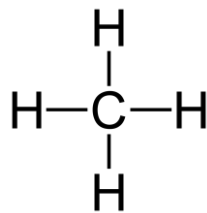


## บทที่ 26 รายละเอียดข้อมูลเชื้อเพลิงชีวภาพประเภท เมทานอลชีวภาพ (Bio-methane)

### 1. ข้อมูลทั่วไป

ปัจจุบันอัตราการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพในเชิงพาณิชย์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอดีต โดยวัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิต ได้แก่ ของเสียจากอาหาร ของเสียจากสัตว์ สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย ถ่าน และไม้แห้ง เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบจะขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยทางกลุ่มประเทศยุโรปมีการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพ รวมถึงประเทศญี่ปุ่นได้มีการสร้างโรงงานก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งสมรรถนะของการผลิตจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ กล่าวคือปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพแบบหมักมีอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักทั้งระดับสูง กลาง และต่ำ โดยระบบที่มีอุณหภูมิสูงจะแสดงถึงสมรรถนะสูงในการผลิตเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่น ข้อเสียของกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพ คือ อัตราการย่อยต่ำ อัตราการกำจัดแอมโมเนียมและฟอสเฟสต่ำ ใช้ระยะเวลาบำบัดนาน และต้องให้ความร้อนภายในกระบวนการ แต่สิ่งที่ได้จากการหมักทั้งของเหลวและกากของเสียจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในทางเกษตร เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น โครงสร้างของก๊าซมีเทนชีวภาพแสดงดังภาพที่ 1

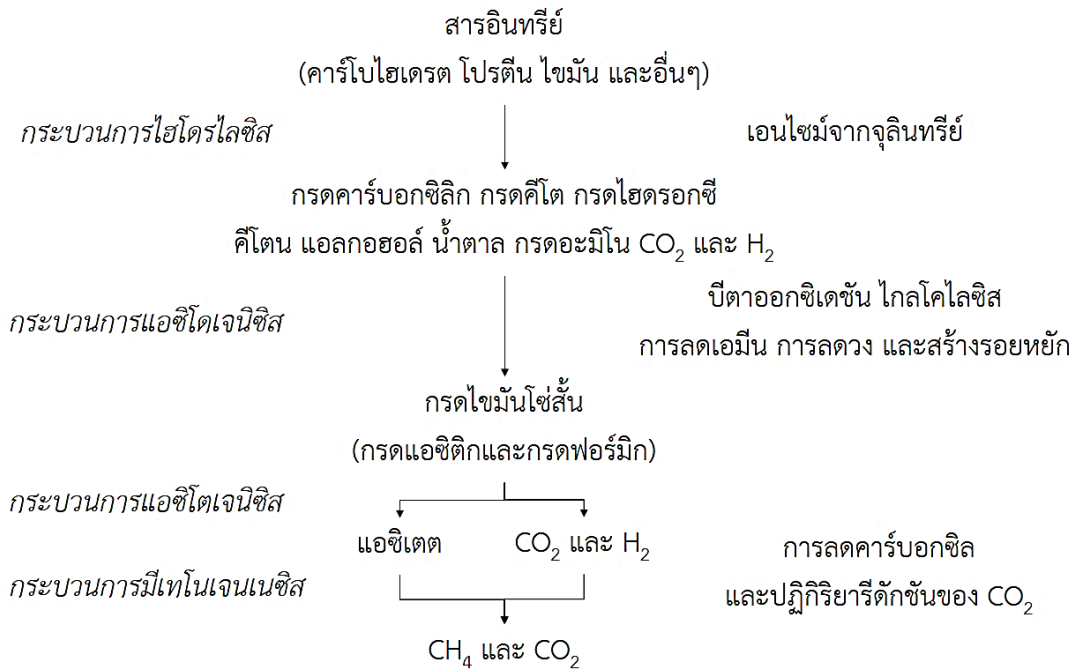


ภาพที่ 1 โครงสร้างของก๊าซมีเทนชีวภาพ

ชื่อทางเคมีของก๊าซมีเทนชีวภาพ คือ Methane และชื่อทางการค้าของก๊าซมีเทนชีวภาพนิยมใช้ คือ Biomethane และ Bio-methane อีกทั้งยังสามารถเรียกได้ตามผลผลิตของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ได้แก่ Synthetic Natural Gas (SNG) เมื่อใช้วัตถุดิบจำพวกไม้ และชีวมวล Biogenic Synthetic Gas (BioSNG) เมื่อใช้วัตถุดิบเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการอิเล็กโทรไลซิส Biogenic Synthetic Gas (BioSNG)

### 2. กระบวนการสังเคราะห์

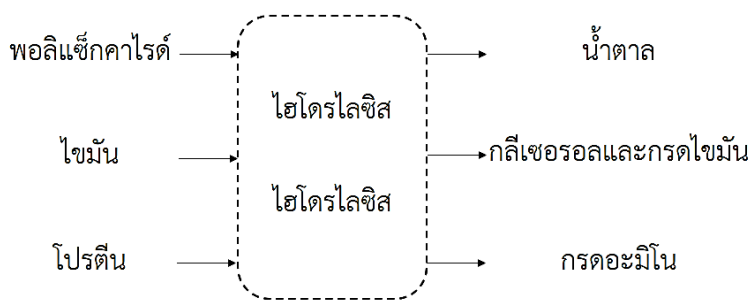
การสังเคราะห์ก๊าซมีเทนชีวภาพสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ การผลิตโดยอาศัยจุลินทรีย์ การไพโรไลซิส (Pyrolysis) และกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซ (Gasification) ในการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ต่างๆที่มาจากวัตถุแต่ละประเภทให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดดังแสดงในภาพที่ 2 สามารถแบ่งกระบวนการหมักย่อยไร้อากาศเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการไฮโดรไลซิส กระบวนการแอสซิโตเจนิซิสและแอสซิโตเจนิซิส และกระบวนการมีเทนเจนิซิส<sup>[1]</sup>



ภาพที่ 2 การแปลงสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ชีวภาพ <sup>[1]</sup>

กระบวนการไฮโดรไลซิส

เป็นกระบวนการลดขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบมีขนาดโมเลกุลใหญ่และไม่สามารถละลายน้ำได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็นต้น แบคทีเรียจึงไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ในทันที เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ จึงต้องทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลเพื่อให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงและสามารถละลายน้ำได้เสียก่อน โดยจะมีแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล สำหรับสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ได้มา ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน ภาพที่ 3 แสดงถึงสารอินทรีย์ที่ได้หลังจากการลดขนาดด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยมีวัตถุดิบตั้งต้นเป็นคาร์โบไฮเดรตกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ไขมัน และโปรตีน

