการทำงาน	หลักการของ UPS คือใช้วิธีการแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ส่วนหนึ่ง เมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า UPS ก็จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แล้วจึงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าตามปกติ ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบ UPSให้ประสิทธิภาพของ UPS สูงขึ้น 75-96% เพื่อลดสูญเสียจากการแปลงกระแสไฟฟ้า โดยมีการเพิ่มเทคโนโลยีระบบ UPS ดังนี้ **1.Power Factor Correction (PFC)** เป็นวงจรปรับปรุงลักษณะการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่า PF. ต่ำกว่า 1 (เช่น PF = 0.6) ให้มีค่าใกล้เคียง 1 (เช่น PF =0.98) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และคุณภาพของสายส่งไฟฟ้าให้ดีขึ้น ลดส่วนสูญเสีย (loss) ในระบบสายส่งไฟฟ้าลง โดยการเพิ่มวงจรปรับมุมองศาของการกินกระแสไฟฟ้า ให้เป็นมุมองศาเดียวกันกับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า เพื่อลดค่า VAR **2.True Online Double Conversion UPS Technology** จะสามารถปกป้องอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ดีที่สุด เนื่องจากในสภาวะปกติ (Normal mode) เครื่องจะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ด้วยวงจร AC/DC rectifier แล้วจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้กลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วยวงจร DC/AC inverter โดยเป็นรูปคลื่นแบบไซน์เวฟ (Sine wave) เช่นเดียวกันกับรูปคลื่นไฟฟ้าแบบปกติของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า (220 +/- 1%) ได้ดีอย่างต่อเนื่อง
รูปภาพ	ระบบ UPS ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
ศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยี	Short-Term / TRL: Level 9

ข้อดี

- ☐ สามารถบริหารจัดการคุณภาพไฟฟ้าและใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ
- ☐ ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีรุ่นก่อนๆ

ข้อจำกัด

- ☐ เป็นระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนต่อการออกแบบติดตั้งและควบคุม จำเป็นต้อง
- ☐ ใช้ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์มาดำเนินงาน
- ☐ ต้นทุน ค่าติดตั้งและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

แนวทางพัฒนา

- ☐ ควรพัฒนาแบตเตอร์รี่ให้สามารถสำรองไฟได้ในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นและในราคาที่ถูกลง
- ☐ ควรพัฒนาให้สามารถเชื่อมกับแอพพลิเคชั่นในมือถือ เพื่อแจ้งและประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

สมมติฐาน

- ☐ เปลี่ยนเครื่องสำรองไฟฟ้าขนาด 800 kVA แบบ Tru online เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานจาก 89% เป็น 95%
- ☐ เงินลงทุน 6.5377 ล้านบาท
- ☐ อายุโครงการ 7 ปี

ระเบียบวิธีการที่ใช้

T-VER-METH-EE-15

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้

95 tCO_2e/year

ต้นทุนต่อหน่วย tCO_2

9,800.18 บาท/tCO_2e

เงินลงทุน

มีปัจจัยเรื่องของรูปแบบการใช้งานของระบบซึ่งอาจจะใช้อุปกรณ์ที่ต่างกันทำให้ราคาของระบบขึ้นอยู่กับการใช้งานและการออกแบบ