บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของก๊าซผสม ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) เป็นส่วนใหญ่ และก๊าซอื่น ๆ เล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน(N_2) ซึ่งมีคุณสมบัติในการติดไฟได้ [12]

1.1 ขั้นตอนในการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการหมัก ในสภาวะไร้ออกซิเจนจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 Hydrolysis

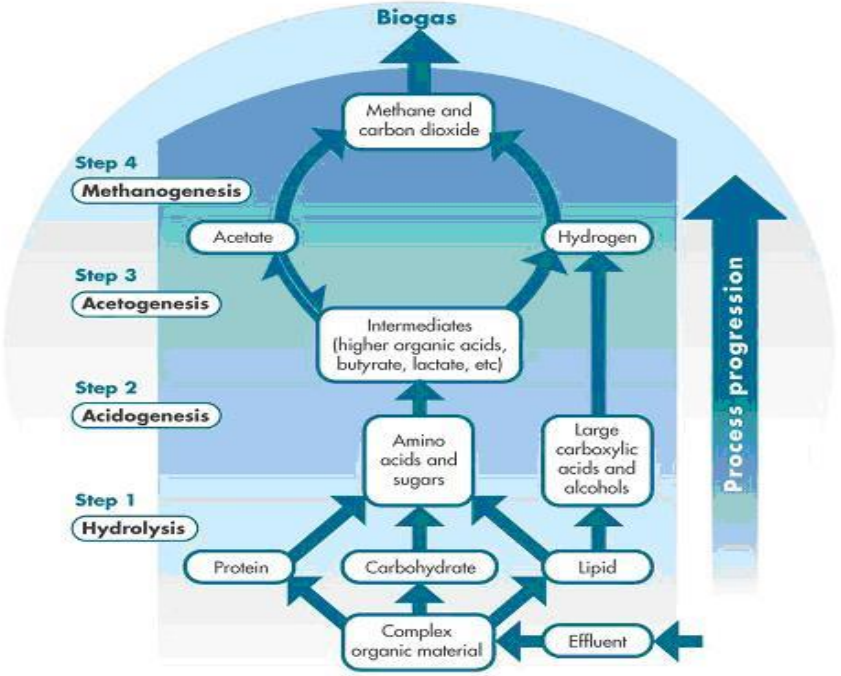
ขั้นที่ 2 Acidogenesis

ขั้นที่ 3 Acetogenesis

ขั้นที่ 4 Methanogenesis

และเกี่ยวข้องกับแบคที่เรีย 3 พวกคือ

1. Acidogenic Bacteria
2. Acetogenic Bacteria
3. Methanogenic Bacteria



รูปที่ 2 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ (ที่มา: 2009. Greenenergynet.net Co., Ltd. Allright Reserved)

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุล ขนาดใหญ่ ให้มีขนาดเล็กลงโดยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (Acidogenic) โดยแบคทีเรียปล่อยสสาร เอนไซม์ออกมานอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) ซึ่งเอนไซม์ จะไปกระตุ้นช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น เรียกเอนไซม์ เหล่านี้ว่า Hydrolytic Enzyme) แต่ไม่ใช่ว่าเอนไซม์ชนิดเดียวจะสามารถใช้ย่อย สารได้ทุกชนิดแต่เอนไซม์ที่ใช้ควรเหมาะสมกับสารอินทรีย์อย่าง การทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดเช่นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ ดังนั้นการย่อยสารแต่ละชนิดจึงใช้สภาวะที่แตกต่างกัน จากการศึกษากระบวนการแตกสลายของโพลีเมอร์จากของเสียหลาย ๆประเภท พบว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียเพียงชนิดเดียว[18]

ขั้นตอนที่ 2 Acidogenesis

ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 1 จะได้เป็นกรดอมิโน น้ำตาล และไขมันแล้วแต่ชนิดของสารอินทรีย์ ซึ่งจะถูกแบคทีเรียกลุ่มเดียวกับในขั้นตอนที่ 1 คือ พวก Acidogenic ดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของเซลล์ โดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์ และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพออนิก กรดบิวทิวริก เป็นต้น

ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกและกรดไขมันระเหยอื่น ๆ (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นในขั้นตอนที่ 2 นั้นจะเป็นอาหารให้กลุ่มแบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างแบคทีเรียต่อไป แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิวริก และกรดโพรไพออนิก เป็นสาร อาหารได้จึงต้องอาศัยแบคทีเรีย (Acetogenic) (แบคทีเรียที่สามารถสร้างอะซิติกละสร้างไฮโดรเจน) ทำการย่อยสลายไขมัน สลายกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก เพื่อให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป แบคทีเรียอะซิโตเจนนิค จะมีส่วนช่วยให้มีการสะสมตัวของกรดบิวทิวลิกและโพรไพออนิกในถังปฏิกิริยาซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ลดลงจนยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

ขั้นที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะใช้กรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนในการสร้างมีเทนในขั้นตอนนี้แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1. Obligate actrolastic Methanogen คือ แบคทีเรียที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการสร้างมีเทน ดังสมการ $CH_3COOH \longrightarrow CH_4+CO_2$

ซึ่งจะผลิตมีเทนในระบบถึง ร้อยละ 70 ของก๊าซมีเทนที่ได้ทั้งหมด

2. Obligate Hytrogenotrophic Methanogen คือ แบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน ในการผลิตก๊าซมีเทน โดยใช้คาร์บอนไดออกไซค์เป็นแหล่งคาร์บอนดั่งสมการ

$$4H_2+CO_2 \longrightarrow CH_4+2H_2O$$

3. Hydrogenotrophic/ actrolastic Methanogen คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่สมารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานได้ดีกว่า

$$4CH_3CH2COOH+2H_2O \longrightarrow 4CH_3COOH+CO_2+3CH_4$$

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนเท่านั้น เจริญได้ดีทั้งที่มีอุณหภูมิปานกลาง (35 – 40) ^{0}C และช่วงอุณหภูมิสูง (55- 60) ^{0}C รวมทั้งค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.5 – 7.8 ต้องการแอมโมเนียและซัลไฟด์ หรือ ซีเทอีน เป็นแหล่งไนโตรเจนและซัลเฟอร์

1.2 ลักษณะของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์หลายชนิด แหล่งที่เกิดก๊าซชีวภาพ ได้แก่

1. ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย
2. ตามบ่อน้ำพร้อมที่มีการสะสมของก๊าซไฮโรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์
3. ตามก้น หนอง คลอง บึง ที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ เช่นใบไม้ผุ
4. ในถังหมักของเสียจากชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

อัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ ภายในก๊าซชีวภาพจากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ (สมชาย เฟื่อง คอน), 2522 สามารถประมาณได้ดังนี้

Methane (CH_4)	55 – 65 %
Nitrogen (N_2)	0 – 3 %
Oxygen (O_2)	0 – 1 %
Cabondioxide (CO_2)	35 – 45 %
Hydrogene (H_2)	0 – 1 %
Hydrogene Sulphide (H_2S)	0 – 1 %

1.3 ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่คงตัวไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพในด้านการใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นสำคัญ ซึ่งก๊าซมีเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนประมาณ 1000 BTU ก๊าซชีวภาพจึงจุดไฟติดในบรรยากาศโดยให้ค่าความร้อนประมาณ 600 BTU / ft^3 ที่อุณหภูมิและความดันปกติ หรือเมื่อเปรียบเทียบ ก๊าซชีวภาพ 1 m^3 จะให้ความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ชั้นดี 0.74 กิโลกรัม ก๊าซหุงต้ม(LPG) 0.46 กก. น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร เป็นต้น