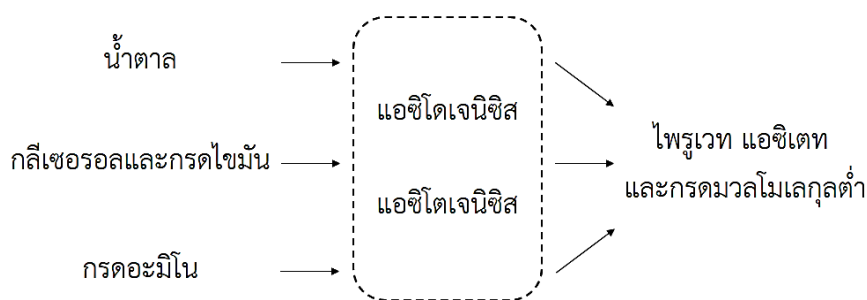


ภาพที่ 3 การลดขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส <sup>[1]</sup>

กระบวนการแอซิโดเจนิซิสและแอซิโดเจนิซิส

กระบวนการแอซิโดเจนิซิส (Acidogenesis) เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดเล็กให้เป็นกรดอินทรีย์ ดังภาพที่ 4 โดยสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงจะสามารถซึมผ่านเข้าสู่ผนังเซลล์ได้ แบคทีเรียจึงดูดซึมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บพที่ 26 มีเทนชีวภาพ (Bio-methane)

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กเข้าสู่เซลล์และหลั่งเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเซลล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน (กระบวนการอะซิโตเจเนซิส: Acetogenesis) แล้วขับออกมาภายนอกเซลล์แบคทีเรียในกลุ่มนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด (Acid forming bacteria)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดเล็กให้เป็นกรดอินทรีย์<sup>[1]</sup>

แบคทีเรียในกระบวนการไฮโดรไลซิส และกระบวนการอะซิโตเจเนซิสและแอสซิโตเจเนซิส เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้ลดขนาดและทำการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ แต่ไม่มีหน้าที่ในการสร้างมีเทนชีวภาพ เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า กลุ่มไม่สร้างก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria) แบคทีเรียในกลุ่มนี้มีหลายสายพันธุ์และมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างกัน แสดงในตารางที่ 1

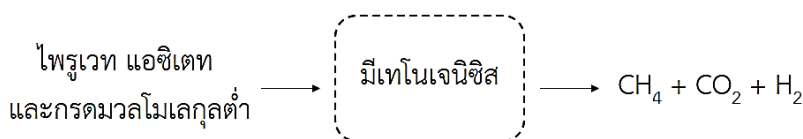
ตารางที่ 1 แบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทนชีวภาพ

แบคทีเรีย	เซลลูโลส	แป้ง	เปปโติน	คาเซอิน	ลิปิด
Alcaigenes bookeni	-	-	-	-	X
A. faecalis	X	-	-	-	-
B. cereus var. Mycooides	-	X	X	X	-
B. cereus	X	X	X	X	-
B. circulans	-	-	X	-	-
B. firmus	-	-	-	-	-
B. megaterium	X	X	X	X	-
B. pumilis	-	-	X	X	X
B. sphaericus	-	-	X	X	-
B. subtilis	-	-	X	X	X
Clostridium carnofoetidum	X	-	-	-	X
Escherichia coli	-	-	X	X	-
Micrococcus candidus	-	X	-	-	-
M. luteus	-	-	-	-	-
M. varians	-	X	X	X	X
M. ureae	-	X	-	-	-
Paraclobacterium intermedium	-	-	X	-	-
P. coliforme	-	-	X	-	-

แบคทีเรีย	เซลลูโลส	แป้ง	เปปโติน	คาเซอิน	ลิวติน
Proteus vulgaris	X	-	-	-	-
Pseudomonas aeruginosa	X	-	-	-	X
P. oleovorans	-	-	-	-	X
P. perolens	-	-	-	-	-
P. reptilivora	X	-	-	-	X
P. riboflavin	X	-	-	-	X
P. spp.	X	X	X	X	X
Streptomyces bikiniensis	-	-	-	-	-

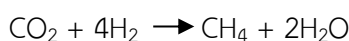
กระบวนการมีเทนोजินซิส

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) โดยแบคทีเรียอีกกลุ่มซึ่งเรียกว่ามีเทนโนเจน (Methanogens) หรือแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane forming bacteria) จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 5 แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องอยู่ในสภาพไร้อากาศ (Obligate anaerobic bacteria) จึงสามารถผลิตมีเทนออกมาได้ ซึ่งก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำเพื่อนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป สำหรับสารอินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยและผลผลิตที่เกิดขึ้นของแบคทีเรียในกลุ่มนี้บางสายพันธุ์แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 5 การผลิตมีเทนด้วยกระบวนการมีเทนโนเจนิซิส<sup>[1]</sup>

ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนมี 2 ขั้นตอนที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตมีเทนคือ กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) และรีดักชัน (Reduction) ในขั้นตอนแรกจะเป็นการเปลี่ยนกรดอะซิติกโดยการออกซิเดชันกับน้ำเพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจนก่อน สำหรับผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้จะถูกรีดักชัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทนและน้ำต่อไป ซึ่งทั้ง 2 ขั้นตอน คือ<sup>[1]</sup>



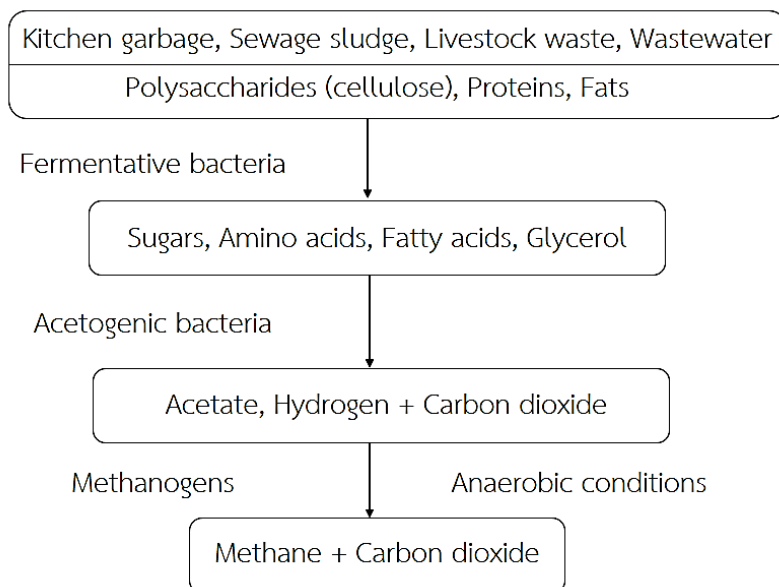
ตารางที่ 2 แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน

แบคทีเรีย	สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์
<i>Methanobacterium formicum</i>	CO CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ฟอร์มเมต	CH <sub>4</sub>
<i>M. mobilis</i>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ฟอร์มเมต	CH <sub>4</sub>

