บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดก๊าซชีวภาพ

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพเป็นการย่อยสลายของสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์แบบไม่ต้องการใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ในขณะที่เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์นั้นทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) สูงประมาณ ร้อยละ 60 ถึง70 อีกร้อยละ 30 ถึง 40 เป็นก๊าซ CO_2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งก๊าซ CH_4 มีสมบัติติดไฟได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

ปฏิกิริยาชีวเคมีของแบคทีเรียที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีสมการดังนี้

$$C\ O\ H\ N\ S + \text{แบคทีเรีย} \rightarrow H_2O + CH_4 + N_2 + H_2S + CO_2 + \text{Energy}$$

จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ และได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ง่ายมีองค์ประกอบหลักได้แก่ ก๊าซ CH_4 ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สามารถแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอนดังนี้ (สมจินตนา ลิ้มสุข, 2555)

ขั้นตอนที่ 1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

ปฏิกิริยา Hydrolysis คือ ปฏิกิริยาที่ทำการเปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น โดยแบคทีเรีย กลุ่มที่เรียกว่า ไฮโดรไลซิสแบคทีเรีย โดยผลิตเอนไซม์และปล่อยออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหลังจากนั้นสารอินทรีย์ขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้โดยตรง

ขั้นตอนที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดกรด (acidogenesis)

ปฏิกิริยา acidogenesis คือ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารโมเลกุลเล็ก (น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน) ด้วยกระบวนการหมักหรือ Fermentation จะได้ผลผลิตส่วนใหญ่คือ กรดอินทรีย์จึงทำให้ปฏิกิริยานี้เรียกว่าปฏิกิริยาการเกิดกรดนั้นเอง นอกจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่เป็นกรดอินทรีย์แล้วยังสามารถพบผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ปะปนออกมาโดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาพแวดล้อมของการเกิดปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซไฮโดรเจน กรดอะซิติกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติก (acetogenesis)

ปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติก คือ ปฏิกิริยาที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่เกิดจากขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดกรดให้เป็นกรดอะซิติก โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดอะซิติก) ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญของการย่อยสลายภายในถังย่อยสลายแบบไร้อากาศ ในขั้นตอนนี้จะสามารถใช้สารตั้งต้นที่มีปริมาณคาร์บอนจำนวน 1-2 คาร์บอนเท่านั้น (กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก เอทานอล และเมทิลามีน) และก๊าซไฮโดรเจน

$CH_3CH_2OH + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2$
(Ethanol) (Acetic Acid)

$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
(Propionic Acid) (Acetic Acid)

$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
(Butyric Acid) (Acetic Acid)

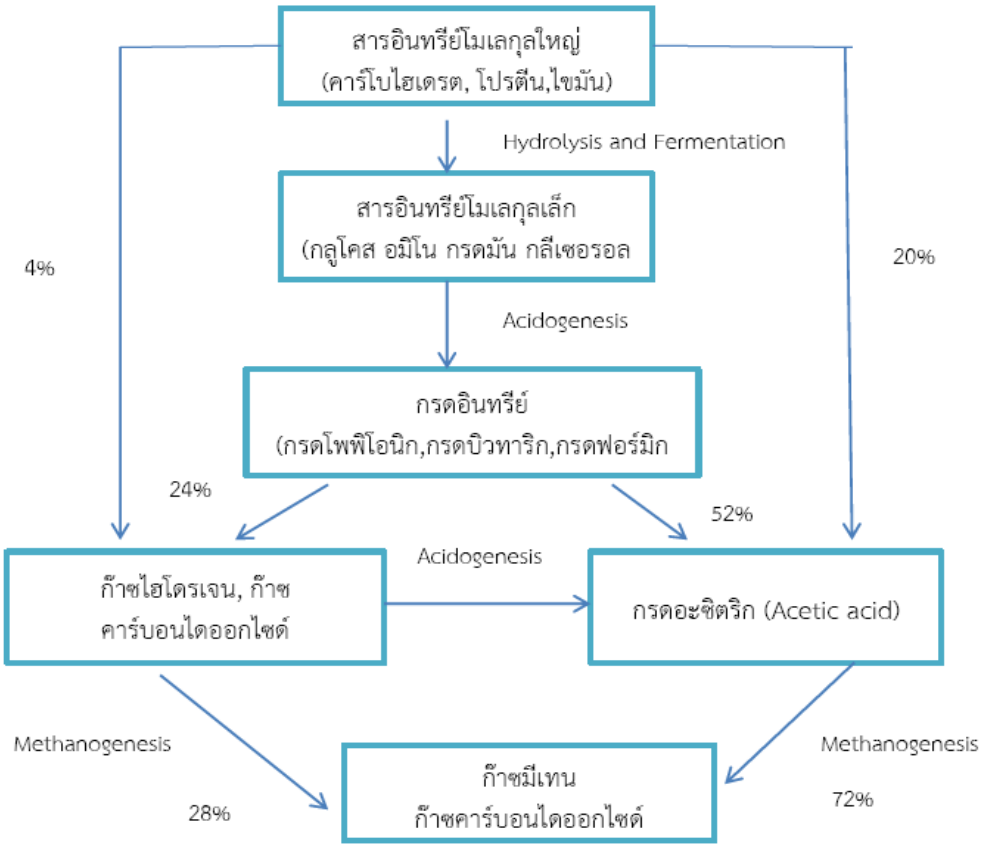
ขั้นตอนที่ 4 ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis)