1.4 สมบัติของก๊าซ มีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทนที่บริสุทธิ์นั้นจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เมื่อเผาไหม้จะได้ CO_2และ H_2O และพลังงาน 5300 – 6000 kcal/m^3 ที่ 15 ^0C ความดันบรรยากาศ 735 mm ส่วน Hydrogen Supplied (H_2S) ที่ปะปนอยู่ด้วยจะเป็นตัวการให้เกิดการกัดกร่อน และส่งกลิ่นเหม็นแต่เมื่อถูกเผาไหม้จะได้กลิ่นนี้น้อยลง มีเทนเป็นก๊าซที่ทำให้เป็นของเหลวได้ยาก เพราะมีจุดควบแน่นที่อุณหภูมิ -164.4 ^0C

1.5 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

รูปแบบและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์นั้น ที่นิยมโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

(1.) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน

การนำก๊าซชีวภาพไปเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงนั้น จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนใช้งานได้สูง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือน ใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง ฯลฯ อย่างไรก็ตามการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานนั้น คำนึงถึงการส่งลำเลียงก๊าซ โดยปรกติจะส่งลำเลียงก๊าซชีวภาพไปตามท่อ โดยอาศัยพัดลมและปั๊มช่วยเพิ่มแรงดันและระยะทางไม่ไกลจนเกินไป

(2.) การใช้ก๊าซชีวภาพผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า

การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถผลิตได้ดังนี้

- การใช้ชุดเครื่องยนต์สันดาปภายใน ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพจะถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกล แบบสันดาปภายใน และให้พลังงานออกมาทางเพลา เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งออกมาทางสายส่งสายไฟหลัก

- การใช้ชุดกังหันไอน้ำ (Steam terbine) ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟ้า (Gennerater) ก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิง ให้กับหม้อต้มไอน้ำ (Steam Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำที่มีความดันสูง ส่งเข้ากังหันไอน้ำเพื่อถ่ายทอดกำลังออกทางเพลา และใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งออกมาทางสายไฟหลัก

(3.) การผลิตพลังงานร่วม

การผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อนนี้ อาศัยหลักการนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นจากระการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า กลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์

1.6 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ เป็นคาร์โบไฮเดรท และมีโปรตีนปริมาณต่ำ โดยที่คิดตามน้ำหนัก หัวมันสำปะหลังสด จะมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ (30 – 35)% และถ้าคิดตามน้ำหนักหัวมันสำปะหลังแห้ง จะมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ (70 – 90) % โดยเฉลี่ยแล้วหัวมันสำปะหลังสดจะประกอบด้วย

น้ำ	(60 – 65) %
คาร์โบไฮเดรต	(30 – 35) %
โปรตีน	(1 – 2) %

ส่วนแร่ธาตุและวิตามินจะมีปริมาณ ค่อนข้างต่ำ แต่จะมีปริมาณของแคลเซียม และวิตามินซีสูงมาก คาร์โบไฮเดรต จะประกอบไปด้วยแป้งและน้ำตาล hemicellulose และ cellulose ซึ่ง hemicellulose กับ cellulose ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในมันสำปะหลังแห้ง 100 กรัม

องค์ประกอบของ คาร์โบไฮเดรต	**อายุของมันสำปะหลัง (เดือน)**				
	5	6	7	8	9
แป้ง	71.8	67.2	72.5	81.0	77.6
hemicellulose	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0
cellulose	4.5	5.4	3.7	3.2	3.4
น้ำ ตาลทั้งหมด	3.1	5.1	2.6	3.5	5.7

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของมันสำปะหลังสดใน 100 กรัม

ส่วนประกอบ	มันสำปะหลังสด	หน่วย
พลังงาน	146	กิโลแคลอรี่
คาร์โบไฮเดรต	62.5	กรัม
โปรตีน	34.7	กรัม
ไขมัน	0.3	กรัม
แคลเซียม	33	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7	มิลลิกรัม
ไทอะมัน(บี 1)	0.06	มิลลิกรัม
ริโบฟราวิน(บี2)	0.03	มิลลิกรัม
เนียซิน	0.6	มิลลิกรัม
วิตามินซี	36	มิลลิกรัม

Source:

I* BS.plant , II* FAO foot composition table march , III* G.M. culwick , IV* Roger and miler

กากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้น จะเหลือประมาณร้อยละ 20-30 ต่อตันแป้งจากขบวนการผลิต [13] กากจะมีความชื้นสูงมาก (ร้อยละ 65.50 ของน้ำหนักเปียก) และยังคงมีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงอยู่ (ร้อยละ 80.60 ของน้ำหนักแห้ง) ทำให้เน่าเสียได้ง่าย นอกจากแป้งแล้วยังประกอบด้วย เถ้า โปรตีนเส้นใย และไขมัน โดยที่องค์ประกอบของกากมันสำปะหลังจะมีความแตกต่างกันตามคุณภาพวัตถุดิบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ พันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว แหล่งเพาะปลูก และการจัดการการเพาะปลูก นอกจากนี้แล้วองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย

1.7 สภาวะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.7.1 อุณหภูมิ

การย่อยสลายอินทรีย์และการผลิตก๊าซในสภาพปราศจากออกซิเจน สามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์

ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

1) Psychrophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 5-15 องศาเซลเซียส

2) Mesophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส

3) Thermophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปการควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมักมักนิยมควบคุมในช่วง Mesophilic มากกว่าอีก 2 ช่วง เนื่องจากช่วง Mesophilic มีอัตราการย่อยสลายสูง อนึ่งนั้น อุณหภูมิมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อุณหภูมิยิ่งสูง อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นจะเร็วขึ้น และมากขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิยิ่งมีส่วนสัมพันธ์กับชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนด้วย

1.7.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก โดยแบคทีเรียทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจน จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกลางซึ่งมีค่า pH ในช่วง 6.5 ถึง 7.8 ถ้าค่า pH ในน้ำเสียมีค่ามากกว่า 6.5 ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม Methane former จะต่ำลง แต่ค่า pH ต่ำถึง 5 ก็จะมีอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่ม Methane former อย่างรุนแรง ส่วนแบคทีเรียประเภทสร้างกรดจะสามารถทนได้ถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดจึงทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพที่เป็นกรดได้ดีกว่าแบคทีเรียตัวอื่น

1.7.3 สภาพด่างไบคาร์บอเนต (Alkalinity)

สภาพด่างไบคาร์บอเนต คือ ความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน ในรูปของ $CaCo_3$ Alkalinity ในน้ำอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนตและไฮดรอกไซค์ จำนวนอนุมูลเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า pH ดังนั้นค่า Alkalinity หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง โดยค่า Alkalinity ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000 – 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต (CaCO3)

1.7.4 สารอาหาร (Nutrients)

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน มีธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาก ได้แก่

1) ไนโตรเจน (N)
2) ฟอสฟอรัส (P)
3) สารอื่นๆ เช่น Ca, Mg, Co, Fe

โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์ คือ COD: N: P = 100: 1: 0.2 แต่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่กำหนดจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำลง และถ้าหากมีมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้เช่นกัน ส่วนธาตุอื่นๆ แบคทีเรียจะต้องการน้อยมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอยู่ในน้ำเสียอยู่แล้ว ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงพิจารณาแค่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้น

1.7.5 สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)

สารอินทรีย์เกือบทุกชนิดถ้ามีปริมาณมากเกินไปในระบบหมักก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ซึ่งพวกที่มีน้ำหนักอะตอมสูงก็จะส่งผลที่เป็นพิษรุนแรงกว่าพวกที่มีน้ำหนักอะตอมเบา และไอออนที่มี Valency สูงจะส่งผลที่เป็นพิษรุนแรงกว่าพวกที่มี Valency ต่ำกว่า รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย ก็สามารถทำให้ขบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้