แบคทีเรีย	สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์
<i>M. propionicum</i>	โพรพิโนเอต	CO <sub>2</sub> + อะซิเตท
<i>M. ruminantium</i>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ฟอร์มเมต	CH <sub>4</sub>
<i>M. sohnghii</i>	อะซิเตท บิวทีเรต	CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
<i>Methanococcus mazei</i>	อะซิเตท บิวทีเรท	CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
<i>M. suboxydans</i>	คาโปรเอต บิวทีเรท	โพรพิโนเอต* อะซิเตท*
<i>M.vannielii</i>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ฟอร์มเมต	CH <sub>4</sub>
<i>Methanosarcina barkeri</i>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> เมทานอล อะซิเตท	CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub> CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
<i>M. methanica</i>	อะซิเตท บิวทีเรท	CH <sub>4</sub>

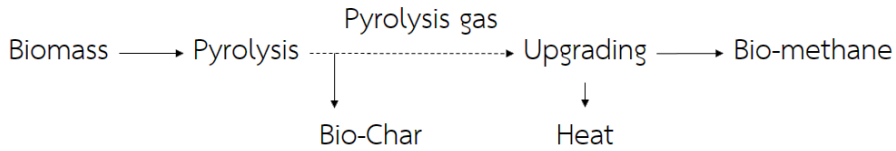
\* อะซิเตทและโพรพิโนเอต เปลี่ยนเป็น CH<sub>4</sub> โดยกระบวนการ 2 ขั้นตอน

ตัวอย่างการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์แสดงดังภาพที่ 6 ขั้นตอนแรกพอลิแซ็กคาไรด์จะถูกสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โปรตีนจะถูกสลายเป็นกรดอะมิโน ส่วนไขมันจะถูกสลายเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ยกตัวอย่างเช่น *Bacteroides spp.* และ *Clostridium spp.* จากนั้นน้ำตาลและกรดอะมิโนจะถูกสลายเป็นอะซิเตทและโพรพิเนท โดยจุลินทรีย์หมักกรด ขั้นตอนสุดท้ายจุลินทรีย์สร้างมีเทนจะเปลี่ยนอะซิเตทหรือก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน

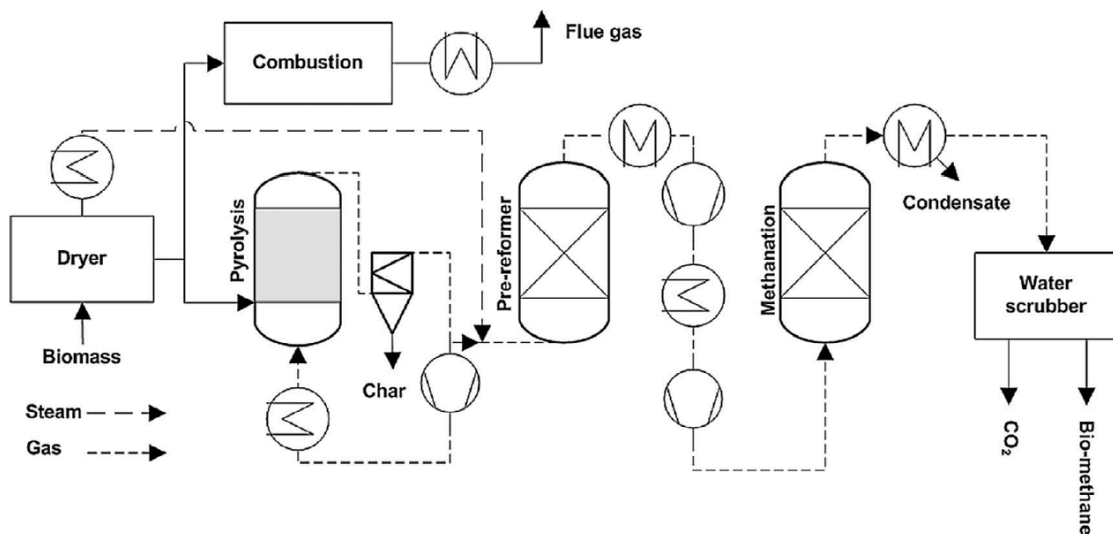


ภาพที่ 6 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ [2]

การผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพแบบไพโรไลซิสมีกระบวนการผลิตดังภาพที่ 7 ขั้นตอนแรกเริ่มจากป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสจะถูกถ่ายโอนไปยังการสังเคราะห์เชื้อเพลิงทันทีหลังจากการกำจัดถ่านและการทำความสะอาดซัลเฟตโดยไม่มีกรลั่นตัวเป็นหยด การสังเคราะห์เชื้อเพลิงประกอบด้วยการพรีรีฟอร์มมิง (Pre-reforming) ตามด้วยกระบวนการเปลี่ยนก๊าซ (Water gas shift: WGS) รวมกับการทำกระบวนการมีเทนोजน รูปแบบกระบวนการทั้งหมดจะแสดงดังภาพที่ 8

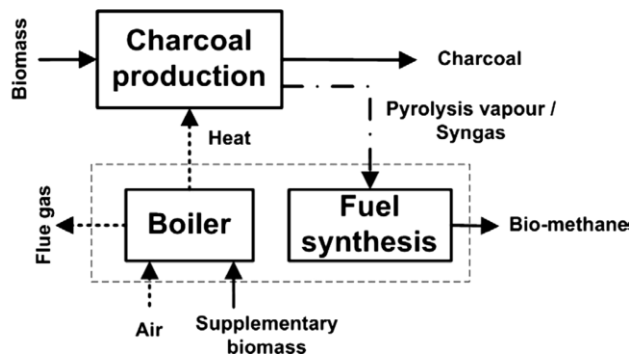


ภาพที่ 7 แผนผังแสดงการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพ [3]

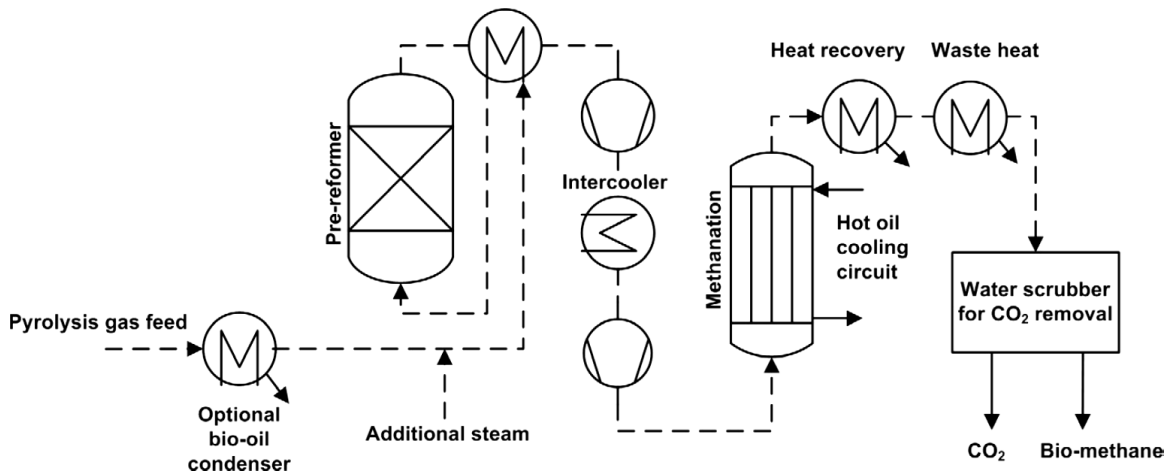


ภาพที่ 8 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพ [3]

ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส เช่น เศษไม้ ฟาง ยางรีครอมและของเสียจากพลาสติก เป็นต้น [4] วัตถุดิบเหล่านี้จะผ่านกระบวนการพรีรีทเมนท์ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้คือ ฟลูอิดไธซ์เบด (Fluidized bed) เนื่องจากต้องการอนุภาคขนาดเล็กและแห้งเพื่อให้มีอัตราการให้ความร้อนสูง การพรีรีทเมนท์ต้องการอบแห้งวัตถุดิบจากความชื้น 50% (ความชื้นของไม้) เหลือประมาณ 7% ความต้องการความร้อนสำหรับการอบแห้งสามารถควบคุมจากแหล่งความร้อนภายในผ่านกระบวนการ โดยภายในกระบวนการจะต้องใช้ไอน้ำเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิง ซึ่งไอน้ำจะรวมกับไอสารบางส่วนจากเครื่องอบแห้ง จากนั้นเศษของน้ำระเหยจากวัตถุดิบจะถูกให้ความร้อนอีกครั้งและเพิ่มเข้าไปในกระแสก๊าซไพโรไลซิสก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์พรีรีฟอร์มมิ่ง ซึ่งไอระเหยไพโรไลซิสจะเปลี่ยนเป็นมีเทนระหว่างการสังเคราะห์เชื้อเพลิง โดยมีไอน้ำทำหน้าที่เป็นแหล่งไฮโดรเจนในการเปลี่ยนเป็นก๊าซจากน้ำและเพื่อลดแรงกดดันบางส่วนของการคาร์บอนและป้องกันการสะสมคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาในการพรีรีฟอร์มมิ่งและเครื่องปฏิกรณ์ของกระบวนการมีเทนोजน [3] ตัวอย่างการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพจากถ่าน (Charcoal) แสดงดังภาพที่ 9 และ 10

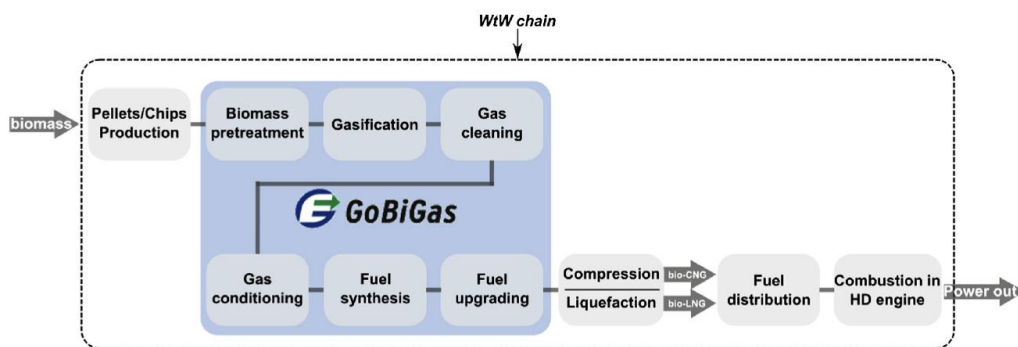


ภาพที่ 9 แผนผังแสดงการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพจากถ่าน [5]



ภาพที่ 10 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพจากถ่าน [5]

การผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพแบบกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าระบบเพื่อทำการพรีทรีทเมนต์ก่อนเข้าระบบแปรสภาพเป็นก๊าซโดยเกิดการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และมีเทน (CH<sub>4</sub>) เรียกว่า ก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis gas) จากนั้นจึงใช้กระแสไฟฟ้าในการทำความสะอาดก๊าซ และก๊าซจะถูกป้อนเข้าไปยังหม้อต้ม ซึ่งความร้อนที่เหลือจะถูกส่งไปยังบิ๊มเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง ก๊าซที่ได้จะเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน แสดงตัวอย่างกระบวนการผลิตได้ดังภาพที่ 11 [6,7]



ภาพที่ 11 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพโดยกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซ [6]

### 3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ภายในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพเพื่อใช้ภายในอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้วัตถุดิบเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพเพื่อใช้แทนน้ำมันได้ เช่น ใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ภายในโรงงาน เป็นต้น

#### 3.1 บริษัทผู้ผลิต Bio-methane

##### 3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Bio-methane ภายในประเทศ

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
บริษัท เชียงใหม่ เพอร์ซิมิลล์ จำกัด	57/1 หมู่ 6 ตำบลท่าวัง ตาล อำเภอสาร์ภี จังหวัด เชียงใหม่ 50140	0-5381-7365	ไทย	<a href="http://www.yellowpages.co.th/">http://www.yellowpages.co.th/</a>
บริษัท รวมพรมิตร ฟาร์ม จำกัด	161-161/1 ม.11 ต.หนองควาย อ.หางดง จ.เชียงใหม่ 50230	053430581-2	ไทย	<a href="http://www.chiangmaiindustry.org/">http://www.chiangmaiindustry.org/</a>
บริษัท ศรีวิโรจน์ ฟาร์ม จำกัด	99, 99/1 ถนน ถนน ศรีจันทร์ ตำบล ในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น ขอนแก่น 40000	043 222 221	ไทย	-
ไทยไบโอแก๊ส เอ็นเนอร์ยี จำกัด	อาคาร The Millennia ชั้น 25, 62 ถนนหลังสวน แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กทม 10330	+66 2 651 9900	ไทย	<a href="http://www.tbec.co.th/">http://www.tbec.co.th/</a>

##### 3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Bio-methane ในต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
EnviTec Biogas AG	Industriering 10a 49393 Lohne Germany	+49 (0) 44 42 / 8016 - 8100	Germany	<a href="http://www.envitec-biogas.com/biomethane/selling-biomethane/">http://www.envitec-biogas.com/biomethane/selling-biomethane/</a>



Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Shenzhen Puxin Technology Co.Ltd	2nd floor, Bldg 4, 49 Jiaoyu North Rd, Gaoqiao District, Pingdi Street, Longgang, Shenzhen, P. R. China	86-755-28938251	China	<a href="http://en.puxintech.com/">http://en.puxintech.com/</a>
Zorg Biogas AG	Uetlibergstrasse 132, CH-8045 Zurich, Switzerland	+41 44 5080081	Switzerland	<a href="http://www.chfour.ca/">http://www.chfour.ca/</a>
MT-Energie UK Ltd	Saxon House, Faraday Drive Bridgnorth, Shropshire WV15 5BA United Kingdom	+44 (0) 1746 768708	United Kingdom	<a href="http://www.mt-energie.com/gb">http://www.mt-energie.com/gb</a>
PlanET Biogas Global GmbH	Up de Hacke 26 48691 Vreden Deutschland	+49 (0) 25 64 / 39 50 - 0	Deutschland	<a href="http://www.planet-biogas.com">www.planet-biogas.com</a>
Greenlane Biogas	Greenlane Technologies Ltd PO Box 11922 Ellerslie 1542 New Zealand	+64 9 571 0687	New Zealand	<a href="http://greenlanebiogas.com/">http://greenlanebiogas.com/</a>
Akermin	1005 N. Warson Road, Suite 101 St. Louis, MO 63132	(314)-669-2612	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothane.com/</a>
Acron Technologies	7777 Exchange Street, Suite 5 Cleveland, OH 44124	(216) 573-1185	North America - USA	<a href="http://www.acron.com/">http://www.acron.com/</a>
ATMI	7 Commerce Drive Danbury , CT 06810	(412)-831-1397	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothane.com/</a>
CH4 BIOGAS LLC	8413 Excelsior Drive, Suite 160 Madison, WI 53717	203-869-1446	North America - USA	<a href="http://ch4biogas.com">http://ch4biogas.com</a>

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Biothane	2500 Broadway Camden, NJ 8104	(856) 541- 3500 x 526	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothane.com/</a>
Clean Energy Renewable Fuels	4675 MacArthur Court, Suite 800 Newport Beach, CA 92660	(949) 437- 1000	North America - USA	<a href="http://www.cleaneenergyfuels.com/company/renewablefuels.html">http://www.cleaneenergyfuels.com/company/renewablefuels.html</a>
Clean Horizons, LLC	5070 N. 35th Street Milwaukee, WI 53209	(414) 831- 1264	North America - USA	<a href="http://www.clearhorizonsllc.com/">http://www.clearhorizonsllc.com/</a>
Columbia Biogas	PO Box 4120, Suite 55888 Portland, OR 97208	(503) 914- 4630	North America - USA	<a href="http://www.columbiabiogas.com/">http://www.columbiabiogas.com/</a>
EcoCorp	1211 S Eads Street Arlington, VA 22202	(703) 979- 4999	North America - USA	<a href="http://www.ecocorp.com/">http://www.ecocorp.com/</a>
Eisenmann Corporation	150 East Dartmore Drive Crystal Lake, IL 60014	(815) 455- 4100	North America - USA	<a href="http://www.eisenmann.com/">http://www.eisenmann.com/</a>
Northern Biogas	PO Box 643 Fond du Lac, WI 54936	(920) 948- 3216	North America - USA	<a href="http://northernbiogas.com/">http://northernbiogas.com/</a>
Entec Biogas USA	4520 North State Road 37 Orleans, IN 47452	(812) 865- 3232	North America - USA	<a href="http://www.entecbiogasusa.com/">http://www.entecbiogasusa.com/</a>
Xebec	730 Boul. Industriel Blainville, Quebec, Canada, J7C 3V4	+1 (450) 979-8700	Canada	<a href="http://www.xebecinc.com/">http://www.xebecinc.com/</a>
Biofrigas	J.A. Wettergrensgata 7 SE-421 30 Vastra Frolunda, Sweden	+46 708- 183807	Sweden	<a href="http://www.biofrigas.se/">http://www.biofrigas.se/</a>
Biogast	Korte Spaame 31 2011 AJ Haarlem, Nederland	023- 5450220	Nederland	<a href="http://www.biogast.nl/">http://www.biogast.nl/</a>

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
BebraBiogas	Kurze Muhren 1 20095 Hamburg, Deutschland	+49 231 9982 700	Deutschland	<a href="http://www.bebra-biogas.com/">http://www.bebra-biogas.com/</a>
Carbotech	Natorpstrabe27 45139 Essen, Germany	+49 (201) 50709-300	Germany	<a href="http://www.carbotech.info/">http://www.carbotech.info/</a>
EnviTec Biogas	BoschstraBe 2 48369 Saerbeck, Germany	+49 (0) 25 74 / 88 88 – 0	Germany	<a href="http://www.envitec-biogas.com/">http://www.envitec-biogas.com/</a>
Cryostar	2 Rue de l"Industrie ZI BP 48 68220 Hesingue, France	+33 389 70 27 27	France	<a href="http://www.cryostar.com/">http://www.cryostar.com/</a>

### 3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-methane

#### 3.2.1 ภายในประเทศ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-methane ภายในประเทศ

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
ไทยไบโอแก๊ส เอ็นเนอร์ยี จำกัด	อาคาร The Millennia ชั้น 25, 62 ถนนหลังสวน แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กทม 10330	+66 2 651 9900	ไทย	<a href="http://www.tbec.co.th/">http://www.tbec.co.th/</a>

#### 3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-methane ในต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
EnviTec Biogas AG	Industriering 10a 49393 Lohne Germany	+49 (0) 44 42 / 8016 - 8100	Germany	<a href="http://www.envitec-biogas.com/biomethane/selling-biomethane/">http://www.envitec-biogas.com/biomethane/selling-biomethane/</a>
Shenzhen Puxin Technology Co.Ltd	2nd floor, Bldg 4, 49 Jiaoyu North Rd, Gaoqiao District, Pingdi Street, Longgang, Shenzhen, P. R. China	86-755- 28938251	China	<a href="http://en.puxintech.com/">http://en.puxintech.com/</a>

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Zorg Biogas AG	Uetlibergstrasse 132, CH-8045 Zurich, Switzerland	+41 44 5080081	Switzerland	<a href="http://www.chfour.ca/">http://www.chfour.c a/</a>
MT-Energie UK Ltd	Saxon House, Faraday DriveBridgnorth, Shro pshire WV15 5BAUnited Kingdom	+44 (0) 1746 768708	United Kingdom	<a href="http://www.mt-energie.com/gb">http://www.mt- energie.com/gb</a>
PlanET Biogas Global GmbH	Up de Hacke 26 48691 Vreden Deutschland	+49 (0) 25 64 / 39 50 - 0	Deutschland	<a href="http://www.planet-biogas.com">www.planet- biogas.com</a>
Greenlane Biogas	Greenlane Technologies Ltd PO Box 11922 Ellerslie 1542 New Zealand	+64 9 571 0687	New Zealand	<a href="http://greenlanebiogas.com/">http://greenlanebiog as.com/</a>
Akermin	1005 N. Warson Road, Suite 101 St. Louis, MO 63132	(314)-669- 2612	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothan e.com/</a>
Acion Technologies	7777 Exchange Street, Suite 5 Cleveland, OH 44124	(216) 573- 1185	North America - USA	<a href="http://www.acion.com/">http://www.acion.c om/</a>
ATMI	7 Commerce Drive Danbury , CT 06810	(412)-831- 1397	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothan e.com/</a>
CH4 BIOGAS LLC	8413 Excelsior Drive, Suite 160 Madison, WI 53717	203-869- 1446	North America - USA	<a href="http://ch4biogas.com">http://ch4biogas.co m</a>
Biothane	2500 Broadway Camden, NJ 8104	(856) 541- 3500 x 526	North America - USA	<a href="http://www.biothane.com/">http://www.biothan e.com/</a>
Clean Energy Renewable Fuels	4675 MacArthur Court, Suite 800 Newport Beach, CA 92660	(949) 437- 1000	North America - USA	<a href="http://www.cleanenergyfuels.com/company/renewablefuels.html">http://www.cleanen ergyfuels.com/comp any/renewablefuels. html</a>

