

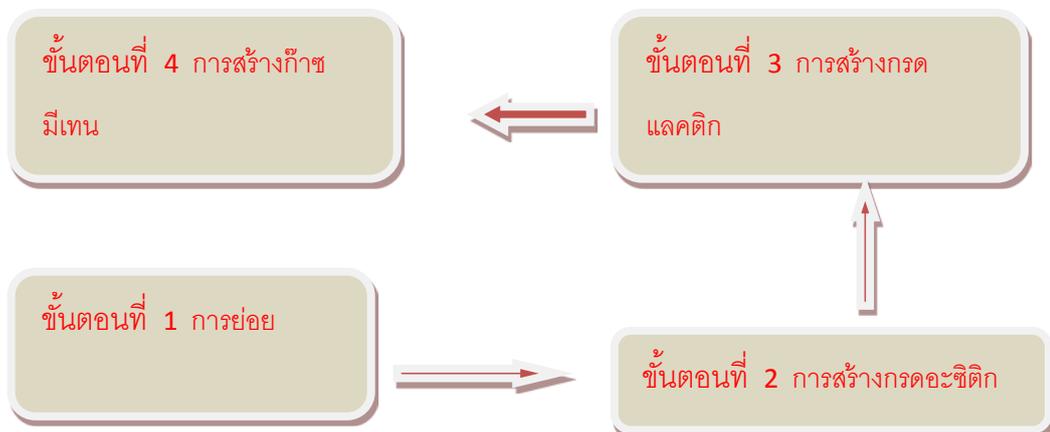
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีพของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ โดยสามารถแบ่งชนิดกลุ่มแบคทีเรียตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. แบคทีเรียสร้างกรด (Acid former bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ
2. แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane former bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์
3. แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate reducing bacteria) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า (H_2S)



ภาพประกอบ 2.1 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

แหล่งที่มา : Greenenergynet.net, 2009

ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ

1. ขั้นตอนที่ 1 การย่อย (Hydrolysis) ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น

2. ขั้นตอนที่ 2 และ 3 การสร้างกรด (Acidogenesis and acetogenesis) ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรก จะถูกเปลี่ยนให้เป็นการผลิตกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูโวนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก โดยแบคทีเรียสร้างกรด โดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิด ซึ่งบางชนิดแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้ โดยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ เช่น กรดไพรูโวนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ในระบบ ธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ

3. ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจาก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน โดยคิดเป็น 70% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้ อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน

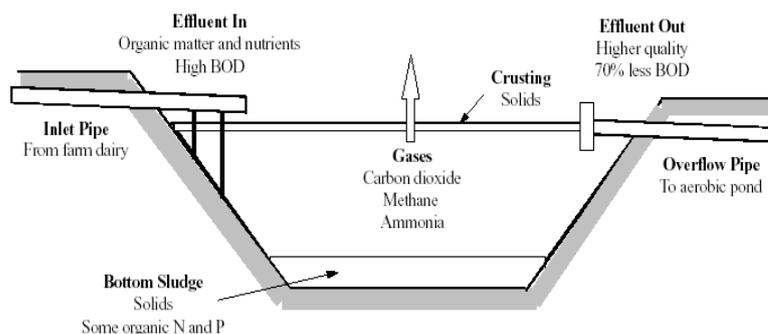
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้น ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอย่าง

แพร่หลายมากขึ้นอย่างมาก ด้วยเหตุผลหลักสองประการ คือช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถช่วยลดการใช้สารพลังงานของโรงงาน โดยรูปแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมมีดังนี้

1. บ่อหมัก (Anaerobic Pond)

ทำงานโดยอาศัยแบคทีเรียที่ลอยกระจายตัวอยู่ในบ่อ แบคทีเรียในระบบจะมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์นานอยู่ระหว่าง 5 – 45 วัน ทำให้ต้องใช้พื้นที่บ่อใหญ่่มาก หากต้องการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ต้องคลุมด้วยพลาสติก เช่น PVC, HDPE



ภาพประกอบ 2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ บ่อหมัก Anaerobic Pond
แหล่งที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), (2556)

2. ระบบบ่อปิด (Covered Lagoon)

บ่อหมักระบบปิดเป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพรูปแบบหนึ่ง โครงสร้างบ่ออาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินชุกก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินชุกอาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของเสียลงสู่ดิน ด้านบนของบ่อคลุมด้วยผืนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อและเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นแพร่กระจาย หลักการทำงานของระบบนี้เนื่องจากด้านบนมีพลาสติกคลุมทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสียในสภาพไร้ออกซิเจนได้ ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ



ภาพประกอบ 2.3 ระบบบ่อปิด (Covered Lagoon)
แหล่งที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), (2556)

3. ระบบหมัก ถังกรองไร้ออกซิเจน (AF, Anaerobic Filter หรือ Anaerobic Fixed Film)

ระบบได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้นจากถังหมักที่อาศัยการทำงานของตะกอน จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสีย มาเป็นแบบระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวสารกรองแบบไม่ใช้อากาศส่วนประกอบที่สำคัญคือถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้วหรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะมีอัตราบำบัดสูงกว่า(ใช้เวลาที่น้ำต่ำกว่า) อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ หากความเร็วของน้ำในถังปฏิกริยาเกิน 2 เมตร/วิน จะเกิดการชะเอา Floc Sludge ออกจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และหากเกิด Fixed Film มากจนควบคุมไม่ได้ก็จะเกิดการอุดตันและเกิดการไหลลัดวงจรทำให้ประสิทธิภาพลดลง จากข้อด้อยดังกล่าวทำให้ต้องใช้พื้นที่มากและมีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา อีกทั้งตัวกลางที่มีคุณสมบัติที่ดีครบถ้วนจะมีราคาแพง (6,000 บาท/ลบ.ม.) ถังกรองไร้ออกซิเจนจึงไม่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานกับระบบขนาดใหญ่ แต่ก็มีการใช้งานอยู่บ้างกับระบบขนาดเล็กและขนาดกลาง