แต่ในสภาพความเป็นจริงปรากฏว่าในน้ำเสียมีสารพิษปะปนอยู่ปริมาณสูงแต่ปรากฏว่าน้ำเสียดังกล่าวสามารถถูกย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยไม่แสดงความเป็นพิษให้เห็นชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการหมักเกิดปฏิกิริยาขึ้นมากมาย เช่น การตกตะกอนของสารพิษ การถูกทำลายกลายเป็นสารรูปอื่นๆ และการรวมตัวของไอออนต่างๆ

1.7.6 การเติมอาหารและสารอินทรีย์

การเติมเข้าระบบหมักแบ่งได้ 3 วิธีคือ

1) เติมครั้งเดียว
2) เติมกึ่งต่อเนื่อง
3) เติมต่อเนื่อง

การเติมครั้งเดียวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด เพราะสภาพต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้แบคทีเรียต้องปรับตัวตลอดเวลา ในขณะที่การเติมน้ำเสียแบบต่อเนื่องตลอดเวลา จะมีประสิทธิภาพสูงสภาวะภายในถังจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงเลือกวิธีเติมแบบต่อเนื่อง (เนื่องจาก

ระบบการหมักก๊าซชีวภาพมีหลายระบบดังนั้นในการทดลองควรเลือกวิธีการเติมสารอาหารและสารอินทรีให้เหมาะสมกับระบบ)

1.7.7 การกวนผสม

การผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในกรณีน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังจะลดการจับตัวกันเป็นก้อนแป้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยแป้งได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบทั่วถึง การผสมสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้วิธีการผสมโดยใช้ใบพัดกวนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมโดยการหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ การผสมสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งการผสมแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีความไวต่อการผสมเร็ว (Rapid Mixed, Velocity gradient, G>500 s-1) มาก ควรหลีกเลี่ยงการผสมที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบ เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวได้ [1]

การกวนผสมสามารถทำได้โดย

1) ใช้เครื่องดูดก๊าซชีวภาพกลับเข้าถังหมักทางด้านล่าง ให้ก๊าซลอยขึ้นไปปะทะกับตะกอนที่สะสมอยู่ด้านล่าง

2) ใช้ใบพัดกวนผสม

3) ใช้ปั๊มสูบน้ำเข้าถังหมักทางด้านล่าง

การกวนผสมในถังหมักมีความจำเป็นมากเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักเพิ่มขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียมีโอกาสได้พบสารอาหารทั่วถึง รวมทั้งการกวนผสมทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิในถังหมักสม่ำเสมออีกด้วย

1.7.8 อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N Ratio)

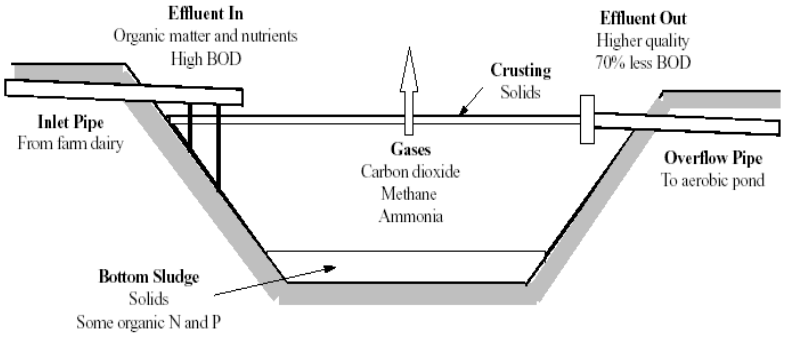
ปัจจัยในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของคาร์บอน และไนโตรเจนเป็นสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากคาร์บอน จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานจุลินทรีย์ และไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์ปกติ จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนมาก เป็น 10-30 เท่า ของไนโตรเจน การย่อยสลายจึงสมดุลย์ ถ้าคาร์บอนมากไป การย่อยสลายจะไม่สมบูรณ์ จะค่อยลดลงจนจุลินทรีย์ตายลงบางส่วน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 20-30: 1

1.8 รูปแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้น ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายมากขึ้นอย่างมาก ด้วยเหตุผลหลักสองประการ คือช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของโรงงาน โดยรูปแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมมีดังนี้

1. บ่อหมัก (Anaerobic Pond)

ทำงานโดยอาศัยแบคทีเรียที่ลอยกระจายตัวอยู่ในบ่อ แบคทีเรียในระบบจะมีความเข้มข้นต่ำทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์นานอยู่ระหว่าง 5 – 45 วัน ทำให้ต้องใช้พื้นที่บ่อใหญ่มาก หากต้องการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ต้องคลุมด้วยพลาสติก เช่น PVC, HDPE



รูปที่ 3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ บ่อหมัก (Anaerobic Pond) (**ที่มา**: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

2. ระบบบ่อปิด (Covered Lagoon)

บ่อหมักระบบปิดเป็นบ่อหมักก๊าซอีกรูปแบบหนึ่ง โครงสร้างบ่ออาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินขุดก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินขุดอาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของเสียลงสู่ดิน ด้านบนของบ่อคลุมด้วยผืนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อและเพื่อป้องกันไม่ให้กลิ่นแพร่กระจาย หลักการทำงานของระบบนี้เนื่องจากด้านบนมีพลาสติกคลุมทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรียในน้ำเสียในสภาพไร้ออกซิเจนได้ ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 4 ระบบบ่อปิด (Covered Lagoon) (**ที่มา**: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

3. บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome)

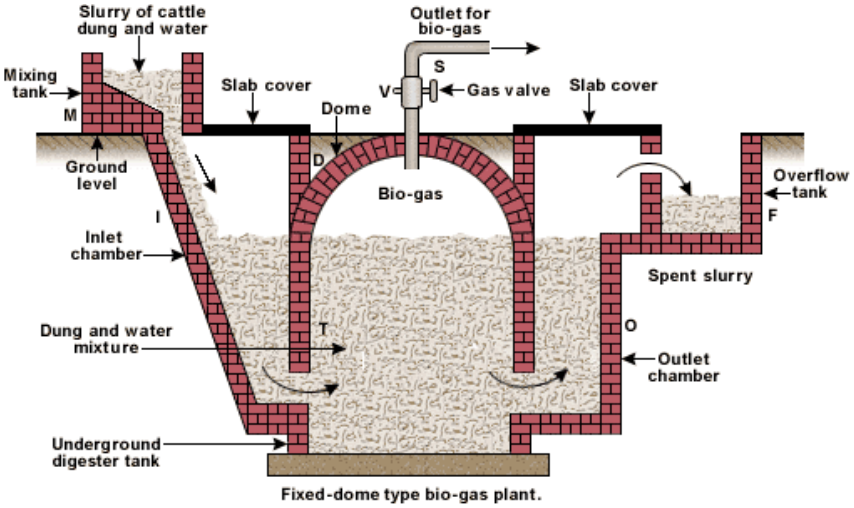
เป็นบ่อหมักก๊าซที่ส่งเสริมให้มีการใช้ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมผังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่เก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดม ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์มเนื่องจากถังหมักอยู่ใต้ผิวดิน จึงทำให้สามารถระบายน้ำมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง อุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ทำให้การหมักของมูลสัตว์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับข้อเสียของระบบนี้คือ ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงการทำงานและการสร้างบ่อหมักจะค่อนข้างลำบาก และในบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูง

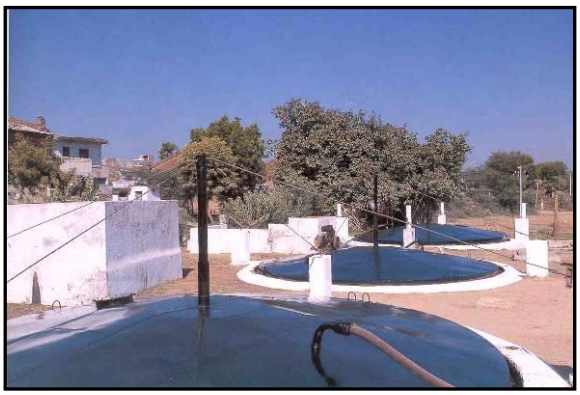
ส่วนประกอบของบ่อโดมคงที่มีดังนี้

1) บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก

2) บ่อหมัก (Digester Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมูลสัตว์มาหมักให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซอื่น ๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้มูลสัตว์และน้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อหมักไหลไปอยู่ก้นบ่อ

3) บ่อล้น (Expansion Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมัก โดยการทำงานจะเป็นระบบไดนามิก คือเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันมูลสัตว์และน้ำที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักเพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้

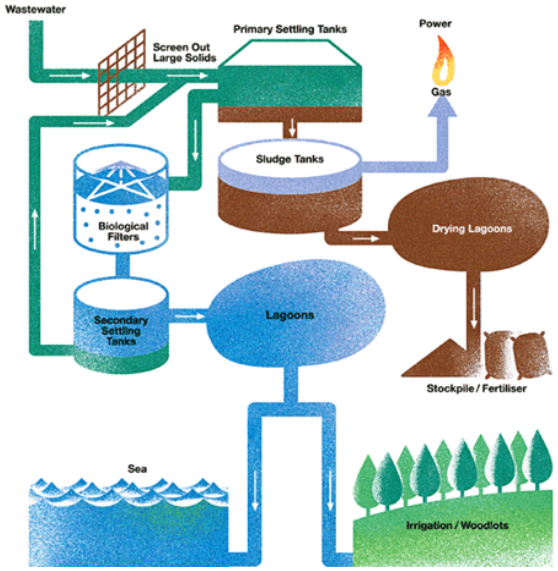




รูปที่ 5 บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome) (**ที่มา**: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

4. ระบบหมักแบบถังกรองไร้ออกซิเจน (AF, Anaerobic Filter หรือ Anaerobic Fixed Film)

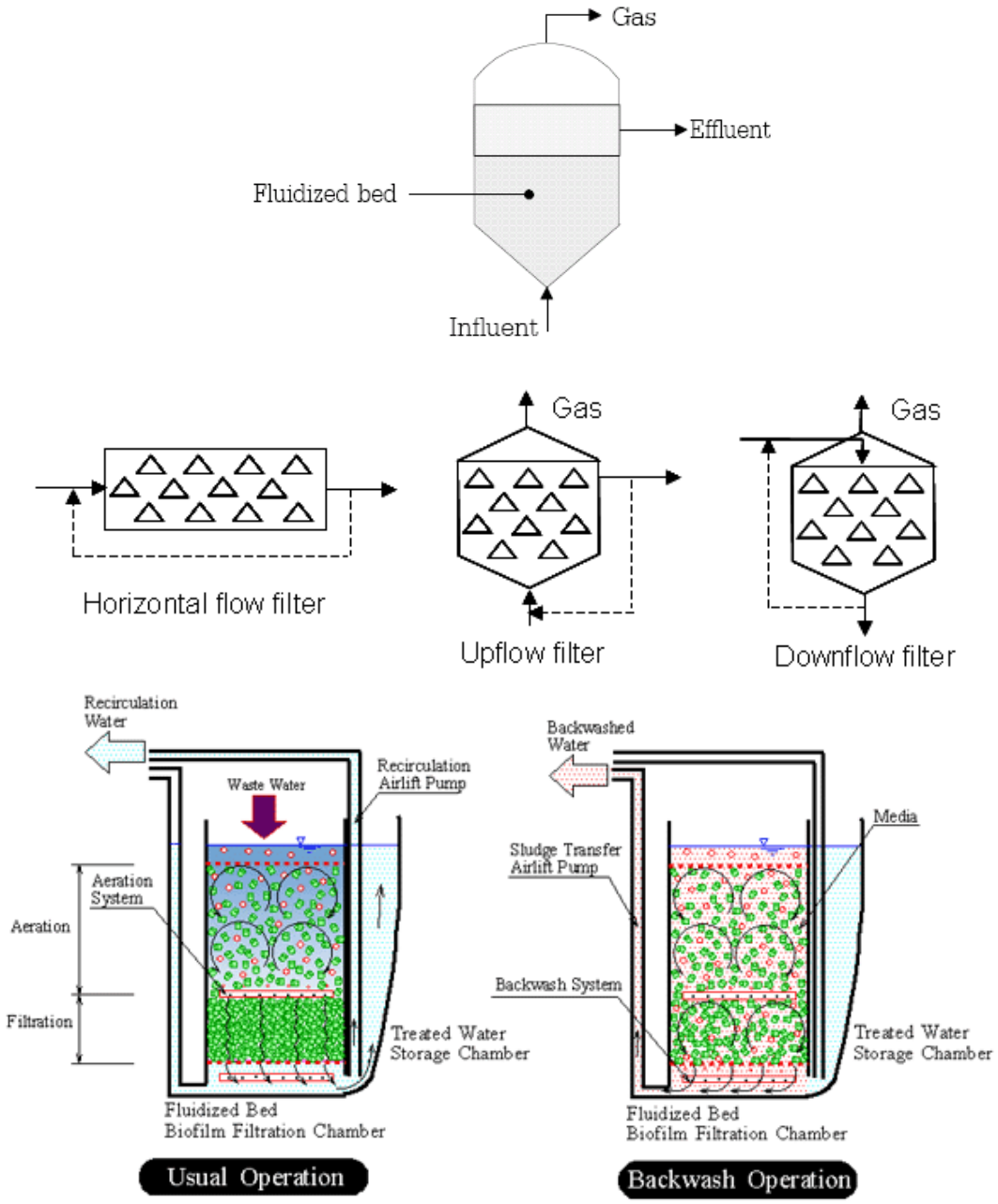
ระบบได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้นจากถังหมักที่อาศัยการทำงานของตะกอน จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสีย มาเป็นแบบระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลาง จากรูปแสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศส่วนประกอบที่สำคัญคือถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5–2 นิ้วหรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะมีอัตราบำบัดสูงกว่า(ใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า) อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ หากความเร็วของน้ำในถังปฏิกิริยาเกิน 2 เมตร/วัน จะเกิดการชะเอา Floc Sludge ออกจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และหากเกิด Fixed Film มากจนควบคุมไม่ได้ก็จะเกิดการอุดตันและเกิดการไหลลัดวงจร ทำให้ประสิทธิภาพลดลง จากข้อด้อยดังกล่าวทำให้ต้องใช้พื้นที่มากและมีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา อีกทั้งตัวกลางที่มีคุณสมบัติที่ดีครบถ้วนจะมีราคาแพง (6,000 บาท/ลบ.ม.) ถังกรองไร้ออกซิเจนจึงไม่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานกับระบบขนาดใหญ่ แต่ก็มีการใช้งานอยู่บ้างกับระบบขนาดเล็กและขนาดกลาง



รูปที่ 6 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ ถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

5. ระบบหมักแบบ ชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB, Anaerobic Fluidized Bed)