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Clean Horizons, LLC	5070 N. 35th Street Milwaukee, WI 53209	(414) 831-1264	North America - USA	<a href="http://www.clearhorizonsllc.com/">http://www.clearhorizonsllc.com/</a>
Columbia Biogas	PO Box 4120, Suite 55888 Portland, OR 97208	(503) 914-4630	North America - USA	<a href="http://www.columbiabiogas.com/">http://www.columbiabiogas.com/</a>
EcoCorp	1211 S Eads Street Arlington, VA 22202	(703) 979-4999	North America - USA	<a href="http://www.ecocorp.com/">http://www.ecocorp.com/</a>
Eisenmann Corporation	150 East Dartmore Drive Crystal Lake, IL 60014	(815) 455-4100	North America - USA	<a href="http://www.eisenmann.com/">http://www.eisenmann.com/</a>
Northern Biogas	PO Box 643 Fond du Lac, WI 54936	(920) 948-3216	North America - USA	<a href="http://northernbiogas.com/">http://northernbiogas.com/</a>
Entec Biogas USA	4520 North State Road 37 Orleans, IN 47452	(812) 865-3232	North America - USA	<a href="http://www.entecbiogasusa.com/">http://www.entecbiogasusa.com/</a>
Xebec	730 Boul. Industriel Blainville, Quebec, Canada, J7C 3V4	+1 (450) 979-8700	Canada	<a href="http://www.xebecinc.com/">http://www.xebecinc.com/</a>
Biofrigas	J.A. Wettergrensgata 7 SE-421 30 Vastra Frolunda, Sweden	+46 708-183807	Sweden	<a href="http://www.biofrigas.se/">http://www.biofrigas.se/</a>
Biogast	Korte Spaame 31 2011 AJ Haarlem, Nederland	023-5450220	Nederland	<a href="http://www.biogast.nl/">http://www.biogast.nl/</a>
BebraBiogas	Kurze Muhren 1 20095 Hamburg, Deutschland	+49 231 9982 700	Deutschland	<a href="http://www.bebra-biogas.com/">http://www.bebra-biogas.com/</a>
Carbotech	Natorpstrabe27 45139 Essen, Germany	+49 (201) 50709-300	Germany	<a href="http://www.carbotech.info/">http://www.carbotech.info/</a>
EnviTec Biogas	BoschstraBe 2 48369 Saerbeck, Germany	+49 (0) 25 74 / 88 88 – 0	Germany	<a href="http://www.envitec-biogas.com/">http://www.envitec-biogas.com/</a>

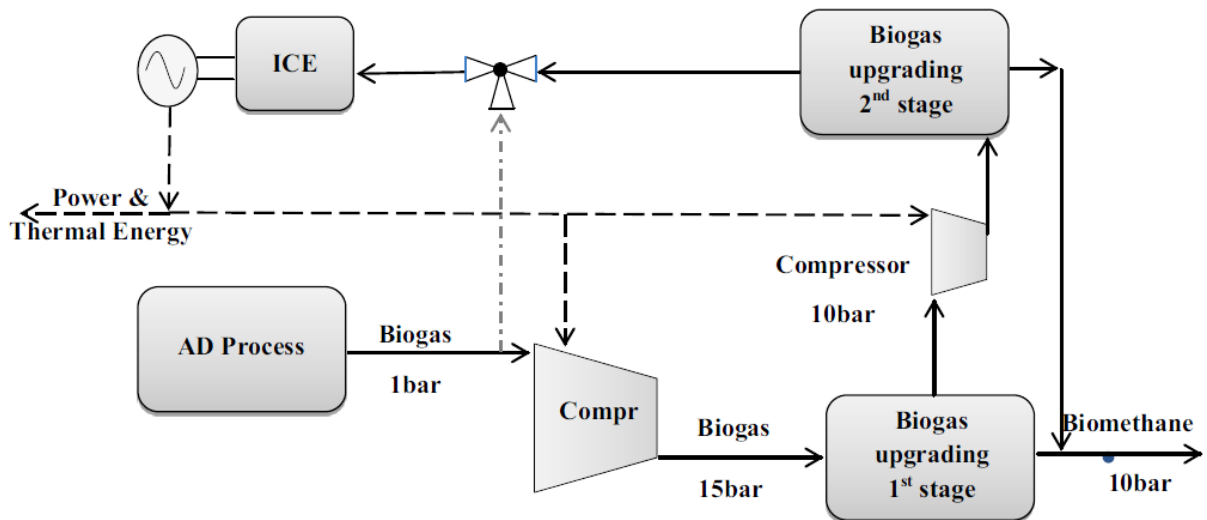
Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Cryostar	2 Rue de l'Industrie ZI BP 48 68220 Hesingue, France	+33 389 70 27 27	France	http://www.cryostar.com/

#### 4. การประยุกต์ใช้ Bio-methane ในอุตสาหกรรม

##### 4.1 การนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานความร้อน

ก๊าซมีเทนชีวภาพที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะมีส่วนประกอบของ ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ประมาณ 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ประมาณ 30-50 % ก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และไอน้ำเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยก๊าซมีเทนจะมีค่าความร้อนประมาณ 39.4 เมกะจูล/ลบ.ม. สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตร ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 kWh<sup>[8]</sup>

เนื่องจากภายในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพด้วยกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซมีความร้อนที่เหลือจากการใช้งานเกิดขึ้น ทำให้สามารถนำความร้อนที่เหลือใช้นี้มาใช้ประโยชน์ในทางอื่นได้ ภาพที่ 12 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพและพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากการผลิตพลังงานที่ใช้สำหรับขั้นตอนการบีบอัด ซึ่งการผลิตก๊าซมีเทนวิธีนี้จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากสามารถนำพลังงานความร้อนมาใช้ได้อีกครั้ง และสามารถหลีกเลี่ยงการปล่อยมลพิษได้อีกเช่นกัน<sup>[9]</sup>