ข้อดี ระบบหมักแบบถังกรองไร้ออกซิเจน

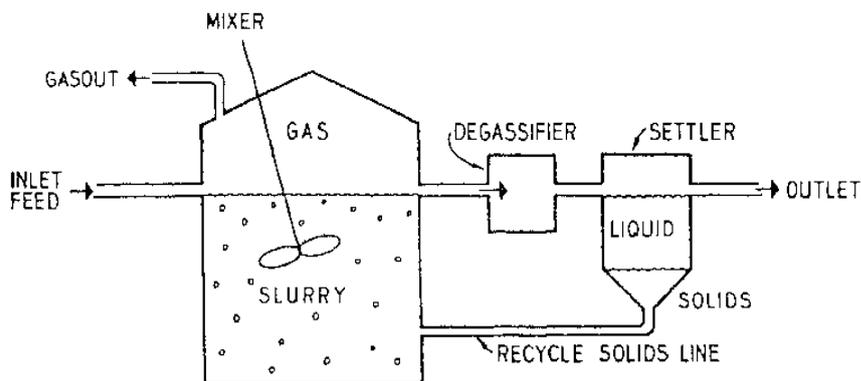
- 1.สามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูง
- 2.ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสีย
- 3.ง่ายต่อการควบคุมระบบ

ข้อเสีย ระบบหมักแบบถังกรองไร้ออกซิเจน

1. ค่าก่อสร้างระบบสูงกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากราคาของวัสดุกรองที่สูง
2. มีปัญหาอุดตันในระยะยาว

4. ระบบหมักแบบถังย่อยแบบสัมผัส (AC, Anaerobic Contact)

ถังย่อยแบบสัมผัส ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังภาพประกอบ 2.4 โดยถังกวนสมบูรณ์ จะมีถังตกตะกอนขนาดใหญ่ทำหน้าที่แยกแบคทีเรียออกจากน้ำเสียเพื่อนำตะกอนจุลินทรีย์มาหมุนเวียนกลับเข้าถังกวนสมบูรณ์ใหม่เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ถังกวนสมบูรณ์จะเลี้ยงแบคทีเรียชนิด Floc Sludge ให้มีความเข้มข้นสูงประมาณ 10,000 – 30,000 มก./ลิตร โดยทั่วไประบบจะสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุด 6 กก.COD/ลบ.ม. -วัน จากการที่ระบบต้องมีถังตกตะกอนและการหมุนเวียนตะกอนกลับ ทำให้ถังหมักมีค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดใกล้เคียงกับระบบเติมอากาศ ซึ่งจะแพงกว่าระบบไร้ออกซิเจนประเภทอื่น ๆ อีกทั้งมีปัญหาในการควบคุมให้ Floc Sludge ตกตะกอน ระบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในหมู่วิศวกรผู้ออกแบบคนไทยทำให้มีใช้กันน้อยมาก ส่วนในต่างประเทศนิยมใช้กันมากในอดีต



ภาพประกอบ 2.4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสัมผัส AC โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor)

แหล่งที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), (2556)

ข้อดี ระบบหมักแบบถังย่อยแบบสัมผัส

1. มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสูง สามารถรับภาระปริมาณการเติมสารอินทรีย์สูง ช่วยลดระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในถังหมัก
2. ค่าก่อสร้างระบบหมักไม่สูงมากนัก

ข้อเสีย ระบบหมักแบบถังย่อยแบบสัมผัส

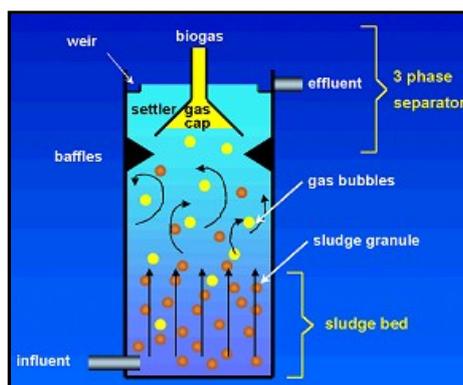
1. มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแลระบบเนื่องจากต้องระวังในการควบคุมปริมาณแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม
2. ต้องมีการกวนผสมในถังหมักตลอดเวลา
3. ตะกอนแบคทีเรียมีคุณสมบัติจืดจาง อาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นที่ช่วยทำให้ตะกอนแบคทีเรียมั่นคงตัวดีขึ้น
4. มักใช้กับน้ำเสียปริมาณสูง ซึ่งทำให้ค่าก่อสร้างระบบต่ำกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมัก AF

5. ระบบหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือน้ำเสียจะถูกส่งเข้าก้นถัง ตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบาช่วงบนของถังหมัก จะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas-Solid Separator)

ระบบ UASB เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยแบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดสลัดจ์(กากตะกอน)ขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ข้างล่างส่วนเม็ดขนาดเล็กจะอยู่ข้างบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ เม็ดบางส่วนอาจหลุดขึ้นถึงตอนบนของถัง ตอนบนของระบบ UASB มีอุปกรณ์ที่คล้ายถังตกตะกอนมีหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็กและก๊าซชีวภาพออกจากน้ำ

เรียกว่า Gas Solids Separator ทำหน้าที่แยกก๊าซ ตะกอนแบคทีเรียและน้ำที่ออกจากกัน น้ำทิ้งจะระบายไปยังระบบ Secondary Treatment ก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวม ส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีมีเทน (CH_4) อยู่ประมาณร้อยละ 50-85 ระบบสามารถรับ COD loading ได้สูงถึง 12 กก.COD/ลบ.ม.วัน มีผลทำให้ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียของระบบสั้นลงอย่างมาก เหลือเพียง 4 – 160 ชม.ระบบมีความสามารถในการส่งผ่านอาหารได้ดี เนื่องจากเม็ดตะกอนแบคทีเรียประกอบด้วยแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเกาะกันอยู่เป็นเม็ด และสามารถย่อยสลายมวลสารที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี โดยสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นถึง 100,000 มก./ล. ได้