ระบบนี้เป็นระบบที่ได้พัฒนามาจากระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) มีการดัดแปลงระบบ โดยเปลี่ยนตัวกลางที่เป็นชนิดติดอยู่กับที่ มาใช้ตัวกลางที่สามารถเคลื่อนไหวได้และมีพื้นที่ผิวมาก ๆ ซึ่งตัวกลางดังกล่าวจะเป็นทราย , Anthracite , Activated Carbon หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงเม็ดทราย การทำงานของระบบจะให้ตัวกลางมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงไม่เกิดการอุดตัน และระบบยังมีพื้นที่ผิวของฟิล์มจุลชีพต่อหน่วยปริมาตรมากกว่าถังกรองไร้ออกซิเจนอีกด้วย ซึ่งทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่า แต่ข้อเสียของระบบนี้ คือ ต้องสิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากในการที่จะทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตัวกลาง และที่สำคัญที่สุด คือ มีการนำระบบมาใช้งานจริงในระดับ Full Scale น้อยมากในประเทศไทย

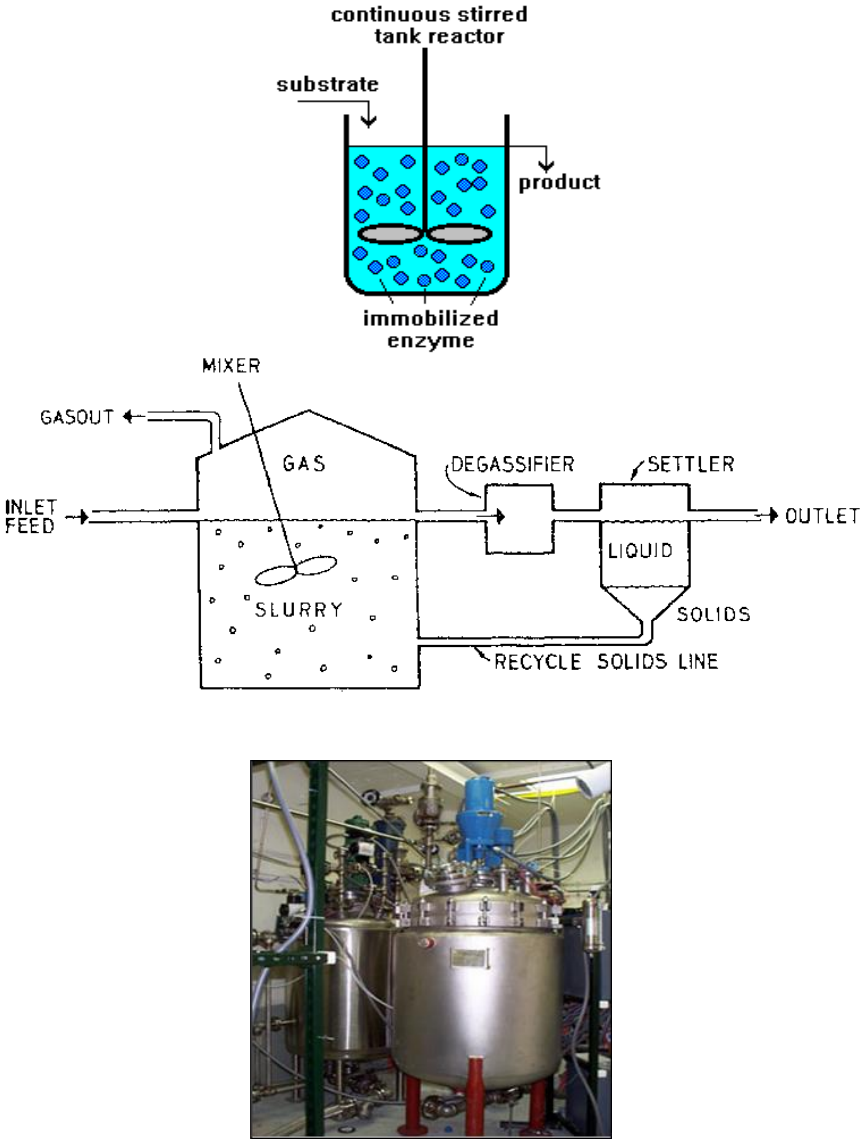


รูปที่ 7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Fluidized Bed) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

6. ระบบหมักแบบถังย่อยแบบสัมผัส (AC, Anaerobic Contact)

ถังย่อยแบบสัมผัส ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังรูป โดยถังกวนสมบูรณ์ จะมีถังตกตะกอนขนาดใหญ่ทำหน้าที่แยกแบคทีเรียออกจากน้ำเสียเพื่อนำตะกอนจุลินทรีย์มาหมุนเวียนกลับเข้าถังกวนสมบูรณ์ใหม่เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ถังกวนสมบูรณ์จะเลี้ยงแบคทีเรียชนิด Floc Sludge ให้มีความเข้มข้นสูงประมาณ 10,000 – 30,000 มก./ลิตร โดยทั่วไประบบจะสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุด 6 กก.COD/ลบ.ม. -วัน จากการที่ระบบต้องมีถังตกตะกอนและการหมุนเวียนตะกอนกลับ ทำให้ถังหมักมีค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดใกล้เคียงกับระบบเติมอากาศ ซึ่งจะแพงกว่าระบบไร้ออกซิเจน

ประเภทอื่น ๆ อีกทั้งมีปัญหาในการควบคุมให้ Floc Sludge ตกตะกอน ระบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในหมู่วิศวกรผู้ออกแบบคนไทยทำให้มีใช้กันน้อยมาก ส่วนในต่างประเทศนิยมใช้กันมากในอดีต



รูปที่ 8 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสัมผัส AC โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

7. ระบบหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

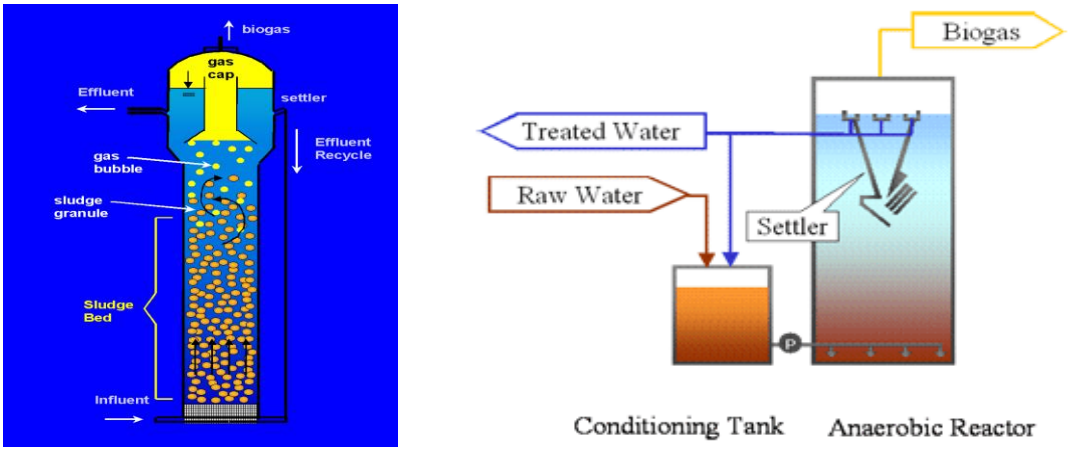
ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือน้ำเสียจะถูกส่งเข้าก้นถัง ตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบาช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย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

ระบบ UASB เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยแบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดสลัดจ์(กากตะกอน) ขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ข้างล่างส่วนเม็ดขนาดเล็กจะอยู่ข้างบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ เม็ดบางส่วนอาจหลุดขึ้นถึงตอนบนของถัง ตอนบนของระบบยูเอเอสบีมีอุปกรณ์ที่คล้ายถังตกตะกอนมีหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็กและก๊าซชีวภาพออกจากน้ำเรียกว่า Gas Solids Separator (GSS ทำหน้าที่แยกก๊าซ ตะกอนแบคทีเรียและน้ำทิ้งออกจากกัน 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 และสามารถย่อยสลายมลสารที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี โดยสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นถึง 100,000 มก./ล. ได้

รูปที่ 9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

8. ระบบหมักแบบ EGSB (Expanded Granular Sludge Bed)

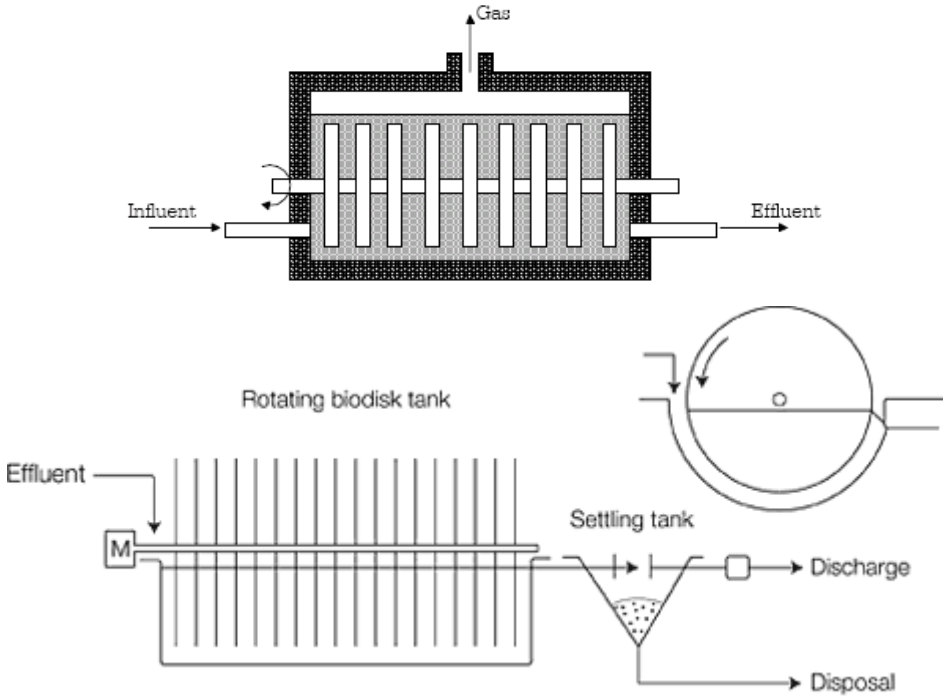
ระบบ EGSB ปรับปรุงมาจากระบบ UASB โดยให้มีอัตราน้ำไหลขึ้นสูงประมาณ3-10 ม./ชม. ทำให้ชั้นนอน (Sludge Bed) มีการขยายตัวมากกว่าระบบ UASBช่วยทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและเม็ดแบคทีเรียได้ทั่วถึง การบำบัดน้ำเสียจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ UASB รูปตัดของ EGSB แสดงอยู่ในรูปที่ 6 การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge Bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอน ขึ้นอยู่กับความสูงของถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7–14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบนซึ่งเป็น GSS หรือระบบแยกก๊าซและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ ก๊าซชีวภาพและของแข็งแขวนลอย (SS)ถูกแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ SS จะตกตะกอนกลับลงไปยังตอนล่างของถังหมัก น้ำเสียบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังหมัก ระบบGSS ของถังหมักแบบ EGSB เป็นระบบที่ออกแบบพิเศษให้สามารถทำงานได้ดีกว่าระบบ GSS ของถัง UASB ทั่วไป กล่าวคือ ให้สามารถรับอัตราไหลได้สูงกว่า (อัตราน้ำล้นผิวของระบบ GSS ชุดพิเศษนี้มีค่าประมาณ 1 ม/ชม.)



รูปที่ 10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ (Expanded Granular Sludge Bed) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

9. ระบบหมักแบบจานหมุนชีวภาพไม่ใช้อากาศ (ARBC หรือ Anaerobic Rotating Biological Contactor)

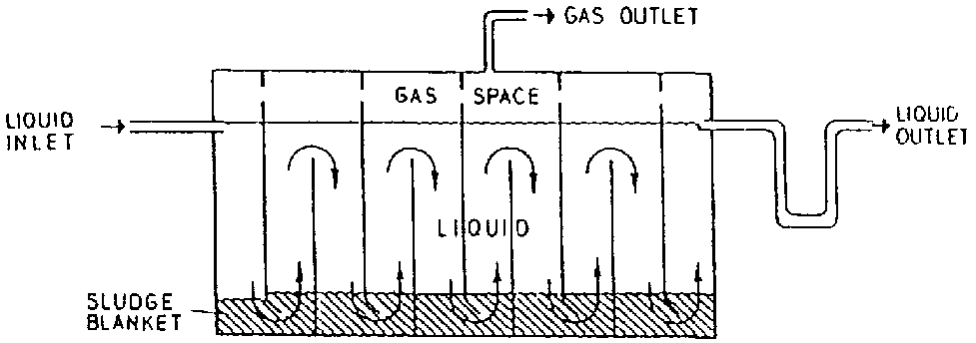
ระบบนี้นำข้อดีของระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) และจานหมุนชีวภาพ (RBC) มาใช้ในระบบไม่ใช้อากาศลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานหมุนชีวภาพธรรมดา เพียงแต่มีฝาปิดเพื่อมิให้สัมผัสอากาศจากภายนอก และมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน (ดังรูปที่ 10) ผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศสามารถยึดเกาะ และเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นจาน มีคำอ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระสารอินทรีย์และภาระทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ดี



รูปที่ 11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ (Anaerobic Rotating Biological Contactor) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

10. ระบบหมักแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor)

ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถัง หรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะมีลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2-0.4 เมตร/ชม. ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ระบบมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบ UASB



รูปที่ 12 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor) (ที่มา: 2009 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ)

จากระบบที่กล่าวมาทั้งหมดงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสัมผัส AC โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี โดยหลักการระบบหมักประสิทธิภาพสูงเหล่านี้ เป็นการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียให้สูงในถังหมักดังได้กล่าวมา แล้ว ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้แก่ ระบบสองขั้นตอน (Two-Stage Process) โดยพบว่าการใช้ถังหมัก 2 ถังต่ออนุกรมกัน โดยถังแรกเรียกว่า ถังหมักกรด ถังที่สองเรียกว่า ถังหมักมีเทน พบว่าวิธีการนี้ (Two-Stage Process) สามารถลดขนาดของถังหมักมีเทนได้ประมาณครึ่งหนึ่ง หรือสามารถรับน้ำเสียได้สูงขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัว ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน มีความต้องการสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ซึ่งในกระบวนการหมักกรดก็จะเกิดกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งกระบวนการผลิตมีเทนจะมีแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยใช้กรดอะซิติกและแบคทีรียสร้างมีเทนโดยใช้ไฮโดรเจน [15, 23, 24, 36, 43]. โดยสารอาหาร (Substrates) ที่นำมาใช้ในระบบหมักแบบสองขั้นตอนในปัจจุบัน เช่น glucose [34], sucrose [32], food waste [26], olive pulp [21] cheese