ก๊าซ CH_4 และ CO_2 ที่เกิดจากกระบวนการ methanogenesis โดยผลิตจากแบคทีเรีย methanogenic โดย CH_4 ที่ผลิตได้ ประมาณ 70 % มาจากอะซีเตตที่ เหลือประมาณ 30 % เป็นผลผลิตจากการเปลี่ยนร่วมกันของก๊าซ H_2 กับก๊าซ CO_2 ดังสมการ

Acetic acid $\xrightarrow{\text{Methanogenic bacteria}}$ methane + carbon dioxide

Hydrogen + carbon dioxide $\xrightarrow{\text{Methanogenic bacteria}}$ methane + water

ร้อยละของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนสามารถสรุปได้ภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ร้อยละของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็น CH_4
ที่มา : สมจินตนา ลิ้มสุข (2555)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีดังนี้ (ศิริวรรณ ปัญญาดี, 2555 ; สมจินตนา ลิ้มสุข, 2555)

1.อุณหภูมิ (temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพของถังปฏิกรณ์เนื่องจากการทำงานของถังปฏิกรณ์ต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถเจริญเติบโตและเกิดเมแทบอลิซึมได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมี 3 ระยะ ดังนี้

- ระยะ psychrophilic ช่วงอุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส การทำงานของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นร้อยละ 40-50 แบคทีเรีย กลุ่มนี้เรียกว่า psychophysics bacteria

- ระยะ mesophilic ช่วงอุณหภูมิ 20-45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิทั่วไปในการดูแลระบบ โดยเฉพาะประเทศในแถบเขตร้อน ประสิทธิภาพในการสร้างแก๊สมีเทนเป็นร้อยละ 70-80 แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกวา mesophilic bacteria

- ระยะ thermophilic ช่วงอุณหภูมิ 45-90 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นร้อยละ 90-95 แบคทีเรีย กลุ่มนี้เรียกว่า thermophilic bacteria

อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตอยู่เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์ภาวะโภชนาการของแบคทีเรีย และกิจกรรมของเอนไซม์ในเซลล์ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่ dominant ในถังปฏิกรณ์ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นได้ดีในช่วงของอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ ช่วง mesophillic มีอุณหภูมิระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส และช่วง thermophillic อุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส

2. สารอาหาร (nutrients)

โดยทั่วไปแบคทีเรียนอกจากต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเติบโตแล้ว ยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาก ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จากโครงสร้างของเซลล์แบคทีเรียเป็น $C_2H_7O_2N$ มีองค์ประกอบของไนโตรเจนประมาณ 12% ของน้ำหนักเซลล์แห้งและมีความต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1/7 - 1/5 ของไนโตรเจน อัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบหมักควรมี อัตราสวน COD : N : P เป็น 100 : 2 : 0.4 หรือ BOD : N : P เป็น 100 : 1.1 : 0.2 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพจะลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้เช่น ทำให้ตะกอนของแบคทีเรียมีน้ำหนักเบา ถังปฏิกรณ์มีโอกาสสูญเสียชีวมวลได้มากขึ้น ส่วนฟอสฟอรัสพบว่าถ้ามีการขาดฟอสฟอรัสทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงถึง 50% แต่ถ้ามีมากเกินไปก็ ไม่มีประโยชน์ทั้งต่อประสิทธิภาพของถัง และกิจกรรมของจุลินทรีย์นอกจากจะไปเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งขาออกเท่านั้น

3. สภาพด่าง (alkalinity)

เป็นค่าที่แสดงความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน ซึ่งค่าสภาพด่างจะเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีความเป็นด่างสูงแสดงว่าระบบมี buffering capacity สูง ทำให้สามารถรักษาค่า pH ของระบบให้คงตัวอยู่ได้นานไม่เกิดการแปรปรวนของค่า pH ได้ง่าย เมื่อมีการเพิ่มปริมาณกรดในระบบ ในทางตรงกันข้ามถ้าระบบมีค่าสภาพด่างต่ำ เมื่อเกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยได้ในระบบในปริมาณสูง ค่า pH ของระบบจะลดลงอย่างมาก ดังนั้นในการควบคุมระบบ

ให้ทำงานปกติจำเป็นต้องรักษาค่าสภาพด่างไม่ให้ต่ำจนเกินไป ค่าสภาพด่างที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ในช่วง 1000-3000 mg/L ของ $CaCO_3$

4. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์เนื่องจากพีเอชมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์แต่ละตัวทำงานได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ และมีกิจกรรมสูงสุดที่พีเอชที่เหมาะสม ดังนั้นจุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและเมทาบอลิซึมแตกต่างกันไป สรุปได้ดังนี้