ภาพประกอบ 2.5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Up flow Anaerobic Sludge Blanket
แหล่งที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), (2556)

ข้อดี ระบบหมักแบบ UASB

- 1.เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากไม่ต้องการเครื่องกวนผสมและถังตกตะกอน
- 2.สามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูง

ข้อเสีย ระบบหมักแบบ UASB

มีความยุ่งยากในการเลี้ยงตะกอนเม็ดจากตะกอนเบา และไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซ

1. อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature) เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ แบคทีเรียจะหยุดทำงาน

2. อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก

2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง $37\text{ }^{\circ}\text{C} - 41\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก

2.2 เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ $50\text{ }^{\circ}\text{C} - 52\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปิซีสมากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิก เสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า (ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2011)

ความเป็นกรด-เบส (pH Value) ค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 - 7.2 ค่าความเป็นกรด - เบส ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่าความเป็นกรด-เบส ลดลง ซึ่งถ้าหากค่าความเป็นกรด-เบส ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะทำให้หยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย เมโทลาเจน นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรด-เบส มาก และจะไม่เจริญเติบโตหากค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด - เบส เพิ่มขึ้นโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียรความเป็นกรด - เบส จะอยู่ระหว่าง 6.8 - 8

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8- 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูกเมโทลาเจนนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าความเป็นกรด ต่างซึ่งถ้าหากค่าความเป็นกรด ต่างสูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนเมโทลาเจน ลดลง นอกจากนี้หากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน อยู่ นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ สูงขึ้น มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ>Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด ต่าง ลดลงมากเกินไป จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก เมโทลาเจน ตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็ต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะมีผลสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไป

ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าความเป็นกรด ต่างในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลาที่เก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า ปริมาณของแข็ง อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไรโดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

ปริมาณของแข็ง (Total solid content, TS)

Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ

1. High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TS สูงกว่า ~ 20%
2. Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TS ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ ปริมาณของแข็งสูง จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน แต่เนื่องจากในระบบ ปริมาณของแข็งสูง ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก ปริมาณของแข็งต่ำ สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น กระนั้นก็ดี การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วน เพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังสเตน และนิกเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and toxic materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย(เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนีย)สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรก็จะ

เริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิกเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

อัลคาไลน์ตี (Alkalinity) ค่าอัลคาไลน์ตี หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาไลน์ตีที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000 -5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของ แคลเซียมคาร์บอเนต

2.2 แห่งเชื้อเพลิง

กระบวนการอัดแห้ง (Densification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และช่วยลดความชื้นในของเสีย ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของของเสียให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งานด้วย กระบวนการอัดแห้ง สามารถแปรรูปของเสียให้เป็นเชื้อเพลิงได้ในหลายรูปแบบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2555) เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแห้งเล็กๆ (Pelleting) อัดเป็นก้อนรูปลูกบาศก์ (Cubing) และอัดเป็นแท่งพิน (Extruded Log)

ประเภทของแห่งเชื้อเพลิง

แห่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

ถ่านอัดแห้ง เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียที่เผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจนำแห่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่านก็ได้

แห่งเชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียมาอัดแห้งแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแห้ง ตัวอย่างของแห่งเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆ

กรรมวิธีการอัดแห้งเชื้อเพลิง

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดร้อน และกระบวนการอัดเย็น

1. กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process)

เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแห้งด้วยกระบวนการอัดร้อน คือวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (แกลบ ชี้เลื้อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ซังข้าวโพด ชานอ้อย ฯลฯ) วัสดุพืชบกและน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ)

2. กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process)

เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ

การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมัน และน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

การอัดเย้นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย้นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย้นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีเวลาจำเป็นที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก

คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

1. ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value) คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อของเสียถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของเสีย (kcal/kg)

2. ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสีย ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของของเสียเกิดการควบแน่น

3. ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในของเสียชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในของเสีย ดังนั้นในกรณีของเสียมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในของเสีย แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงก็ได้เนื่องจาก ในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้น กระบวนการอัด และการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ จะทำให้น้ำในของเสียถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

4. ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คือ องค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ของเสียที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะเลลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดที่น้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

5. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งของเสีย ความชื้นของของเสียมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

6. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ของเสียที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีเวลาในการลุกไหม้นาน

7. กำมะถันรวม (Total Sulfur) เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นหากของเสียที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก จึงไม่เหมาะจะเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดมลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมากด้วย

8. **เถ้า (Ash)** คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้มันเอง ดังนั้น หากของเสียมีเถ้าปริมาณมาก จะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

ทำการวิเคราะห์ ความหนาแน่น , น้ำหนัก , ปริมาตร , ความชื้น , พลังงานความร้อน , ระยะเวลาการติดไฟ และเถ้า

ความหนาแน่น

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น

m คือ มวล

v คือ ปริมาตร

ปริมาตร

$$v = \pi(R^2 - r^2)h \dots\dots\dots (2.2)$$

เมื่อ v คือ ปริมาตร

h คือ ความสูง

R คือ รัศมีภายนอกของแท่งเชื้อเพลิง

r คือ รัศมีภายในของแท่งเชื้อเพลิง

พลังงานความร้อน

$$Q = mc\Delta t \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ Q คือ ค่าความร้อน

m คือ มวล

c คือ ค่าความจุจำเพาะ

Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ปริมาณความชื้น (%)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \{ A-B \} / A \times 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