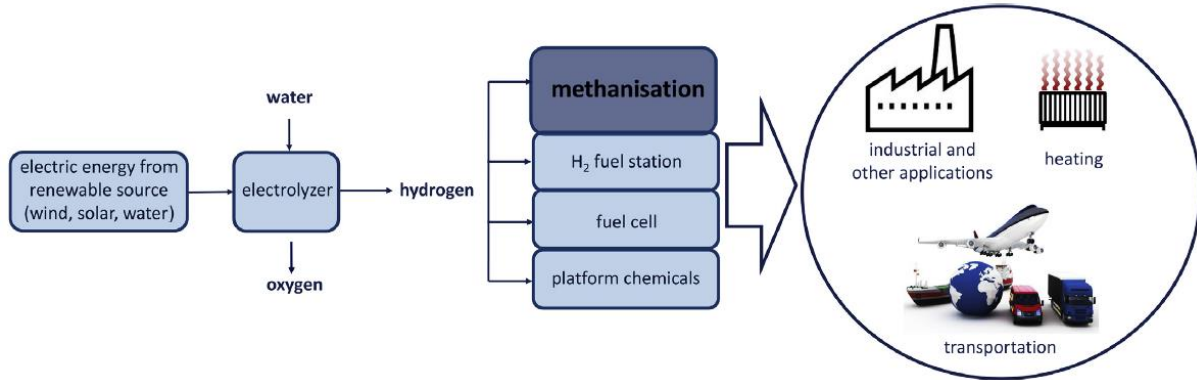


ภาพที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพพร้อมพลังงานความร้อน<sup>[9]</sup>

##### 4.2 การนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีใหม่สำหรับการสร้างแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมมีศักยภาพที่ดี แต่การใช้ประโยชน์ของแหล่งพลังงานเหล่านั้นเป็นเรื่องยากเนื่องจากการผลิตและการบริโภคมีความผันผวน ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าที่มีความผันผวนและไม่ต่อเนื่องจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเกิดขึ้นโดยเฉพาะในระบบไฟฟ้าในท้องถิ่นที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนสูง ในอนาคตคาดว่าจะมีการป้อนพลังงานไฟฟ้าทดแทนที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ด้วยเทคโนโลยีพลังงานไฟฟ้าก๊าซจะเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนโดยการอิเล็กโทรไลซิสด้วยน้ำ ไฮโดรเจนสามารถเก็บไว้ในถังแรงดัน

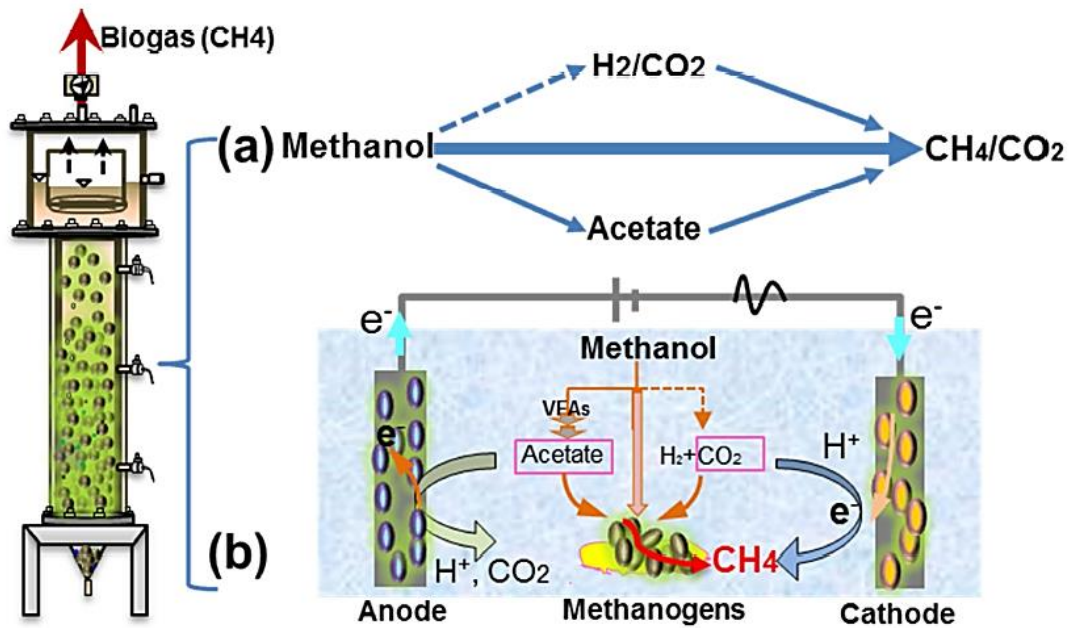
และเมื่อจำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากับเซลล์เชื้อเพลิงหรือเครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจน<sup>[10]</sup> นอกจากจะใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าความร้อนและความร้อนไฮโดรเจนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเคมีหรือสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น ก๊าซมีเทน ดังภาพที่ 13 ซึ่งในส่วนของก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปใช้ได้หลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานยนต์แทนการใช้น้ำมัน เป็นต้น<sup>[11]</sup>



ภาพที่ 13 แผนผังการนำก๊าซมีเทนชีวภาพไปใช้งานในด้านการขนส่ง<sup>[11]</sup>

#### 4.3 การประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

การผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพสามารถผลิตขึ้นพร้อมกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียและกระบวนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยงานวิจัยนี้นำเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เชื่อมต่อกับเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพกำลังไฟฟ้า และควบคู่กับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานเคมีในสารอินทรีย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยระบบจะถูกแบ่งเป็นด้านแอโนดและแคโทดกั้นกลางด้วยเมมเบรนซึ่งกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์จะเริ่มจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโมเลกุลของสารอาหาร ทำให้ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ในรูปสารตัวกลาง เมื่อสารตัวกลางถูกออกซิไดซ์ อิเล็กตรอนก็จะถูกส่งต่อเป็นทอดๆ ในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ระหว่างที่อิเล็กตรอนถูกส่งต่อเป็นทอดๆ จะให้พลังงานแก่จุลินทรีย์โดยในขั้นตอนสุดท้ายอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกส่งต่อให้แก่ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายนั่นคือ ก๊าซมีเทน อีกทั้งภายในเซลล์เชื้อเพลิงยังเกิดปฏิกิริยามีเทนเจนเพื่อผลิตก๊าซมีเทน จากนั้นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตเป็นก๊าซมีเทนชีวภาพต่อไป



ภาพที่ 14 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพและกำลังไฟฟ้าควบคู่กับการบำบัดน้ำเสีย [12]