- hydrolytic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้เจริญเติบโตได้ดีที่ระดับพีเอชที่เป็นกลาง สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับพีเอช และสามารถทนได้ถึงระดับพีเอชต่ำๆ ที่พีเอช 4.5
- acidogenic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่ม Hydrolytic Bacteria เช่น จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรด (ผลิตแก๊สไฮโดรเจน) มีความต้องการพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-6.0
- methanogenic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้เจริญเติบโตได้ดีในระดับพีเอชเป็นกลางให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 ถ้าพีเอชมีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง และถ้าพีเอช มีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงต่ำอย่างรวดเร็ว เพราะที่ภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย พวกที่สร้างแก๊สมีเทน

5. สารพิษ

สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการแอนแอโรบิกอาจมีสารโลหะปนเปื้อน โดยถ้าในถังปฏิกิริยามีปริมาณความเข้มข้นของโลหะสูงอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนหรือทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยสารโลหะที่พบมีการปนเปื้อนมากับขยะ ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เป็นต้น ส่วนมากเป็นขยะมาจากอุตสาหกรรม ดังนั้นควรมีการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของโลหะในถังปฏิกิริยาเพื่อไม่ให้มีความเข้มข้นที่สูง ซึ่งทำให้ไปหยุดการทำงานของแบคทีเรียและระบบล้มเหลวลงได้

6. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acid)

อินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวให้อิเล็กตรอนของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนส่วนตัวรับอิเล็กตรอนของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญต่อการผลิตก๊าซมีเทนมาก แต่ถ้ามีการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายมากเกินไปจะเกิดการสะสมทำให้ค่าพีเอชลดลง เกิดการยับยั้งแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพต้องทำการควบคุมกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทนให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพโดยควบคุมอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนต (VFA/Alk) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว ถ้าระบบมีปริมาณกรดอินทรีย์

ระเหยง่าย 8,000 – 10,000 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติกจะเป็นพิษต่อระบบถังหมักโดยตรง โดยค่าที่เหมาะสมในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก

7. เวลาเก็บกัก (retention time)

เวลาเก็บกักในระบบของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนหมายถึง เวลาเก็บกักจุลชีพ (solid retention time: SRT) หรือเวลาเก็บกักน้ำ (hydraulic retention time: HRT) อยู่ในถังหมักจนกระทั่ง ออกมาจากระบบ ซึ่งการควบคุมระบบมักเลือกใช้ค่าเวลาการเก็บกักค่าใดค่าหนึ่ง การควบคุมค่าเวลาเก็บกักในการเดินระบบมีความสำคัญคือ ถ้าเวลาเก็บกักยาวนานเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองเนื่องจากต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่เกินความจำเป็น นอกจากนี้เวลาเก็บกักขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ หากสารอินทรีย์ย่อยสลายยากเวลาเก็บกักที่นานขึ้นจะช่วยให้เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากใช้เวลาเก็บกักสั้นเกินไป แบคทีเรียจะเจริญเติบโตไม่ทัน เกิดการชะแบคทีเรียออกจากระบบ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมเวลาเก็บกักที่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีปริมาณคงที่ ระยะเวลาเก็บกักเป็นค่าทีขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในระบบและลักษณะของของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบรวมไปถึงชนิดของแบคทีเรียในระบบเป็นสำคัญ เกณฑ์การออกแบบระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) สำหรับถังหมักแบบอัตราปกติอยู่ที่ 30-60 วัน ถังหมักแบบกวนผสมสมบูรณ์ที่ 15-30 วัน และถังหมักแบบเอเอสบีอาร์มีค่า HRT ที่ 0.25-0.5 วัน เป็นต้น

8. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading rate: OLR)

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียต้องมีอยู่อย่างพอเหมาะกับปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงเวลาหนึ่งจึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย

ขยะเศษอาหาร (food waste)

ขยะเศษอาหาร หมายถึง ของเสียเหลือทิ้งที่ได้จากการรับประทานอาหารและการประกอบอาหาร ซึ่งมาจากครัวเรือน โรงอาหาร ร้านอาหาร ตลาด หรือโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้าว เนื้อสัตว์ น้ำมัน พืชผัก ผลไม้ เป็นต้น ของเสียเศษอาหารเหล่านี้จะเกิดการย่อยสลายได้ง่าย มีการบูดเน่า และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีของแข็งระเหย (volatile solids) ที่มีปริมาณสูงประมาณ 85-95% และมีปริมาณความชื้น (moisture) ประมาณ 75-85% กล่าวคือมี

สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ วิธีการกำจัดของเสียเศษอาหารส่วนใหญ่มักจะนำไปฝังกลบรวมกับขยะของเสียอื่น เช่น เศษกระดาษ เศษแก้ว พลาสติก ไม้โลหะ เป็นต้น เพราะจะทิ้งและเก็บรวมกันไม่ได้มีการคัดแยกออกมาก่อน ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมามากมาย เช่น เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนมนุษย์ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงและเชื้อโรค ปลดปล่อยก๊าซต่าง ๆ สู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก เพราะการฝังกลบขยะของเสียในแต่ละครั้งมีปริมาณขยะในปริมาณมากที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งต่าง ๆ สู่พื้นที่ ในการฝังกลบ เศษอาหารประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภท ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายต่างกัน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน คาร์โบไฮเดรตและไขมันจะถูกย่อยสลายไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acid: VFA) อย่างรวดเร็ว ทำให้การผลิตมีเทนถูกยับยั้งเนื่องจากค่า pH ต่ำ และมีการสะสมของค่า VFA ภายในระบบ การย่อยสลายโปรตีนจะได้แอมโมเนียซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ต่อกรดช่วยรักษาสภาพความเป็นด่างให้กับระบบได้