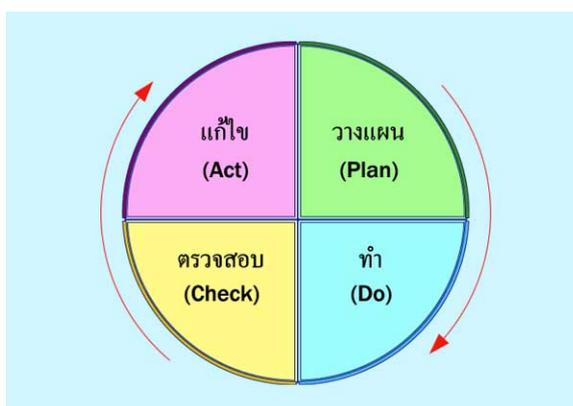
เมื่อ A คือ น้ำหนักแท่งเชื้อเพลิงก่อนอบ

B คือ น้ำหนักแท่งเชื้อเพลิงหลังอบ

2.3 ระบบการจัดการ PDCA

PDCA (Plan-Do-Check-Act) เป็นกิจกรรมพื้นฐานในการพัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพของการดำเนินงานซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอนคือวางแผน-ปฏิบัติ-ตรวจสอบ-ปรับปรุงการดำเนิน

กิจกรรม PDCA อย่างเป็นระบบให้ครบวงจรอย่างต่อเนื่องหมุนเวียนไปเรื่อยๆ ย่อมส่งผลให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพเพิ่มขึ้นโดยตลอดวงจร PDCA นี้ได้พัฒนาขึ้นโดยดร.ชิวจาร์ท ต่อมาตร.เดมมิ่งได้นำมาเผยแพร่จนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายขึ้นตอนแต่ละขั้นของวงจร PDCA ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 2.6ระบบ PDCA

แหล่งที่มา: เอกวินิต พรหมรักษา .(2555)

1. Plan (วางแผน) หมายความว่ารวมถึงการกำหนดเป้าหมาย / วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิธีการและขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมายในการวางแผนจะต้องทำความเข้าใจกับเป้าหมายวัตถุประสงค์ให้ชัดเจนเป้าหมายที่กำหนดต้องเป็นไปตามนโยบายวิสัยทัศน์และพันธกิจขององค์กรเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันทั่วทั้งองค์กรการวางแผนในบางด้านอาจจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของวิธีการทำงานหรือเกณฑ์มาตรฐานต่างๆไปพร้อมกันด้วยข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานนี้จะช่วยให้การวางแผนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเพราะใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบได้ว่าการปฏิบัติงานเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้ระบุไว้ในแผนหรือไม่

2. DO (ปฏิบัติ) หมายถึงการปฏิบัติให้เป็นไปตามแผนที่ได้กำหนดไว้ซึ่งก่อนที่จะปฏิบัติงานใดๆจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลและเงื่อนไขต่างๆของสภาพงานที่เกี่ยวข้องเสียก่อนในกรณีที่เป็นงานประจำที่เคยปฏิบัติหรือเป็นงานเล็กอาจใช้วิธีการเรียนรู้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองแต่ถ้าเป็นงานใหม่หรืองานใหญ่ที่ต้องใช้บุคลากรจำนวนมากอาจต้องจัดให้มีการฝึกอบรมก่อนที่จะปฏิบัติจริงการปฏิบัติจะต้องดำเนินการไปตามแผนวิธีการและขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้และจะต้องเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานไว้ด้วยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป

3. Check (ตรวจสอบ) เป็นกิจกรรมที่มีขึ้นเพื่อประเมินผลว่ามีการปฏิบัติงานตามแผนหรือไม่มีปัญหาเกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติงานหรือไม่ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเนื่องจากการดำเนินงานใดๆมักจะเกิดปัญหาแทรกซ้อนที่ทำให้การดำเนินงานไม่เป็นไปตามแผนอยู่เสมอซึ่งเป็นเรื่องอุปสรรคต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของการทำงานการติดตามการตรวจสอบและการประเมินปัญหาจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องกระทำควบคู่ไปกับการดำเนินงานเพื่อจะได้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของการดำเนินงานต่อไปในการตรวจสอบและการประเมินการปฏิบัติงานจะต้อง

ตรวจสอบด้วยการปฏิบัติที่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพของงาน

4. Act (การปรับปรุง) เป็นกิจกรรมที่มีขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากได้ทำการตรวจสอบแล้ว การปรับปรุงอาจเป็นการแก้ไขแบบเร่งด่วนเฉพาะหน้าหรือการค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำรอยเดิม การปรับปรุงอาจนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานของวิธีการทำงานที่ต่างจากเดิมเมื่อมีการดำเนินงานตามวงจร PDCA ในรอบใหม่ ข้อมูลที่ได้จากการปรับปรุงจะช่วยให้การวางแผนมีความสมบูรณ์และมีคุณภาพเพิ่มขึ้น

2.4 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างว่าควรมีขนาดเท่าใดนั้นผู้วิจัยควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆหลายอย่างมาประกอบกัน ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายเวลาแรงงานและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนั้นว่ามีพอที่จะทำให้ได้หรือไม่และคุ้มค่าใช้จ่ายใด
2. ขนาดของประชากรถ้าประชากรมีขนาดใหญ่มีความจำเป็นต้องเลือกกลุ่มตัวอย่าง ถ้าประชากรมีขนาดเล็กและสามารถที่จะศึกษาได้ควรจะศึกษาจากประชากรทั้งหมด
3. ความเหมือนกันถ้าประชากรมีความเหมือนกันมากความแตกต่างของสมาชิกมีน้อยนั้นคือความแปรปรวนในกลุ่มตัวอย่างมีน้อยก็ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กได้ แต่ถ้าประชากรมีลักษณะไม่เหมือนกันความแตกต่างของสมาชิกมีมากความแปรปรวนในกลุ่มมีมากจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่เพื่อให้ครอบคลุมคุณลักษณะต่างๆของประชากร
4. ความแม่นยำชัดเจนถ้าต้องการความแม่นยำชัดเจนในเรื่องที่จะศึกษาค้นคว้าต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่คือยิ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างใหญ่มากเท่าใดผลการศึกษาก็มีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น
5. ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จากการสุ่มตัวอย่างโดยทั่วไปแล้วมักจะยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ 1% หรือ 5% (สัดส่วน 0.01 หรือ 0.05) และยิ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญของเรื่องที่ต้องการศึกษาด้วย ถ้าปัญหาที่มีความสำคัญมากก็ควรให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเช่น 1% แต่ถ้ามีความสำคัญน้อยก็อาจยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้บ้างเช่น 5% เป็นต้น
6. ความเชื่อมั่นผู้วิจัยต้องกำหนดความเชื่อมั่นว่ากลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมานั้นมีโอกาสได้ค่าอ้างอิงไม่แตกต่างจากค่าที่แท้จริงของประชากรประมาณเท่าไรเช่นถ้ากำหนดระดับเชื่อมั่น 95% หมายถึงค่าอ้างอิงมีโอกาสถูกต้อง 95% มีโอกาสผิดพลาดจากค่าที่แท้จริง 5% นั่นคือค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 95 กลุ่มจาก 100 กลุ่มที่สุ่มมาจากประชากรเดียวกันจะไม่แตกต่างจากค่าที่แท้จริงของประชากรซึ่งระดับความเชื่อมั่นอาจจะเพิ่มขึ้นเป็น 99% หรือลดลงเหลือ 90%