whey [22] and molasses [38]. เป็นต้น ดังนั้นเมื่อแยกถังหมักเป็น 2 ถัง จึงทำให้แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มมีประสิทธิภาพสูงขึ้น [35, 34, 32, 26, 21, 22, 38] และการผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในกรณีน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังจะลดการจับตัวกันเป็นก้อนแป้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยแป้งได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบทั่วถึง การผสมสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้ วิธีการผสมโดยใช้ใบพัดกวนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมโดยการหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ การผสมสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งการผสมแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีความไวต่อการผสมเร็ว (Rapid Mixed, Velocity gradient, G>500 s-1) มาก ควรหลีกเลี่ยงการผสมที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบ เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวได้[1] งานวิจัยนี้จึงเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสัมผัส AC โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor) มาต่อกันแบบอนุกรมซึ่งเรียกว่าถังหมักแบบสองขั้นตอนและได้ทำการศึกษาผลของการกวนต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการหมักก๊าซมีเทน หรือกระบวนการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เป็นกระบวนการที่ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศที่เรียกว่า มีเทนโนเจน (Methanogen) ซึ่งมีทั้งชนิด Autotrophic ที่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)และก๊าซไฮโดรเจน(H_2)ขณะที่จุลินทรีย์ ชนิด Heterotrophic จะเปลี่ยนสารอะซิเตด ฟอร์เมท และสารประกอบชนิดอื่น ๆไปเป็นสารที่ทำหน้าที่ช่วยให้เมตาบอลิซึม (Metabolic Function) ของเซลล์ทำงานได้ดี [38], โดยปริมาณอะซิเตดสองในสามส่วนเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยธรรมชาติ ขณะที่ก๊าซมีเทนอีกหนึ่งส่วนเกิดจากปฏิกิริยา reduction ก๊าซ CO_2 และอิเล็กตรอนที่รับมาจากปฏิกิริยา Oxidation ก๊าซ H_2 หรือ ฟอร์เมท (Formate)[2]

Hernandez, and Edyvean. (2011) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศชนิดสองขั้นตอนและขั้นตอนเดียวโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารปนเปื้อนฟีนอล ซึ่งฟีนอลเป็นสารมลพิษที่พบในน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นตัวที่จะทำให้การเกิดก๊าซชีวภาพน้อยลง ทำการทดลองโดยใช้ขวดแก้วใสเป็นเครื่องปฏิกรณ์ขนาดการทำงาน 4 ลิตร โดยใช้ระบบหมักแบบสองขั้นตอนและขั้นตอนเดียวมีขนาดเท่ากัน และควบคุมค่า pH ในถังหมักกรดที5.6 ถังหมักมีเทน8.5 ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C มีแท่งแม่เหล็กติดที่ใต้ขวดสำหรับกวนผสมและทำการเพิ่มปริมาณความเข็มข้นของสารฟีนอลที่ 25, 50,100,250 $mg \cdot \ell^{-1}$ พบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบหมักสองขันตอนเกิด3.3,3.5,4.3,5.8 ลิตร และระบบหมักขันตอนเดียวเกิด 0.9,1.14,1.43,1.72 ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบหมักแบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลมากกว่าระบบขั้นตอนเดียว

Kaparaju et al. (2010) ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากแป้งสาลีโดยใช้ถังหมักแบบ UASB และทำการลองในช่วง Thermophilic โดยทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลาในการกักเก็บ 2 วันโดยมีค่า VS (volatile solids) 324 ml/g โดยแปรผันความเข้มข้นของกากแป้งสาลีที่ 12.8 g-VS/L ถึง 25.6 g-VS/L ผลที่เหมาะสมที่สุดมีค่า OLR 17.1 g-COD/(l.d) ที่ความเข้มข้นของ Substrate 25 %เมื่อลองเพิ่ม OLR เป็น 41.2 g-COD/(l.d) ความเข็นข้นของ Substrate 23-50 % พบว่าการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลงแสดงว่าการที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนได้รับสารอาหารที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้ระบบผลิตก๊าซมีเทนไม่ดีเท่าที่ควร

Hamed et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียโรงรีดนมและน้ำเสียจากอาหารโดยนำมูลสัตว์จากโรงรีดนมผสมกับน้ำเสียจากอาหารในอัตราส่วน 32ต่อ68% และ48ต่อ52%ระยะเวลาในการกังเก็บ 20 และ 30 วัน อุณหภูมิในการทำงานที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นระบบปิดได้ผลอัตราส่วน 32ต่อ68%การกังเก็บ 20 และ 30 วัน เกิดก๊าซมีเทน 235และ262 L/kgVS ตามลำดับ และในอัตราส่วน 48ต่อ52% การกังเก็บ 20 และ 30 วัน เกิดก๊าซมีเทน 274และ298 L/kgVS ตามลำดับ ศึกษาเฉพาะมูลสัตว์จากโรงรีดนมอย่างเดียว เกิดมีเทน 228 L/kgVS และศึกษาจากน้ำเสียจากอาหารอย่างเดียว 241 L/kgVS คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดก๊าซมีเทน69%, 57%, และ 66% ตามลำดับ

Prasad et al. (2010) ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากแป้งสาลีโดยใช้ถังหมักแบบ UASB และทำการลองในช่วง Thermophllic โดยทดลองที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการกักเก็บ 2 วันโดยมีค่า VS (volatile solids) 324 ml/g โดยแปรผันความเข้มข้นของกากแป้งสาลีที่ 12.8 g-VS/L ถึง 25.6 g-VS/L ผลที่เหมาะสมที่สุดมีค่า OLR 17.1 g-COD/(l.d) ที่ความเข้มข้นของ Substrate 25 %เมื่อลองเพิ่ม OLR เป็น 41.2 g-COD/(l.d) ความเข็นข้นของ Substrate 23-50 % พบว่าการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลงแสดงว่าการที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนได้รับสารอาหารที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้ระบบผลิตก๊าซมีเทนไม่ดีเท่าที่ควร

Ofoefule, A.U., & Uzodinma, E.O. (2009)ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้การย่อยแบบไร้อากาศโดยการหมักด้วยมันสำปะหลังอย่างเดียวและผสมกับมูลสัตว์คือ มูลวัว,มูลสัตว์ปีก,มูลหมูในอัตราส่วน 1:1 จากการทดลองได้ผลคือมันสำปะหลังอย่างเดียวเกิดก๊าซ 2.29 ± 0.97 L /total mass of slurryและนำไปผสมกับมูลวัว,มูลสัตว์ปีกและมูล

สุกรได้ผล 4.88 ± 1.73, 5.55 ± 2.17 และ 5.65 ± 2.62 L /total mass of slurry ตามลำดับระยะเวลาการหมักมันอย่างเดียว 59 วัน มันผสมกับมูลสัตว์ปีก 9 วัน มันผสมกับมูลสุกร 11 วัน ได้ผลลัพธ์169.60 L/total mass of slurry

Hanjai et al. (2009) ทำการศึกษาผลของวัสดุตัวกลางที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจากนมโดยใช้ถังหมักลูกผสมระหว่าง UASB และ Fixed film โดยถังหมักที่ 1 ใช้รังบวบเป็นตัวกลางและถังหมักที่ 2 ใช้รังบวบและรังไหมเป็นตัวกลาง พบว่าถังหมักที่ 1 สามารถรับค่า OLR ได้สูงสุดเท่ากับ 0.71 gCOD/L.d ขณะที่ถังหมักที่ 2 มีค่า OLR สูงสุดเท่ากับ 1.2 gCOD/L.d ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่ำสุด 4 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้ง 2 ถังหมักมีค่ามากกว่าร้อยละ 80

Liu et al. (2008) ได้ทำนายการเกิดก๊าซมีเทนจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ณ สภาวะของค่า pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศของสารอินทรีย์ของของเสียประเภท Solid Waste จากบ้านเรือน พบว่าการผลิตก๊าซมีเทนของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นประมาณ 35% ณ สภาวะของค่า pH ที่เหมาะสม ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณของแข็ง