การศึกษาขยะมูลฝอยในประเทศไทย พบว่า ขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของขยะเศษอาหารและสารอินทรีย์มากที่สุด ตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2558) เท่ากับ 63.57% พลาสติก กระดาษ แก้ว เหล็ก ผ้า ไม้ ยาง/หนัง และอื่น ๆ ประมาณร้อยละ 16.8, 8.2,3.5, 3.2, 2.1, 1.4, 0.7, 0.5 และ 3.2 ตามลำดับ

ขยะจากโรงอาหารส่วนใหญ่คือเศษอาหาร (food Waste) ที่ผ่านมาเศษอาหารได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานชีวภาพได้ โดยทั่วไปเศษอาหารประกอบด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งมีค่าความชื้นสูง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ดังคุณสมบัติของเศษอาหารจากโรงอาหารในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเศษอาหารจากโรงอาหาร

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่า
1	pH	6.50
2	ORP (mV)	21
3	TDS (mg/l)	13,220
4	VFA (mg/l)	5879
5	COD (mg/l)	3,30,000
6	BOD (mg/l)	2,47,500
7	Turbidity (NTU)	7710
8	Nitrates (mg/l)	9.8
9	Chlorides (mg/l)	1420
10	TSS (mg/l)	23,068
11	TS (mg/l)	36,290
12	Color (Hazen units)	70,000
13	Soluble COD (mg/l)	12,000
14	Alkalinity (mg/l)	1084
15	Total carbohydrates (mg/l)	95,874

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเศษอาหารจากโรงอาหาร (ต่อ)

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่า
16	Hexose (mg/l)	54,578
17	Pentose (mg/l)	40,624

ที่มา : Goud *et al*. (2011)

หญ้าแฝก

หญ้าแฝก (vetiver grass) เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี ในสกุล *Vetiveria* วงศ์หญ้า (Family Poaceae) เป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ มีการกระจายพันธุ์อยู่ในทุกภูมิภาคของโลก ศูนย์กลางของการกระจายพันธุ์ของแฝกสันนิษฐานว่าอยู่บริเวณทางตอนกลางและตอนใต้ของประเทศอินเดีย และได้แพร่กระจายลงมาบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศแถบเส้นศูนย์สูตรของทวีปเอเชียในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอนซึ่งสามารถเจริญได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่จะแตกกอติดกัน สามารถกรองเศษพืชและตะกอนดินซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับถม หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้าง มีรากจำนวนมาก จึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี (จีรจันทร์ จันทร์งาม, 2554)

ในสภาพธรรมชาติหญ้าแฝกมีถิ่นกำเนิดตามพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ทางน้ำธรรมชาติ ริมหนองบึง ในป่าเขา เมื่อนำพันธุ์ที่ได้คัดเลือกแล้วไปปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก พบว่าขึ้นได้เกือบทุกสภาพพื้นที่ หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบใกล้เคียงระดับน้ำทะเลถึงพื้นที่ภูเขาสูงถึง 2,600 เมตร จากระดับน้ำทะเล พื้นดินเปรี้ยว (pH 4.5) ดินด่าง (pH 10.5) ดินเค็ม (20 มิลลิโมห์) ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่มีปริมาณฝนน้อย 200 มิลลิเมตรต่อปี หรือมีฝนตกชุก 3,900- 5,000 มิลลิเมตรต่อปี มีสภาพอากาศหนาวเย็น - 9 องศาเซลเซียส ถึงอากาศร้อนจัด 45 องศาเซลเซียส

ลำต้นหญ้าแฝกขึ้นรวมกันเป็นกอเบียดกันแน่น ขนาดกอค่อนข้างใหญ่ ส่วนโคนของลำต้นแบนเกิดจากส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณคอดิน ใบ มีลักษณะแคบยาวขอบขนานปลายสอบแหลม แผ่นใบกร้าน มีหนามบนใบ ปลายใบแหลม ท้องใบสีจะจางกว่าหลังใบ ในส่วนของรากหญ้าแฝกมีลักษณะที่พิเศษ คือ มีระบบรากที่สานกันแน่น ช่อของดอกหญ้าแฝกนั้นจะมีตั้งลักษณะเป็นรวง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีสีม่วง ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อแตกกอ ส่วนการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดนั้นในสภาพธรรมชาติจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย

หญ้าแฝกมีอยู่ในโลกประมาณ 12 ชนิด ในประเทศไทยพบเพียง 2 ชนิด คือ หญ้า แฝกหอม แฝกลุ่มหรือแฝกท้องขาว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* L. Nash. และหญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้าน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria nemoralis* A. Camus (กานต์มณี จันทร์ขาว, 2554)

1. หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกลุ่ม

หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกลุ่ม สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี กระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ เป็นพืชที่ผสมข้ามต้น ทำให้มีความหลากหลายทางพันธุกรรม หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 45-90 เซนติเมตร กว้าง 0.6-0.9 เซนติเมตร หลังใบโค้ง ปลายใบแบนสีเขียวเข้มเนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ เมื่อนำมาส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ รากจะมีกลิ่นหอม สามารถนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ หญ้าแฝกหอมที่มีอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากหยั่งลึกได้มากกว่า 1 เมตร แหล่งพันธุ์หญ้าแฝกลุ่มที่พบในประเทศไทยตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน มีทั้งหมด 11 แหล่งพันธุ์ คือ แหล่งพันธุ์กำแพงเพชร 2 เชียงราย สงขลา 1 สงขลา 2 สงขลา 3 สุราษฎร์ธานี ตรัง 1 ตรัง 2 ศรีลังกา เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน

2.หญ้าแฝกดอน

มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบ ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซีย เท่านั้น สามารถขึ้นได้ในสภาพแสงแดดปานกลางและแดดจัด หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35-60 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.6 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบและสาก มีไขเคลือบน้อยทำให้ดูกร้านไม่เหลือบมัน ท้องใบออกสีซีดกว่าด้านหลังใบเล็กน้อย แผ่นใบเมื่อส่องแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบเส้นกลางใบสังเกตได้ชัดเจนมีลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง ช่อดอกจะมีได้หลายสี คือสีขาวครีมถึงสีม่วงอมแดง ขึ้นอยู่กับแหล่งพันธุ์ โดยทั่วไปหญ้าแฝกดอนที่มีอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากหยั่งลึกได้ประมาณ 80-100 เซนติเมตร แหล่งพันธุ์หญ้าแฝกดอนที่พบในประเทศไทยตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน มี 17 แหล่งพันธุ์ คือ แหล่งพันธุ์อุดรธานี 1 อุดรธานี 2 นครพนม 1 นครพนม 2 ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ เลย สระบุรี 1 สระบุรี 2 ห้วยขาแข้ง กาญจนบุรี นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี จันทบุรี พิษณุโลก และกำแพงเพชร 1

เทคโนโลยีการหมักร่วม (co-digestion)

การหมักร่วม (co-digestion) เป็นกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างสองวัตถุดิบหรือมากกว่านั้น กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศในอดีตจะใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียวในการหมักทำให้ได้ผลของก๊าซมีเทนที่น้อย ในปัจจุบันได้มีการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาหมักร่วมกัน โดยใช้หลักพื้นฐานในการเลือกวัตถุดิบนั้นจะต้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรอง โดยส่วนใหญ่วัตถุดิบหลักจะเป็นพวกมูลสัตว์ กากตะกอน หรือน้ำเสียต่าง ๆ (manure, sewage sludge, wastewater) และวัตถุดิบรองเป็นพวกที่ มีเส้นใยในปริมาณที่สูง เนื่องจากเส้นใยจะมีสารประกอบพวกเซลลูโลสปริมาณที่มากจะส่งผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น (วิรุฬห์ บุญเกิด, 2556)การหมักร่วมมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแสดงดังตารางที่ 2.2

การหมักย่อยร่วม (co-digestion) คือ การนำของเสียมาผสมและบำบัด เป็นการเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ โดยการหมักย่อยสลายร่วมจะช่วยลดองค์ประกอบของสารพิษ เพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบ เพิ่มความสมดุลของสารอาหารในระบบ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซ ชีวภาพ การหมักย่อยร่วมของสารอินทรีย์

จะมีปริมาณสารอาหารมากเพียงพอ ที่จะกระตุ้นให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น Jingura and Matengaifa (2009) ได้อธิบายการหมักย่อย ร่วมว่าเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของเสียและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการผสมสารอินทรีย์จะเป็นการเพิ่มอัตราส่วน C/N ให้เหมาะสมและความเข้มข้นของไนโตรเจนลดลง การนำวัสดุหมักร่วมที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเมื่อทำการหมักร่วมกันวัสดุทั้ง 2 ชนิดจะผสมกันและช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในระบบ ในหลาย ๆ การศึกษาพบว่าเมื่อทำการหมักย่อยร่วมจากของเสียจากการเกษตร และกากจากอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพการย่อยสลาย เพิ่มขึ้น Agdag and Sponza (2007) ได้ทำการทดลองการหมักย่อยร่วมของเสียจากชุมชนกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 1:2 จะเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักของเสียชุมชนอย่างเดียว สอดคล้องกับการบำบัดของเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศแบบสองขั้นตอน Fezzani and Cheikh (2010) ได้ระบุว่าการหมักย่อยร่วมของน้ำเสียโรงงานน้ำมันมะกอกและกากของเสียโรงงานน้ำมันมะกอก มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด นอกจากนี้ตะกอนที่เหลือจากการย่อยสลายยังสามารถใช้ช่วยในการปรับสภาพดินได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการหมักร่วมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ช่วยปรับปรุงความสมดุลของสารอาหารในการหมัก	1. การเพิ่มค่า COD ในระบบ
2. ช่วยให้วัตถุดิบเกิดความเข้ากัน	2. เป็นกระบวนการเพิ่มกระบวนการผลิต
3. การเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ	3. ขึ้นอยู่กับพื้นที่และปริมาณชีวมวล
4. ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย	4. ขึ้นกับราคาชีวมวลที่ใช้
5. ช่วยเพิ่มปริมาณปุ๋ยที่ได้	
6. เป็นการนำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์	