2.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่า

1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net present value, NPV) เป็นการวิเคราะห์การลงทุนโดยพิจารณาที่มูลค่าผลตอบแทนสุทธิของโครงการ เป็นการเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันของ

กระแสเงินสดรับกับกระแสเงินสดจ่ายของโครงการ โครงการที่เหมาะสมกับการลงทุนนั้นต้องมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) มากกว่า 0 ซึ่งหมายความว่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายของโครงการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

โดยกำหนดให้ :

B_t = ผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ n

C_0 = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารหรืออัตราส่วนลด

t = ปีการดำเนินงานโครงการ คือ ตั้งแต่ปีที่ 1 , 2 , 3 ,..... n

n = อายุของโครงการ

2. อัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุนโครงการ (Internal rate of return, IRR)

เป็นอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ หมายถึง อัตราที่จะทำให้ผลตอบแทนของโครงการและต้นทุนทั้งหมดของโครงการที่คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วเท่ากัน นั่นคืออัตราที่แสดงถึงความสามารถของเงินลงทุน ที่ทำให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุน ดังนั้นอัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราส่วนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็น 0 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการนี้ถือว่าเป็นอัตราที่แสดงถึงความสามารถของเงินทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้กับเงินลงทุนของโครงการนั้น การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ก็คือการคำนวณหา ค่าอัตราส่วนลด (Discount rate : r) ว่ามีค่าเท่าไรจึงจะทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์พอดี เมื่อคำนวณได้ค่า IRR แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้) ถ้า IRR สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร (i) แสดงว่าการลงทุนให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับเงินลงทุนที่จ่ายออกไป

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \left[\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} + C_0 \right] = 0 \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

โดยกำหนดให้ :

B_t = ผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ n

C_0 = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

r = อัตราส่วนลด (discount rate)

t = ปีการดำเนินงานโครงการ คือ ตั้งแต่ปีที่ 1 , 2 , 3 ,..... n

n = อายุของโครงการ

3. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio)

อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลรวมมูลค่าปัจจุบัน

ของผลตอบแทน กับผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการใดๆ ก็คือ B/C ratio จะต้องมีความมากกว่าหรืออย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ 1 ถ้า B/C ratio มีความมากกว่า 1 หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีความมากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป แต่ถ้า B/C ratio มีความเท่ากับ 1 หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับของโครงการมีความเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไป และถ้า B/C ratio มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับของโครงการมีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป

$$B/C(\text{ratio}) = \frac{PV_b}{PV_c} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$B/C(\text{ratio}) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

โดยกำหนดให้ :

- PV_b = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ
- PV_c = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ
- B_t = ผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ n
- C_0 = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
- i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารหรืออัตราส่วนลด
- t = ปีการดำเนินงานโครงการ คือ ตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3,n
- n = อายุของโครงการ

4. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ หมายถึง ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการ มีค่าเท่ากับ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนพอดี หรือจำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้ว มีค่าเท่ากับการลงทุนเริ่มแรก

2.6 ผลงานวิจัยที่ใช้อ้างอิง

วันทนีย์ อนันต์พุฒิกุล, (2547) ก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซที่ผลิตจากจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เป็นแหล่งพลังงานอีกแหล่งหนึ่งนอกเหนือจากแหล่งพลังงานจากธรรมชาติซึ่งมีการใช้กันมากและมีมูลค่าสูงขึ้นในปัจจุบัน โดยปกติมีการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่แล้วด้วยวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดของเสียแต่งานวิจัยนี้ผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนโดยใช้หัวมันสำปะหลังดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและมีมูลค่าต่ำ จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของหัวมัน

สำปะหลังซึ่งเก็บมาจากแหล่งปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา พบว่าส่วนประกอบหลักของหัวมันสำปะหลังสดโดยเฉลี่ยมีความชื้น 65% แป้ง 18% ปริมาณคาร์บอน 17% ไนโตรเจน 0.20% และของแข็งทั้งหมด 35% ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบวนการหมักแบบขึ้นตอนเดียวนี้ได้เตรียมมันสำปะหลังดิบในลักษณะแห้ง (ความชื้น 18.65% ปริมาณคาร์บอน 39.56% ไนโตรเจน 0.46% และของแข็งทั้งหมด 81.35%) และเริ่มหมักด้วยปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (โดยเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วัน โดยใช้ปริมาณหัวมันแห้งดิบที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดต่างกันพร้อมทั้งทดลองเติมแหล่งไนโตรเจน (ยูเรีย) ในปริมาณต่างกัน และเติมหัวเชื้อที่เตรียมจากมูลสัตว์และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าที่ 1.00% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ของของแข็งทั้งหมด และการเติมยูเรีย 0.04% (น้ำหนักต่อปริมาตร) (สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20 ต่อ 1) ให้ผลผลิตของก๊าซ 1.95 ลิตรต่อวัน ที่มีปริมาณมีเทนสูงสุดคือ 67.92% ที่ระยะเวลาการหมัก 10 วัน โดยกระบวนการหมักสิ้นสุดเมื่อหมักได้ 16 วัน และมีปริมาณก๊าซและมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด 530 และ 259 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมดที่เติมลงไป ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาตรของวัสดุหมักเป็น 20 และ 50 ลิตร ตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางของการขยายกำลังการผลิต พบว่าทั้งในถังหมักที่มีวัสดุหมัก 20 และ 50 ลิตร นั้นเมื่อหมักได้ 16 วัน มีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นทั้งหมด 517 และ 546 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณมีเทน 252 และ 299 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด แต่กระบวนการหมักสิ้นสุดที่ 21 และ 24 วัน และได้ก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือ 580 และ 564 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ที่มีมีเทน 334 และ 322 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ กล่าวโดยสรุปได้ว่าหัวมันสำปะหลังดิบ (ความชื้น 18.65%) 1 กิโลกรัม ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 443 ลิตร ที่มีมีเทน 242 ลิตร ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานได้ 9765 กิโลจูล

สมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และ อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล ,(2538) การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 L แบบกึ่งกะ ในตอนเริ่มต้นเดินระบบใช้เศษอาหารอย่างเดียวป้อนที่อัตราการสสารอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 g/Lreactor-day (56.6-230.2 g/day) ให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.465 m³ CH₄/kgCOD ที่อุณหภูมิห้อง และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m³ biogas/kgCOD ในการป้อนกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเศษอาหาร 1.245 g/Lreactor-day ปริมาตรก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 L/day เป็น 72.2 L/day และ 90.4 L/day หลังจากเพิ่มกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ

ชยันต์ กิมยงค์ , (2545) การศึกษาผลของปริมาณน้ำโดยทดลองที่อัตราการไหลวนน้ำ 2 , 4 และ 6 ลิตรต่อวัน ที่ความหนาชั้นมุลสุกร 10 เซนติเมตร หรือปริมาณมุลสุกรบรรจุ 8.4 กิโลกรัม พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตรวดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 40 วันแรก และความสามารถในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดที่อัตราการไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตรต่อวัน เป็น 3.1, 3.0 และ 3.3 กิโลกรัมตามลำดับ และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 38, 52 และ 135 ลิตร ตามลำดับ ส่วนการศึกษาโดยการเพิ่มความ

หนาของชั้นมูลสุกรจาก 10 เซนติเมตร เป็น 20 เซนติเมตร ที่อัตราการวนน้ำ 6 ลิตรต่อวัน พบว่าทำให้มีการชะสารอินทรีย์จากมูลสุกรมากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน แต่การเกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดลดลง เนื่องจากผลความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น

กฤตภาส ลิงคิบุตร , วิชากร จารุศิริ และปฐมทัศน์ จิระเดชะ (2554) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่มีความแตกต่างกันของกรณีตัวอย่าง คือ ระบบ CSTR แบบแห้ง ระบบ CSTR แบบ 1-ขั้นตอน และ ระบบ CSTR แบบ AMR ซึ่งทั้ง 3 ระบบมีขนาดการรองรับเศษอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน โดยศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินและการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน มีเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ อัตราผลตอบแทนค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่าเสียโอกาสที่ดิน โดยผลประโยชน์ประกอบด้วย ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ย ลดกลิ่น อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมพร้อมยังเป็นการช่วยบรรเทาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน เติบโตระบบ 365 วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้ก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัม(ก๊าซ)/ปี เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR 1-Stage อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 47.10% และระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 2.12 ปี

นิลวรรณ ไชยหนู และ พฤกษ์ อักกะรังสี (2551) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากมูลสุกรโดยใช้กระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศในถังหมักย่อยแบบกวนต่อเนื่อง (Completely Stirred Tank Reactor) ในช่วงอุณหภูมิสูง (Thermophilic ที่ 55 ± 2 OC) โดยทำการออกแบบและจัดสร้างระบบต้นแบบ ขนาด 1 m^3 ใช้กรรมวิธีการเติมน้ำเสียแบบครั้งคราว (Batch Feeding) เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบอุณหภูมิปกติและไม่มีการกวนซึ่งใช้กันอยู่ทั่วไป โดยควบคุมน้ำเสียตั้งต้นให้มีสัดส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่ 2% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าประมาณของน้ำเสียในฟาร์มสุกรในประเทศไทย โดยในการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ระหว่าง 4 ถึง 6 วันในขณะที่ค่าสำหรับการออกแบบระบบก๊าซชีวภาพแบบอื่น ๆ ที่มีการกวนผสม และทำงานในช่วงอุณหภูมิต่ำ (Mesophilic 25-35 OC) จำเป็นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 วันสำหรับประเทศไทย จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ ค่า COD pH VFA และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ผลการทดลองพบว่าระบบใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเพียง 4 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียถึง 84% ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 4.8 กก.สารอินทรีย์/ม³-วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 1006 ลิตร/วัน โดยมีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 65.6% ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบกวนต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิสูงมีประสิทธิภาพในการหมักย่อยสูงกว่าระบบก๊าซชีวภาพแบบอื่น แต่หากนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งมีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำจะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สมควรนำไปใช้กับของเสียที่มีความเข้มข้นของชีวมวลสูง

กิตติพงษ์ ลาลุน , สมโภชน์ สุตาจันทร์ และชัยยันต์ จันท์ศิริ, (2555) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบมีส่วนประกอบได้แก่ ถังผสม เกลียวลำเลียง ถังป้อน ชุดเกลียวอัด ชุดส่งกำลัง และโครงหลัก ในการศึกษาได้นำชนิดผงถ่านมาทดสอบ 3 ชนิด (ผงถ่านแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผงถ่านไม้รวม และผงถ่านกะลามะพร้าว) และความเร็วเกลียวอัด 3 ระดับ (115 130 และ 145 rpm) ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบทำงานได้เหมาะสมที่อัตราการป้อน 140 kg/h และความเร็วเกลียวอัด 145 rpm เมื่อใช้ส่วนผสมไม้รวม ผงถ่านกะลามะพร้าว แป้งมันสำปะหลัง และน้ำในสัดส่วน 0.5: 0.5: 0.15: 1 โดยน้ำหนัก ทำให้เครื่องต้นแบบมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 131.5 kg/h พลังงานจำเพาะที่ใช้เฉลี่ย 16.16 W-h/kg. ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่น 676.0 kg/m³ ความแข็งแรง 0.235 MPa ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง 5527.3 cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งาน 27.79-29.56 % ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอยู่ที่ 15.01±1.62 cm, 4.12±0.05 cm และ 1.23±0.12 cm ตามลำดับ และความชื้นเฉลี่ย 7.13 %(d.b.)