Taconi et al. (2007) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้กระบวนการ Methanogenic digestion ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีกรดอะซีติคเป็นองค์ประกอบหลัก และใช้กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากระบบถังย่อยสลายแบบไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน พบว่าการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 30 % เมื่อค่า pH เริ่มต้นของระบบลดลงจาก pH 7 เป็น pH 4.5

Crime et al. (2007) ศึกษาผลของความเข้มข้นของของเสียที่ประกอบด้วยไขมันประเภท Triolein เป็นส่วนใหญ่ (liquid-rich waste) ว่ามีอิทธิพลอย่างไรต่อการย่อยสลายและการผลิตก๊าซมีเทน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของไขมันเพิ่มขึ้นจาก 5%-47% โดยอ้างอิงจากค่าความสกปรกของน้ำหรือค่า COD (Chemical Oxygen Demand) พบว่าสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่า 93% ในทุกระดับความเข้มข้น และระยะเวลา Lag Phases ของเชื้อในระบบอยู่ที่ 6-10 วัน นอกจากนี้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ระดับความเข้มข้นของไขมัน 5%, 10%และ 18% มีความใกล้เคียงกัน ขณะที่เมื่อระดับความเข้มข้นของไขมันเพิ่มขึ้น (31%,40%และ 47%) พบว่าจะเกิดตัวยับยั้ง (Inhibitor) เพื่อขัดขวางการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน

Kusch et al. (2007) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจาก Hourse Dung ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ Solid Phases โดยเพิ่มขั้นตอนการ Pertreatment ได้แก่ การตัดสับ (Chop) ให้เป็นชิ้นเล็กๆและพ่นด้วยน้ำให้ตัวอย่างมีความชื้นสูงก่อนนำถังย่อยสลายแบบไร้อากาศ พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นหลังจากที่ตัวอย่างได้ผ่านการ Pertreatment

Saddoud et al. (2007) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจาก Chrrse Whey ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ Two Phases โดยเพิ่มขั้นตอนการแยกน้ำออกจากตะกอนเพื่อไหลเวียนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ จากผลการทดลองพบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นมากกว่า 70% และคิดประมาณ 10 เท่าของปริมาณถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และค่าเฉลี่ยการกำจัดค่า COD,BOD และ TS ลดลงมากกว่า 98.5%,99% และ 100% ตามลำดับ

Khursheed et al. (2005) ศึกษาผลของการกวนที่มีต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการทดลองจะใช้ถังชนิด CSTR ด้วยถังขนาด 3.73 ลิตร และใช้มูลวัวที่เป็นของเหลวผสมกับมูลวัวที่เป็นของแข็งเป็นวัตถุดิบ อัตราส่วนการผสมระหว่างมูลวัวที่เป็นของแข็งต่อมูลวัวที่เป็นของเหลวจะแบ่งออกเป็น 3 อัตราส่วนคือ 100 และ g/L (ใช้มูลวัวที่เป็นของแข็งเท่ากับ 5, 10% และ 15% ของวัตถุดิบทั้งหมด) การทดลองนี้ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไว้ที่ 35 ºC และ ค่า HRT 162 วัน มีการดำเนินการที่คล้ายกันระหว่าง การหมักโดยไม่มีการกวน และการหมักโดยมีการกวน การหมักมูลสัตว์ในกรณีของการใช้มูลวัว 5% สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในอัตราวันละ 0.94 $L/L_{ปริมาตรถัง}$ ซึ่งก๊าซมีเทนที่ได้อยู่ที่ 26 L_{CH} g อย่างไรก็ตาม ผลของการกวนจะมีความสำคัญในกระบวนการหมักอย่างมากเมื่อวัตถุดิบที่ใช้ มีส่วนผสมของของแข็งในปริมาณที่มากขึ้น (10% และ 15%) การหมักมูลสัตว์ในกรณีของการใช้มูลวัว 10% และ 15% โดยมีการกวนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการหมักที่ไม่มีการกวนประมาณ 10% - 30%

Cho, et al. (1995) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศของเศษอาหารในประเทศเกาหลีที่มีของแข็งทั้งหมดร้อยละ 20 จากระบบขั้นตอนเดียว ซึ่งมีปัญหา คือเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยขึ้นในถังหมักทำให้ไปยับยั้งส่วนของการสร้างก๊าซมีเทน จึงทำการทดลองใช้ระบบแบบสองขั้นตอนที่มีถังหมักก๊าซขนาด 1 ลิตร และ 8 ลิตร พบว่าระบบสองขั้นตอน สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เพราะกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในถังหมักกรดจะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ในถังหมักก๊าซ โดยที่สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดลงได้ร้อยละ 87 - 90 และประมาณร้อยละ 90 ของของแข็งระเหยจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพและมี methane yield เท่ากับ 405 - 415 มล./กรัม VS

ประมวล ทรายทอง (2547) ได้ทำการศึกษาทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศชนิดสองขั้นตอน ในระดับห้องปฏิบัติการ ระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 27.73 ลิตร และถังหมักก๊าซ มีปริมาตรการหมัก 52.83 ลิตร ซึ่งถังปฏิกิริยาทั้งสองถังนี้มีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์เมื่อดำเนินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 ,10 และ 8 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 2.45 ,3.06 และ 4.45 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 88.68 - 93.69 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 73.49 - 87.45 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 85.11 - 94.32 และประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 88.75 - 95.62 โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 93.69 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 15.87 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 64.91 ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.45 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 88.68 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 15.87 ลิตรต่อวัน และมีก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุดถึง 21.05 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 67.78

ชยันต์ กิมยงค์ (2545) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศชนิดสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย โดยในกระบวนการนี้มีถังปฏิกรณ์ 2 ถัง ถังปฏิกรณ์แรกเป็นถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์เป็นถังที่เติมมูลสุกรเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลอง (batch reactor) ทำหน้าที่ผลิตกรดอินทรีย์จากมูลสุกร ในส่วนที่เป็นของแข็งและส่งผ่านไปยังถังปฏิกรณ์ที่สอง ถังปฏิกรณ์ที่สองเป็นถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน เป็นถังแบบมีตัวกลาง (packed bed) ซึ่งมีคุณสมบัติเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่าง รวดเร็วในช่วง 40 วันแรก และความสามารถในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดที่อัตราการ ไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตรต่อวัน เป็น 3.1, 3.0 และ 3.3กิโลกรัมตามลำดับ และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 38, 52 และ 135 ลิตร ตามลำดับ และยังได้ทำการศึกษาต่อ โดยเพิ่มปริมาณมูลสุกร ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ว่า การเพิ่มปริมาณมูลสุกร ไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน แต่การเกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดลดลง และพบว่าระบบบำบัดสองขั้นตอนมีเสถียรภาพการทำงานดีกว่าแบบขั้นตอนเดียว

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีหลายวิธี เช่น ค่าอุณหภูมิ ความเข้มข้นของ Substrate แหล่งที่มาของหัวเชื้อ (Inoculums) การกวนผสม ค่า pH รวมถึงระบบของการหมักก๊าซชีวภาพก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากมันสำปะหลังหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันในระดับ Pilot Scale ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นขนาด Lab Scale ซึ่งระบบหมักก๊าซชีวภาพในระดับ Pilot Scaleนี้ จะสามารถวิเคราะห์ผลได้ดีกว่าและสามารถนำระบบไปใช้งานจริงได้อีกด้วย และจะได้เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแป้งมันได้ในอนาคต