### 5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

เนื่องจากก๊าซมีเทนชีวภาพสามารถผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ ซึ่งในปี 2020 คาดว่าจะมีการใช้งานก๊าซชีวภาพถึง 41.6 Mtoe เพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูงจึงนิยมใช้ก๊าซมีเทนชีวภาพเป็นหลัก โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนิยมใช้จากของเสียทางภาคเกษตรกรรม ได้แก่ มูลสัตว์ (คิดเป็นร้อยละ 35%) และฟาง (ร้อยละ 5) โดยภาคเกษตรกรรมมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 32.8 Mtoe นอกจากนี้ยังมีการใช้ขยะมูลฝอยประกอบด้วยของเสียจากขยะอินทรีย์และขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการบำบัดที่เหมาะสมส่งผลให้ศักยภาพของก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 8.8 Mtoe โดยรวมแล้วจะมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 41.6 Mtoe (1,741 PJ) หากผลิตจากก๊าซชีวภาพ เช่นการบำบัดน้ำเสียจากการฝังกลบ สามารถผลิตได้ถึง 10.9 Mtoe (456 PJ)

การผลิตก๊าซมีเทนชีวภาพในอนาคตต้องสอดคล้องกับความปลอดภัยในการจัดหาความยั่งยืนและความสามารถในการแข่งขัน โดยนโยบายด้านพลังงานของยุโรปในปี 2020 สร้างขึ้นจากวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ความมั่นคงด้านพลังงาน การพัฒนาอย่างยั่งยืน และความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งเรื่องความปลอดภัยในการจัดหาพลังงานเพื่อลดความเสี่ยงจากการสัมผัสกับความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลและทำให้เกิดความมั่นคงในการจัดหาพลังงานด้วยการกระจายแหล่งผลิตพลังงานที่มีอยู่ เรื่องความยั่งยืนมีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการฟื้นตัวของพลังงานจากของเสีย และการพัฒนาสภาพแวดล้อมที่มีสุขภาพดี การเรื่องแข่งขันคือ การส่งเสริมการผลิตพลังงานในท้องถิ่นและการจำลองนวัตกรรมทางเทคโนโลยีเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาตลาดพลังงานของการแข่งขันและเพิ่มโอกาสการจ้างงาน [13]

ในประเทศไทยมียุทธศาสตร์การส่งเสริมการใช้ก๊าซมีเทนชีวภาพทดแทนการใช้เชื้อเพลิงความร้อน ซึ่งภาครัฐควรให้ความสำคัญกับการเร่งส่งเสริมการใช้ก๊าซมีเทนชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซธรรมชาตินอกแนวท่อ ก๊าซก่อนโดยเฉพาะพื้นที่ห่างไกลจากแนวท่อมากกว่า 300-400 ก.ม. เนื่องจากมีแนวโน้มเกิดสถานะสมดุลราคา (Parity) ได้เร็วที่สุด



- ผู้ใช้กลุ่มรถยนต์ CNG (หรือ NGV) ภาครัฐควรให้ความสำคัญกับการเร่งส่งเสริมการใช้ก๊าซมีเทนชีวภาพเพื่อทดแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ความร้อนนอกแนวท่อก๊าซในลำดับถัดมา เนื่องจากมีแนวโน้มเกิดสถานะสมดุราคา (Parity) ได้ตั้งแต่ปี 2570 เป็นต้นไป
  - ผู้ใช้กลุ่มรถยนต์ LPG โดยสนับสนุนให้เปลี่ยนมาใช้ CBG/CNG
  - ผู้ใช้กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมนอกแนวท่อที่ต้องการความร้อนที่มีคุณภาพมากกว่าก๊าซชีวภาพ
- การส่งเสริมการใช้ก๊าซมีเทนชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซธรรมชาติในแนวท่อก๊าซ จะต้องมีการส่งเสริมพิเศษ เนื่องจากแม้ว่าก๊าซมีเทนชีวภาพจะมีราคาสูงกว่า LNG แต่ก็เกิดประโยชน์ต่อประเทศมากกว่า
  - การส่งเสริมด้านการพัฒนาเทคโนโลยี เช่น เทคโนโลยีการผลิตก๊าซ พัฒนาผลผลิตด้านเกษตรกรรม
  - มาตรการช่วยเหลือด้านการเงินจากภาครัฐ<sup>[14]</sup>

### เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. นคร ทิพย์วงศ์. เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพและไฮโดรเจน. ชื่อหนังสือ เทคโนโลยีการแปรสภาพชีวมวล. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [2] ชินยา โยโกฮามา. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตการใช้สารชีวมวล. โครงการสนับสนุนการสร้างเอเชียพันธมิตร เพื่อการเกษตรใส่ใจสิ่งแวดล้อม รับมอบหมายจาก กระทรวงเกษตร ป่าไม้ และประมง.
- [3] Martin, G., Marten, Larsson., Per, A., (2013). Bio-methane via fast pyrolysis of biomass. *Applied Energy*, 3, 440–447.
- [4] Ringer M, Putsche V, Scahill J. Large-scale pyrolysis oil production: a technology assessment and economic analysis. Report no. NREL/TP-510-37779. Colorado (USA): National Renewable Energy Laboratory; 2006.
- [5] Larsson, M., Görling, M., Grönkvist, S., & Alvfors, P. (2013). Bio-methane upgrading of pyrolysis gas from charcoal production. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 3, 66-73.
- [6] Alamia, A., Magnusson, I., Johnsson, F., & Thunman, H. (2016). Well-to-wheel analysis of bio-methane via gasification, in heavy duty engines within the transport sector of the European Union. *Applied Energy*, 170, 445-454.
- [7] เพชรดา เวณันท์, วารุณี ลิขิตสุภิน และ ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน. วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 15 เล่มที่ 3.
- [8] โครงการศึกษามาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้า จากพลังงานหมุนเวียน สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
- [9] Molino, A., Nanna, F., & Iovane, P. (2015). Low pressure biomethane production by anaerobic digestion (AD) for the smart grid injection. *Fuel*, 154, 319-325.
- [10] Molino A, Braccio G. Synthetic natural gas SNG production from biomass gasification – thermodynamics and processing aspects. *Fuel* 2015;139:425–9.
- [11] Bagi, Z., Ács, N., Böjti, T., Kakuk, B., Rákhely, G., Strang, O., ... & Kovács, K. L. (2017). Biomethane: The energy storage, platform chemical and greenhouse gas mitigation target. *Anaerobe*.

- [12] Zhen, G. , Lu, X. , Kobayashi, T. , Su, L. , Kumar, G. , Bakonyi, P. , ... & Zhao, Y. (2017). Continuous micro- current stimulation to upgrade methanolic wastewater biodegradation and biomethane recovery in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Chemosphere*, 180, 229-238.
- [13] Green gas grid. Biomethane Guide for Decision Makers. WP 2 / D 2.3 September 2013.
- [14] ปัจจัยขับเคลื่อนการส่งเสริมไบโอมีเทน ด้านตลาดผู้ใช้การจัดการวัตุดิบพืชพลังงาน และเทคโนโลยีการผลิตไบโอมีเทน. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 22 สิงหาคม 2557.