นฤมล ภาณุภา , จิระพงษ์ คูหากาญจน์ , ฐิติภรณ์ บุญแย้ม , เฉลิมพล สุขสี , เบญจวรรณ จุลจุฬา และเพ็ญ อูร์ริรักษ์, (2554) งานวิจัยและทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมันมีวัตถุประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุทางการเกษตรและเป็นพลังงานทดแทนฟืนและถ่านแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์เศษไม้โตเร็ว และเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างยั่งยืน โครงการวิจัยดำเนินการระหว่างปีงบประมาณ 2551-2555 รวม 5 ปี ได้รับงบประมาณ เป็นเงินทั้งสิ้น 346,600 บาท ศึกษาทดลองในพื้นที่ศูนย์พัฒนาพลังงานจากไม้ จังหวัดสระบุรี ศูนย์ส่งเสริมและเผยแพร่เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ไม้ขนาดเล็ก และของป่า จังหวัดขอนแก่น พื้นที่ปลูกปาล์มของเกษตรกร จังหวัดชุมพร และห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ผลการทดสอบเพื่อหาผลผลิตถ่านจากกาบและหางปาล์มด้วยเตาเผาถ่านสามประเภทสรุปได้ว่า เตาอิฐก่อให้ผลผลิตถ่านสูงสุด คือร้อยละ 30.34 รองลงมาคือเตาดินเหนียวก่อและเตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้ ให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 21.01 และ 18.69 ตามลำดับ เมื่อทดลองใช้ถ่านกาบปาล์ม ถ่านหางปาล์ม ใบปาล์มสด กาบปาล์มสด หางปาล์มสด ผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ รวม 32 สูตรโดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานให้เชื้อเพลิงสามารถอัดเป็นแท่งได้ ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรถ่าน กาบปาล์มผสมกับถ่านยูคาลิปตัส สูตรกาบปาล์มสดผสมขุยมะพร้าว สูตรใบปาล์มผสมขุยมะพร้าวและขานอ้อย สูตรรวงปาล์มผสมซังข้าวโพด และขานอ้อยหรือซีลี้อยมีคุณภาพพอใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีคุณภาพไม่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก ให้ไฟไม่แรง มีเขม่าและซีลี้อยมาก

เกรียงไกร วงศาโรจน์ , ธนิต สวัสดิ์เสวี , นริส ประทินทอง และ ประธาน วงศ์ศรีเวช , (2554) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของ ค่าความร้อน และความต้านทานแรงกด วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการทดลองคือ ลำต้นและกิ่งของสบู่ดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ อันได้แก่ แกลบ ขานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็น

ตัวประสาน ทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุประสงค์จะถูกบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ วัตถุประสงค์จะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสบู่ดำ และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่า แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54 - 15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46 -2.46 เมกกะปาสคาล

อัจฉรา อัครจุลชัย , ชลันดา เสมสายัณห์ , นัฐพร ประภักดิ์ , ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และนิภาวรรณ ชูชาติ , (2554) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังหรือโมลาสซึ่งเป็นตัวประสานที่อัตราส่วนต่างๆ กันแล้วอัดเป็นแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น จากนั้นทำการศึกษาคูณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งการศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้งานและวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,400-4,348 cal/g และค่าความร้อนที่ได้จากเปลือกทุเรียนที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนสูงสุด 4,348 cal/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนที่ได้จากฟืนไม้ เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความชื้นและปริมาณเถ้าต่ำ ในขณะที่เผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นสูงเกินมาตรฐาน อากาศเสียจากโรงงาน ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ระหว่างการเผาไหม้พบว่าการแตกปะทุขณะติดไฟน้อย มีกลิ่นและควันขณะลุกไหม้น้อย ไม่แตกหักง่ายทำให้สะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ดังนั้น การนำเปลือกทุเรียนและมังคุดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทดแทนฟืนและถ่าน จึงเป็นแนวทางหนึ่งของการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์

วลัยรัตน์ อุดตมะปรากรม และธราพงษ์ วิทิตศานต์ (2554) งานวิจัยนี้ศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อนพบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 13.33 และ ค่าความร้อนต่ำคือ 13,864.38 KJ/kg จึงเหมาะสมในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไป ใช้งาน จากนั้นนำไปคาร์บอนไนเซชันในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550 °C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอนไนเซชันตะกอนเปียก คือ อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลา 60 นาที โดยภาวะดังกล่าว มีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84% เมื่อทราบภาวะคาร์บอนไนเซชันที่เหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน 24,790.38 KJ/kg ในขณะที่ถ่านอัด

แบบร้อนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 42.66 และค่าความร้อน 20,257.25 KJ/kg สำหรับการผลิต ถ่านทั้ง 2 แบบในเชิงพาณิชย์ ถ่านอัดแบบร้อนมีต้นทุน 0.17 บาท/ก้อน ราคาขาย 0.525 บาท/ก้อน จำนวนการผลิต ที่จุดคุ้มทุน 704,225 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.18 ปี ถ่านอัดแบบเย็นมีต้นทุน 0.3175 บาท/ก้อน ราคาขาย 1.05 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 338,524 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.17 ปี โดยอ้างอิงจากต้นทุนคงที่ 250,000 บาท ราคาขายถ่านทั้ง 2 แบบราคา 10.5 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนคิดเทียบกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร

S.H. Sengar , S. S. Patil A. and D. Chendake , (2013) เทคโนโลยีการผลิตถ่าน ก้อนมีความสำคัญทางพาณิชย์ เทคโนโลยีเป็นศักยภาพทางเศรษฐกิจ ดังนั้น ความพยายามที่ถูกสร้างขึ้น มา สำหรับการประมาณ ของ เศรษฐกิจของ ถ่านอัดแท่ง วัตถุประสงค์ที่ใช้ทำการอัดแท่ง ได้แก่ เปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และ คาร์บอน ชีวมวล ถ่านอัดแท่ง ถูก อัดขึ้นโดยเครื่องอัดรีด ด้วยสกรูอัด เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง แล้วทำการอบแห้ง ด้วยการพ่นด้วยแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบต่างๆ สำหรับการประเมิน ความเหมาะสม เชื้อเพลิง ถ่านอัดแท่ง เป็นเชื้อเพลิง ในประเทศ ได้รับการ ศึกษา กับ การทดสอบ มาตรฐาน ถ่านอัดแท่ง ด้วยเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปลวไฟ ร้อยละ 15.5 ประสิทธิภาพความร้อน ถ่านอัดแท่งเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่เกี่ยวข้องกับ ค่าความร้อน ถ่านอัด แท่ง อัตราส่วน ความหนาแน่นของพลังงาน ความต้านทาน การ ซึมผ่าน ของน้ำและ การทดสอบ น้ำ เดือด เมื่อเทียบกับหญ้าและ แกลบ ถ่านอัดแท่ง ถูกตั้งข้อสังเกต ค่าความร้อน ที่พบ มากขึ้นในการ ทำ ถ่านอัดแท่ง เปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิง เป็น 5,154.58 กิโลแคลอรี / กิโลกรัม มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ ของเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ หญ้าและ แกลบ ถ่านอัดแท่ง ได้ 1,935,370.8 , 2256434.38 และ 631,948.8 ตามลำดับ จ่ายคืน ระยะเวลา เปลือก เม็ดมะม่วงหิม พานต์ หญ้า แกลบ ถ่านอัดแท่ง เป็น 8.1 , 7.56 และ 29.35 ตามลำดับ อัตราส่วน ค่าใช้จ่าย ผลประโยชน์ เปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ หญ้า และถ่านอัดแท่ง แกลบ เป็น 2.8 , 2.93 และ 1.51 ตามลำดับ

Varun Panwar, B. Prasad , and Kailas L. Wasewar, (2011) ทุกชนิดของ ชีวมวล ดึง คาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากอากาศ ที่พวกเขา เติบโต ชยะชีวมวล สามารถทำให้เป็น เชื้อเพลิง สามารถใช้งานได้ โดยคุณสมบัติ เหล่านี้ ชีวมวล สามารถ แทนที่ ถ่านหิน ใน โรงไฟฟ้า ซึ่ง จะช่วยลด การปล่อยก๊าซ คาร์บอน และผลกระทบ ก๊าซเรือนกระจก จากคุณสมบัติของชีวมวล ความหนาแน่น ต่ำ (เสียทางการเกษตร และ อุตสาหกรรมเกษตร) เรียกว่า ชีวมวล อัดก้อนสะดวกใน การขนส่งง่าย ช่วยให้ การจัดการที่ดี และ การจัดเก็บและมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ทางเลือกทดแทน ถ่าน หินและฟืน แท่งเชื้อเพลิง วัสดุในการอัดแท่งคือ ใบมะม่วง ใบยูคา ฟางข้าวสาลีและ ชี้อ้อย เป็น ถ่านอัดแท่ง ลักษณะทางเคมีกายภาพและเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้ดำเนินการโดย ใช้วิธีการมาตรฐาน กดไฮโดรลิก และ เครื่อง ทดสอบแรงอัดอัตโนมัติ ถูกนำมาใช้ ในการ ผลิตถ่านอัดแท่งและการทดสอบ ผลของ พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การบีบอัด ความดัน และ ปริมาณความชื้น กับความหนาแน่น ของ ถ่านอัดแท่ง ส่งผลกระทบต่อ การทดสอบ มาตรฐาน ASTM ถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อน มากกว่า ครึ่งหนึ่งของ ถ่านหิน ประเทศอินเดีย สามารถใช้ถ่านอัดแท่งเป็น ทางเลือกในการใช้เป็นเชื้อเพลิง แทน ถ่านหินและฟืน

YingYu An, Ph.D., FengLin Yang, Benjamin Buccioli and FookSin Wong, (2009) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนระบบยูเอเอสบี ควบคู่ไปกับการกรองด้วยระบบเมมเบรนถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลในสิงคโปร์ การประยุกต์ใช้การกรองเมมเบรนเป็นตัวกรองน้ำทิ้งจาก ระบบยูเอเอสบี ดีกว่าคุณภาพน้ำทิ้ง ระบบยูเอเอสบี อย่างเดียว ในงานวิจัยนี้กับค่อยๆ ลดเวลากักเก็บน้ำ 10.0-5.5 h, ด้วยการใช้เมมเบรนกรองน้ำทิ้งก็สามารถที่จะตอบสนองเกณฑ์ น้ำทิ้งที่เข้มงวดมากขึ้น การทดลองพร้อมกับการผลิตก๊าซชีวภาพ เพิ่มขึ้น 61.8-120.7 ml / g CODremoved มีอัตราที่เพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนร้อยละ 59.3-65.2% ตามลำดับ นอกจากนี้ผลของการกรองเมมเบรนแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ามีสามวิธีที่แตกต่างกันที่ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบเมมเบรนสามารถลดสารเปราะเปื้อนและรักษาระดับความดันทรานส์เมมเบรนที่ต่ำและมีเสถียรภาพเท่าที่จะทำได้ เหล่านี้จะช่วยลดความถี่ในการเปลี่ยนระบบกรอง หรือ ทำความสะอาดเมมเบรน และช่วยยืดอายุการใช้งานเมมเบรน