ที่มา : วิรุฬห์ บุญเกิด (2556)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและศักยภาพก๊าซมีเทนของการหมักร่วม

สารตั้งต้น	สารหมักร่วม	Biogas production rate (L/d)	BMP (L/kgVS)	เอกสารอ้างอิง
มูลวัว	กากของเสียโรงงานน้ำมันมะกอก	1.10	179	Goberna *et al.* (2010)
มูลสัตว์	ของเสียเกษตรกรรมและพืชพลังงาน	2.70	620	Cavinato *et al.* (2010)
เศษผักและผลไม้	น้ำเสียของระบบบำบัดโรงฆ่าสัตว์	2.53	611	Bouallagui *et al*. (2009)
ขยะมูลฝอย	เถ้าลอย	6.50	222	Lo *et al*. (2010)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Uzodinma and Ofoefule (2009) ได้ทำการศึกษาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการผสมกันระหว่างหญ้า *Panicum maximum* เพียงอย่างเดียว (F-G) กับมูลสัตว์ซึ่งได้แก่ มูลโค (GC) มูลสัตว์ปีก (G-P) มูลสุกร (G-S) และมูลกระต่าย (G-R) ในอัตราส่วนหญ้ากับมูลสัตว์เท่ากับ1:1 จะมีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 16.2, 28.29, 19.5, 21.54 และ 25.30 ตามลำดับ โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรใช้งานที่ 50 L ด้วยกระบวนการแบบ Batch basis ภายใน 30 วัน จะเดินระบบที่อุณหภูมิห้อง (26– 32.8 $^{\circ}$C) ในความดันบรรยากาศ ผลที่ได้แสดงประสิทธิภาพการทำงานของการหมักย่อยในรูป Biogas yield ของระบบที่ใช้ F-G เท่ากับ 2.46 ±2.28 L/total mass of slurry ขณะที่ G-R, G-C, G-S และ G-P ให้ค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.73 , 2.86, 7.53 , 3.84, 5.66 , 3.77 และ 5.07 , 3.45 L/total mass of slurry ตามลำดับ ผลสรุปโดยรวมแสดงให้เห็นว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas yield) และความไวไฟของก๊าซสามารถเพิ่มได้จากการผสมหญ้ากับมูลกระต่ายและมูลโค

Bouallagui et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการหมักร่วมของของเสียจากปลา น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ สลัดจ์จากกระบวนการ AS มาหมักร่วมกับเศษผักและผลไม้ ซึ่งเศษผักและผลไม้ประกอบไปด้วย ผักกาดหอม มะเขือเทศ แอปเปิ้ล ส้ม มันฝรั่ง ลูกแพร์และแครอท เป็นต้น โดยมีค่า TS 8.3 % ค่า VS 93% ค่าอัตราส่วน C/N = 34.2 จากนั้นนำมาผสมกับของเสียจากปลา น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์และสลัดจ์จากกระบวนการ AS จนมีปริมาณ TS และ C/N เท่ากับ 2.7%, 2.74%, 2.8%, 2.9% และ 34.2, 22.58, 24.76, 27.6 ตามลำดับ และมีค่า VS ประมาณ 90% มาบำบัดด้วยระบบแบบ ASBR ในระดับห้องปฏิบัติการที่สภาวะไม่ใช้อากาศ และอุณหภูมิในช่วง mesophilic โดยการทดสอบนี้ควบคุมอัตราภาระบรรทุกอยู่ที่ 2.46-2.51 g VS/l-d มีระยะเวลาการกักเก็บ 10 วัน พบว่าการหมักร่วมกับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์กับเศษผักและผลไม้ให้ก๊าซมีเทนที่ 51.5% สามารถลดค่า VS เหลือ 10% ส่วนการหมักร่วมระหว่างสลัดจ์จากกระบวนการ AS กับเศษผักและผลไม้ให้ก๊าซมีเทนที่

43.8% สามารถลดค่า VS เหลือ 11.7% และ ค่าอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 22-25 จากการทดลองนี้พบว่า การหมักของเสียร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี เนื่องจากมีสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับจุลชีพในการเติบโต

El-Mashed and Zhang (2010) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายมูลวัวร่วมกับเศษอาหารในถังย่อยสลายไร้อากาศแบบแบทช์ ขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิมีโซฟิลิก (35°C) ทำการทดลองหมักเศษอาหารอย่างเดียว และที่อัตราส่วนของมูลวัวที่ไม่ได้ผ่านการกรองต่อเศษอาหาร 68:32% และ 52:48% เป็นเวลา 30 วัน ได้ผลผลิตของก๊าซมีเทน 353, 282 และ 311 L kg^{-1}VS ตามลำดับ

Haider et al. (2015) ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเศษอาหารและแกลบสำหรับการขบวนการหมักร่วม โดยได้ทำการศึกษาอัตราส่วนการผสม 4 รูปแบบระหว่างเศษอาหารและแกลบด้วยอัตราส่วน C/N เท่ากับ 20, 25, 30 และ 35 ในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 584 ลิตร/กก.VS โดยอัตราส่วน C/N เท่ากับ 20 และผลการทดลองพบว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อสัดส่วนของเศษอาหารลดลง นอกจากนี้การทดลองได้นำมูลวัวสดมาใช้เป็นหัวเชื้อในการเพิ่มอัตราส่วนของ S/I โดยกำหนดอัตราส่วน S/I มีค่า เท่ากับ 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 และให้ C/N เท่ากับ 20 ผลการทดลองพบว่าถ้าอัตราส่วนของ S/I เท่ากับ 0.25 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดค่าเท่ากับ 557 ลิตร/กก. VS และพบว่าการสะสม VFA เกิดขึ้นเมื่อมีอัตราส่วน S/I ที่สูงเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่จำนวนมาก

Avicenna et al. (2015) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลวัวและเปลือกข้าวโพด โดยการทดลองศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เพื่อเพิ่มการผลิตก๊าซชีวมวล โดยได้กำหนดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็น 3 ระดับคืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ที่ 25.0 กรัม VS/ลิตร/วัน 35.0 กรัม/ลิตร/วัน และ 45.0 กรัม VS/ลิตร/วัน ตลอดจนศึกษาผลของ NaOH ในการปรับสภาพเปลือกข้าวโพด โดยใช้ NaOH ที่มีความเข้มข้นของที่ 25.0% (N25) 35.0% (N35) และ 45.0% (N45) โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าอัตราที่ก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้สูงสุดคือ 67.6 มิลลิลิตรต่อนาทีโดยมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ 63.4% เมื่อใช้อัตราอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ที่ 43.6 กรัม VS/ลิตร/วัน และความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้คือ 33% (w/w)

Liu et al. (2105) ได้ศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและศึกษาสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อร่วมการย่อยฟางข้าวสาลี มูลแกะ และมูลไก่ โดยได้ทำทดสอบผลของการที่ใช้วัสดุเติมแต่งโดยใช้อัตราส่วนมูลสัตว์/อัตราส่วนฟาง เป็น 3:7, 5:5 และ 7:3 และการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้อุณหภูมิ 35° C ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ กก· VS) ได้จากการเติม 3 กรัม แมคนีไทท์ และ 1 กรัม ซีโอไลท์ธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 52.01% และ 51.01% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการเติมแมคนีไทท์ (magnetite) และซีโอไลท์ ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะช่วยเพิ่มสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับการหมัก ผลที่ดีที่สุดของก๊าซมีเทนคือ

การเติมแมคนีไทท์ 2.7 กรัม ส่วนผลที่ดีที่สุดของการเติมซีโอไลท์ คือ 1 กรัมในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพบว่าการเติมแมคนีไทท์ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สูงกว่ากว่าการเติมซีโอไลท์

Yong et al. (2015) ได้ศึกษาค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) ของเศษอาหาร (FW) และฟางข้าวจากภาคเหนือที่นำมาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนในระบบปิดขนาด 1 ลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าค่า BMP ของเสษอาหารและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 0.26 และ 0.16 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS ตามลำดับ และได้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อที่จะศึกษาถึงอัตราส่วนของเศษอาหาร (FW) ต่อฟางข้าวที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่า 5 กรัมต่อลิตร VS ซึ่งผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนการผสมของเศษอาหาร (FW) ต่อฟางข้าวคือประมาณ 5:1 จะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนที่ได้มีค่ามาก ถึง 0.392 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS คือเพิ่มขึ้นจาก 39.5% เป็น 149.7% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการย่อยสลายอาหารเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้พบว่าปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ มีค่า 0.58 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS และองค์ประกอบของก๊าซมีเทนประมาณ 67.62% ตามลำดับ และผลการทดลองยังพลว่าขนาดของฟางยังมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งขนาดที่เหมาะสมคือ 0.3-1 มิลลิเมตร

ศิริวรรณ ปัญญาดี (2555) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของเศษอาหารร่วมกับกากมะขามป้อมงานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะแบบไม่ใช้อากาศของเศษอาหารร่วมกับกากมะขามป้อม ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการและระดับภาคสนาม (pilot scale) โดยใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 2.5 ลิตร แบบกึ่งแบทช์ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (29-33°C) ที่ระยะเวลากักเก็บ (HRT) 40, 30, 20, 15, 10 และ 7.5 วันโดยทำการป้อนอาหารทุกวันจันทร์ พุธ ศุกร์ และมีการกวนผสมเป็นเวลา 3 นาที หลังจากเติมอาหาร การทดลองมี 3 ถังปฏิกิริยา ซึ่งมีอัตราการป้อนภาระสารอินทรีย์ (OLR) และซับสเตรทที่ใช้ต่างกัน คือ เศษอาหารอย่างเดียว (FW) กากมะขามป้อมอย่างเดียว (emblica) และเศษอาหารร่วมกับกากมะขามป้อม (mix) จากผลการทดลองพบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดสูงขึ้นเมื่อค่า HRT ลดลงจาก 40 เป็น 20 วัน สำหรับระบบ FW และระบบ Mix และค่า HRT ลดลงจาก40 เป็น 10 วัน สำหรับระบบ emblica ผลผลิตมีเทนสูงสุดของระบบ emblica ที่ HRT 10 วันคือ 0.160±0.04 m^3 kg^{-1} VS และที่ HRT 40 วัน ของระบบ FW และระบบ Mix คือ 0.187±0.07 m^3 kg^{-1} VS และ 0.237±0.06 m^3 kg^{-1} VS ตามลำดับสำหรับการทดลองในระดับภาคสนาม ทำการทดลองในถังปฏิกิริยาแบบกึ่งแบทช์ขนาด 2,000 ลิตร มีปริมาตรของเหลวในถัง 1,900 ลิตร HRT 44 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 เฟส โดยใช้ซับสเตรทที่ต่างกัน คือ เฟสที่ 1 ทำการหมักเศษอาหารอย่างเดียว (FW) ที่ OLR 2.20 g tCOD $L^{-1}d^{-1}$ เป็นเวลา 177 วัน และเฟสที่ 2 ทำการหมักเศษอาหารร่วมกับกากมะขามป้อม (Mix) ที่ OLR 2.40 g tCOD $L^{-1}d^{-1}$ เป็นเวลา 22 วัน (ทั้งหมด 199 วัน) จากผลการทดลองในเฟสที่ 1 พบว่า สามารถกำจัดค่าซีโอดีและผลผลิตมีเทนเฉลี่ยได้ 93.18±0.80% และ 0.10±0.01 m^3 kg^{-1} VS ตามลำดับ และในเฟสที่ 2 สามารถกำจัดค่าซีโอดีและผลผลิตมีเทนเฉลี่ยได้ 92.16±0.67% และ 0.14±0.02 m^3 kg^{-1} VS ตามลำดับ

วราวุธ วิลาวรรณ (2556) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายร่วมของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และมูลไก่ไข่โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ โดยได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าปริมาณของหญ้าต่อมูลไก่ไข่ที่ 50 : 50 % โดยน้ำหนักจะให้ค่าอัตราส่วน C/N เท่ากับ 20 ที่ปริมาณของหญ้าต่อมูลไก่ไข่ที่ 70 : 30 % โดยน้ำหนักจะให้ค่าอัตราส่วน C/N เท่ากับ 30 สำหรับในขั้นตอนการทดลองได้กำหนดความเข้มข้นของแข็งรวมเท่ากับ 4% ในทุกอัตราส่วน C/N ที่มีสภาวะ OLR ที่แตกต่างกัน 4 สภาวะ คือ 1.1, 1.4, 1.7 และ 2.2 kg VS/ (m^3.d) โดยทำการศึกษาผลเป็นเวลา 1.5 เท่าของระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุดของการผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่คือที่อัตราส่วน C/N เท่ากับ 20 ที่ OLR 1.1 kg VS/ (m^3.d) มีค่าเท่ากับ 0.27 ± 0.02 m^3 CH_4/kg VS นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่า OLR จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ให้เหมาะสมและมีความคุ้มทุนที่สุด

สืบสกุล อยู่อินทร์พรหม (2556) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ด้วยถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่วนแรกเป็นการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (biochemical methane potential : BMP)โดยศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด (%TS) ซึ่งจะปรับอัตราส่วน C/N โดยการเติมปุ๋ยยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) ให้มีค่า 20, 30, 40 และชุดควบคุม ซึ่งหมายถึงหญ้าไม่มีการเติมปุ๋ยยูเรีย (C/N= 54) และปรับค่า %TS ที่ 4, 6, 8 และ 10 ในทุก ๆ อัตราส่วน C/N และชุดควบคุม จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน C/N เท่ากับ 30 และ %TS เท่ากับ 4 ให้ค่าผลผลิตก๊าซมีเทน (specific methane yield) สูงสุดคือ 0.303 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อกิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยที่ป้อน ต่อมาส่วนที่สองเป็นการหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) สูงสุดที่ระบบจะผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพโดยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR แบบขั้นตอนเดียวมีปริมาตรใช้งานที่ 25 ลิตร ใช้อัตราส่วน C/N เท่ากับ 30 และ %TS เท่ากับ 4 ที่ได้จากการทดลองส่วนแรกมาดำเนินระบบ และจะทำการพิจารณาที่ค่า OLR ตั้งแต่ 1, 1.33 และ 1.66 กิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากการทดลองพบว่าที่ค่า OLR เท่ากับ 1.00, 1.33 และ 1.66 กิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.213, 0.022, 0.217, 0.016 และ 0.194 ,0.014 ลิตรปริมาณมีเทนต่อกรัมปริมาณของแข็งระเหยที่ป้อนตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซมีเทนควรดำเนินระบบที่ค่า OLR เท่ากับ 1.33 กิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่ง เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR