

บทที่ 2

ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการหมักไร้ออกซิเจนแบบลีสเบด

ระบบกำจัดมูลฝอยแบบ Leach Bed Anaerobic Digestion เป็นระบบการกำจัดมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาโดย Chynoweth et al., 1992 หลักการของการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการหมักไร้ออกซิเจนแบบลีสเบดมีสองขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนแรกสร้างถังปฏิกรณ์ที่มีสถานะเสถียร ทำได้โดยการบรรจุมูลฝอยและกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนลงในถังปฏิกรณ์ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์จะถูกสูบกลับไปหมุนเวียนใส่ชั้นมูลฝอยและกากตะกอนทุกวัน เพื่อให้เกิดการเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาประมาณ 2-3 เดือน และขั้นตอนที่สองเป็นการกำจัดมูลฝอยใหม่โดยบรรจุมูลฝอยสดลงในถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นได้นำน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ที่มีสถานะเสถียรป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ใบใหม่ที่บรรจุมูลฝอยสด น้ำชะมูลฝอยที่ได้จากถังปฏิกรณ์ใบใหม่นี้จะถูกสูบผ่านเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ใบเก่า และน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกรณ์เก่าจะนำแบคทีเรียไปช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ใบใหม่ เมื่อพีเอชของถังปฏิกรณ์ใบใหม่มีค่าสูงกว่า 6.5 และองค์ประกอบของก๊าซมีเทนได้สูงกว่าร้อยละ 30 (Chynoweth et al., 1992) ก็จะหยุดการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกรณ์ใบเก่า และจะทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายในถังปฏิกรณ์ใบใหม่แทน รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบลีสเบด

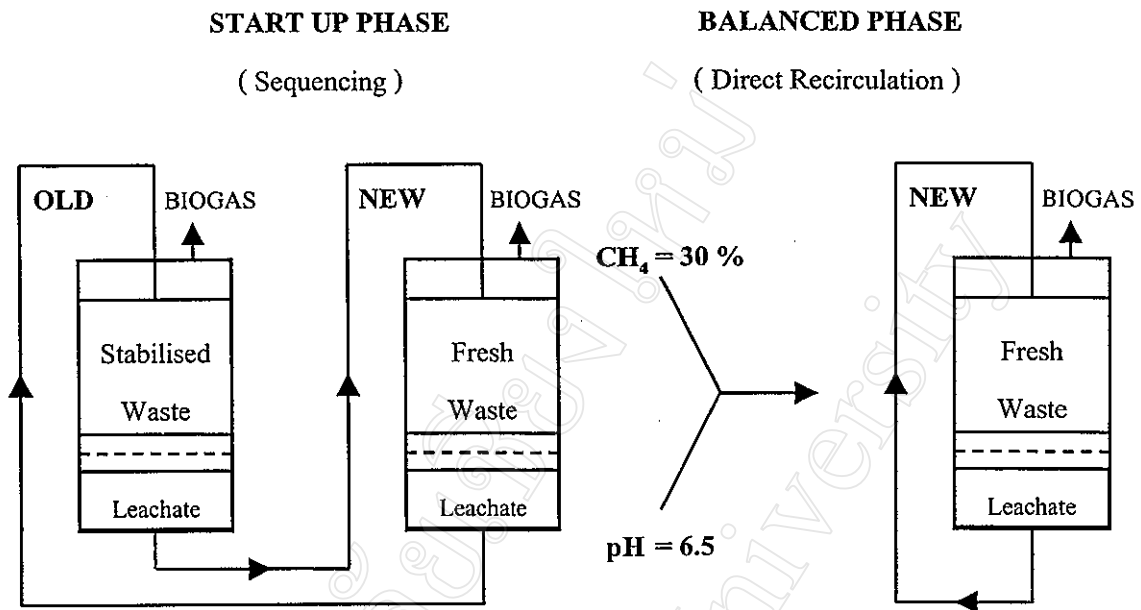
2.2 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน

ระบบนี้มีปฏิกิริยาชีวเคมีที่ซับซ้อนกว่าของระบบใช้ออกซิเจนและมีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มแรก แบคทีเรียพวกสร้างกรด

กลุ่มสอง แบคทีเรียที่สร้างมีเทน

หลักการบำบัดของระบบนี้คือแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อย ๆ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ไคอะแกรมของระบบ Leach Bed Anaerobic Digestion

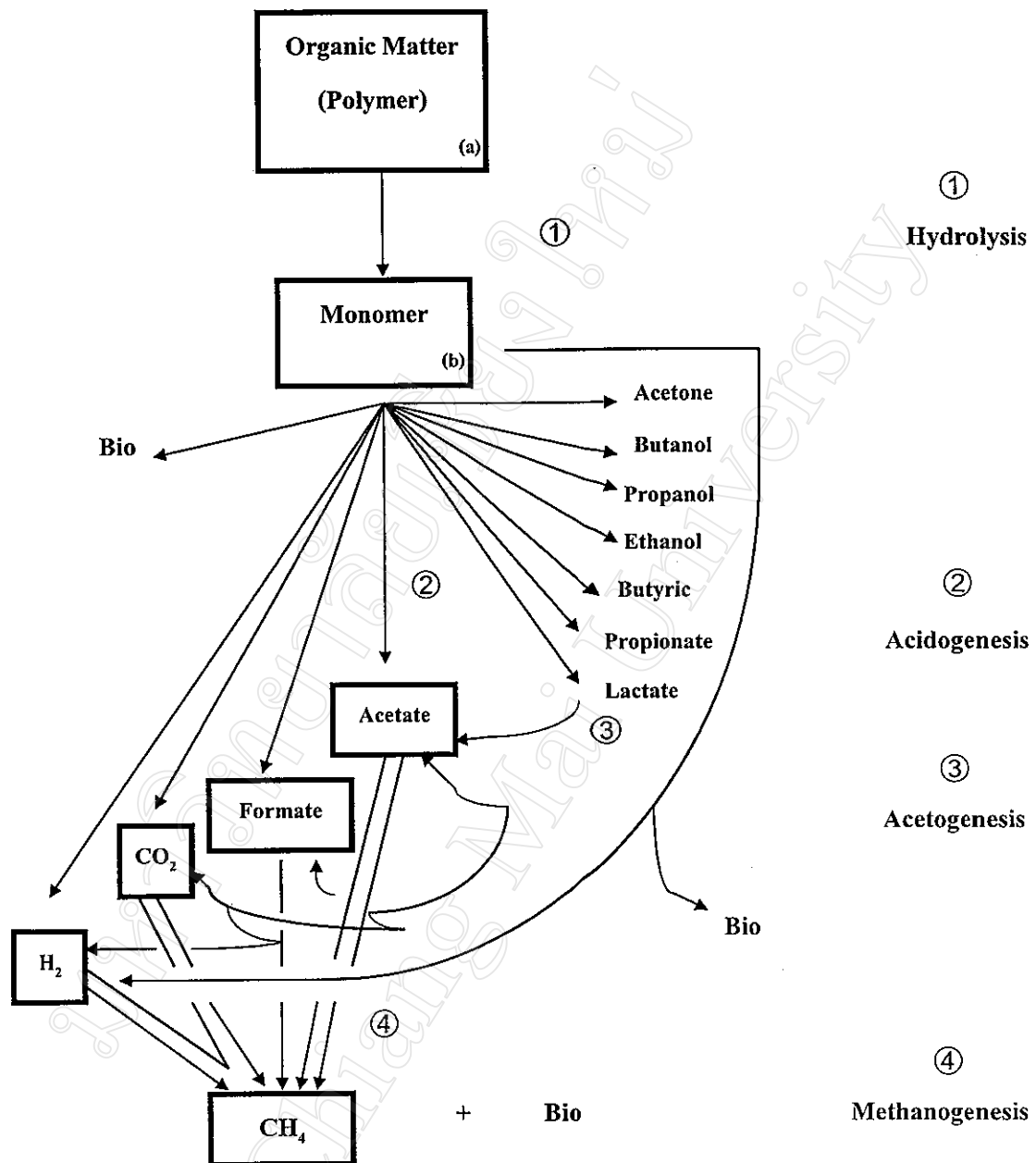
ที่มา : Chynoweth et al., 1992

ขั้นที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายพอลิเมอร์ (Polymer Break-down) ในขั้นนี้สารประกอบอินทรีย์ประเภทซับซ้อนทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันจะถูกทำให้ละลายโดยไฮโดรไลติกเอนไซม์ (Hydrolytic Enzymes) ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ในขั้นกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น ยังไม่มีการลดซีโอติในขั้นตอนนี้

ขั้นที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพมีและไม่มีออกซิเจนอิสระใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยกระบวนการหมัก ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวไทริก (Butyric Acid) กรดวาเลอริก (Valeric Acid) แบคทีเรียจำพวกนี้เรียกว่าแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งชนิดของแบคทีเรียแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและสภาพแวดล้อมของปฏิกิริยาดัง



Bio : Biomass

(a) : Protein , Lipid , Carbohydrate

(b) : Sugar , Amino , Volatile acid

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน
ที่มา : Perrier, 1990

ขั้นที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acitogenesis)

กรดโวลไทล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acitogenesis) จะถูกเปลี่ยนโดยแบคทีเรียโฮโมอะซิโตเจนิก (Homoacetogenic Bacteria) ให้เป็นอะซิเตต (Acetate) ฟอร์เมท (Formate) ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน (CH_4) ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมกรดโวลไทล์และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอจะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ตารางที่ 2.1 แสดงถึงแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนที่พบในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน

ขั้นที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิกและกรดอะซิติก ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดและไฮโดรเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียพวกที่สร้างกรดจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชและอุณหภูมิ และมีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วกว่ากลุ่มที่สร้างมีเทนมาก ความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตนี้รวมทั้งการไวต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทำให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเป็นตัวหลักในการควบคุมปฏิกิริยาทั้งหมดในถังหมัก เรียกว่า Rate-Limiting Step ของกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน แบคทีเรียสร้างมีเทนจัดอยู่ในกลุ่ม Archaeobacteria ซึ่งถูกแบ่งกลุ่มตามลักษณะของแบคทีเรีย สารอาหารที่ใช้และคุณสมบัติของเมมเบรน โดยสารอาหารที่แบคทีเรียทุกตัวสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิก มีส่วนน้อยที่สามารถใช้กรดอะซิติกและเมธานอลได้ จากการศึกษาของ Wolfe, 1971 พบว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนที่เป็นพันธุ์บริสุทธิ์มีอยู่เพียง 8 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.2 ต่อมา Zeikus, 1971 ได้ค้นพบมีเทนแบคทีเรียที่เป็นเชื้อพันธุ์บริสุทธิ์เพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งมีชื่อเรียกว่า *Methanobacterium thermoautophicum* ซึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร

ประมาณร้อยละ 72 ของมีเทนที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเกิดจาก Aceticlastic Bacteria และที่เหลืออีกร้อยละ 28 เกิดจากแบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งพลังงานซึ่งส่วนนี้ร้อยละ 13 เกิดจากกรดไพรูวอิกและร้อยละ 15 จากสารตัวกลาง (Intermediates) อื่น ๆ (การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 2.3) ตามปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนที่พบในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน

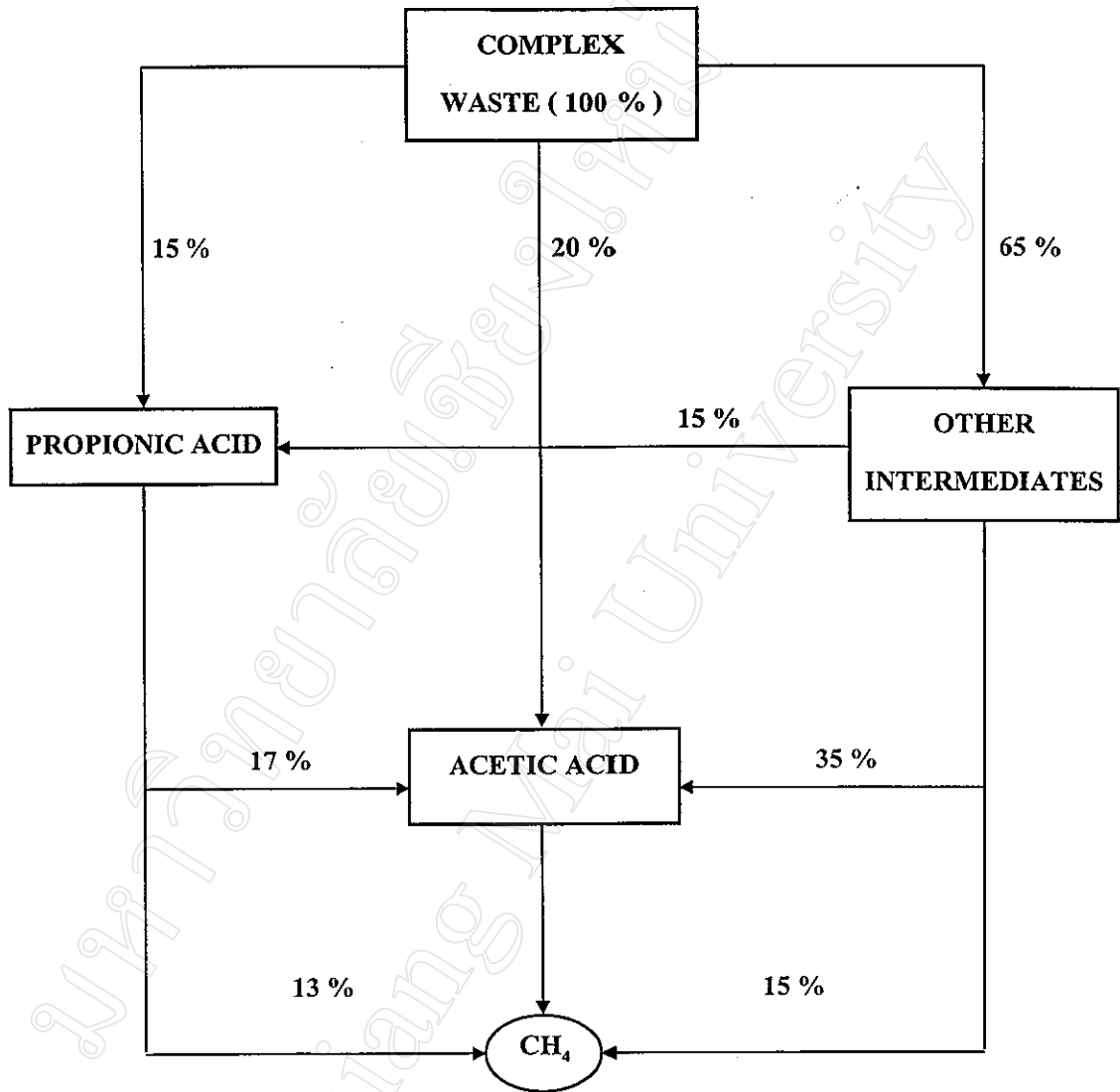
Genus	Bacterial species	ที่มา
Aerobacter	A. aerogenes	TOERIEN (1967a)
Aeromonas	Aeromonas sp.	KOTZE et al. (1968)
Alcaligenes	A. bookerii	TOERIEN (1967b)
	A. faecalis	McCARTY et al. (1962), TOERIEN (1967b)
	A. viscolactis	McCARTY et al. (1962)
	Alcaligenes sp.	KOTZE et al. (1968)
Bacillus	B. cereus	HATTINGH et al. (1967), TOERIEN (1967a,b)
	B. cereus var mycoides	HATTINGH et al. (1967), TOERIEN (1967a,b)
	B. circulans	TOERIEN (1967 a,b)
	B. endorhythmos	BUCK et al. (1954)
	B. fimus	TOERIEN (1967b)
	B. knefelkampii	COOKSONandBURBANK(1965),BURBANKetal. (1966)
	B. megaterium	HATTINGH et al. (1967)
	B. pantothenicus	HATTINGH et al. (1967)
	B. punmilis	HATTINGH et al. (1967), TOERIEN (1967b)
	B. sphaericus	TOERIEN (1967b)
	B. subtilis	TOERIEN (1967a)
	Bacillus sp	TOERIEN (1967a)
Bacteroides	Bacteroides sp.	POST et al. (1967)
Clostridium	C. aminovalericum	HARDMAN and ATADTMAN (1960)
	C. carmofoetidum	COOKSONandBURBANK(1965),BURBANKetal. (1966)
Escherichia	E. coli	McCARTY et al.(1962),COOKSONandBURBANK(1965)
		BURBANK et al. (1966), TOERIEN (1967b)
	E. intermedir	TOERIEN (1967a)
	Escherichia sp.	KOTZE et al. (1968)
Klebsiella	Klebsiella sp.	BURBANK et al. (1966)
Leptospira	L. bilixa	TOERIEN (1967b)
	Leptospira sp.	MAKI (1954)
Micrococcus	M. candidus	TOERIEN (1967 a,b)
	M. luteus	TOERIEN (1967b)
	M. varians	McCARTY et al. (1962), TOERIEN (1967a,b)
	M. ureae	TOERIEN (1967 a,b)
	Micrococcus sp.	KOTZE et al. (1968)
Neisseria	N. catarrhalls	McCARTY et al.(1962)
Paracolonbacirum	P.intermedium	TOERIEN (1967b)

ที่มา : Wolfe, 1971

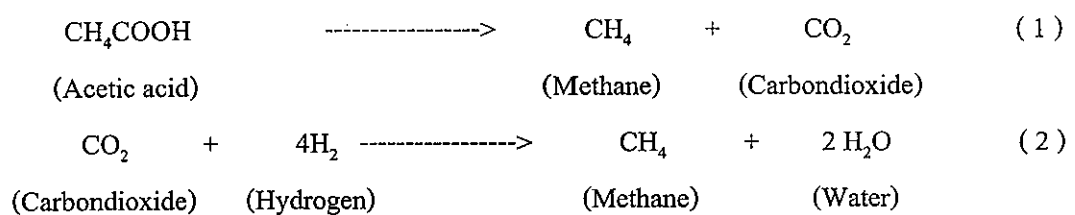
ตารางที่ 2.2 ชนิดแบคทีเรียที่เป็นเชื้อพันธุ์บริสุทธิ์

Organism	Source	Morphology	Gram Reaction	Substrates	Nutritional Requirement		
					Nitrogen	Vitamins	Other
Methanobacterium	Rumen	Coccus to rod in chain	+	H_2+CO_2 (Formate)	NH_3	Growth factor from rumen fluid	Acetate, 2 Methyl butyrate
Ruminantium	Sludge	As above	+	H_2+CO_2 (Formate)	NH_3	Above growth factor not required B. Vitamin stimulatory	Acetate
Methanobacterium strain M.O.H	Methano bacillus	Irregularly curved rod	Variable	H_2+CO_2 (formate not use)	NH_3	B. Vitamin stimulatory	Acetate stimulatory
Methanobacterium Formicum	Mud, Sludge	Irregularly curved rod	Variable	H_2+CO_2 (formate)	NH_3	(?)	(?)
Methanobacterium Mobilis	Rumen	Short rod motile	-	H_2+CO_2 (formate)	NH_3	Growth factor from rumen fluid	(?)
Methanobacterium Barkeri	Mud, Sludge	Sarcina	+	H_2+CO_2 (Methanol, Acetate)	NH_3	None	None
Methanococcus Vannielii	Mud	Motile coccus	(?)	H_2+CO_2 (formate)	NH_3	None	None
Methanococcus sp.	Sludge	Coccus	+	H_2+CO_2 (formate)	-	-	-
Methanospirillum sp.	Sludge	spirillum	+	H_2+CO_2 (formate)	-	-	-

ที่มา : Wolfe, 1971



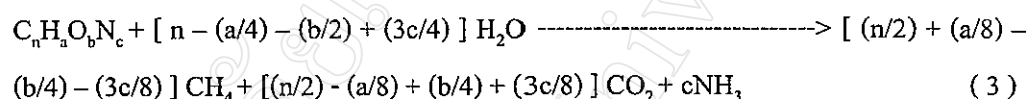
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจน
ที่มา : McCarty, 1964



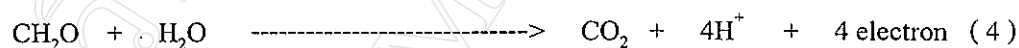
Albagnac และคณะ, 1987 รายงานว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนและแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น และเป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่อออกซิเจนมาก นอกจากนี้แบคทีเรียจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้า Potential Redox ในสารละลายตัวกลางมีค่าต่ำกว่า -500 mv

2.3 ชีวิตเคมีของกระบวนการสร้างมีเทน

การเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเขียนเป็นสมการของ Buswell และ Mueller (1952) ได้ดังนี้



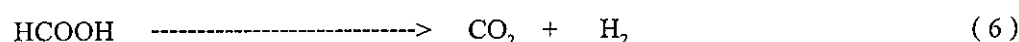
แบคทีเรียแอนแอโรบิกจัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของปฏิกิริยาการสังเคราะห์คาร์บอนดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ตามปฏิกิริยาดังนี้



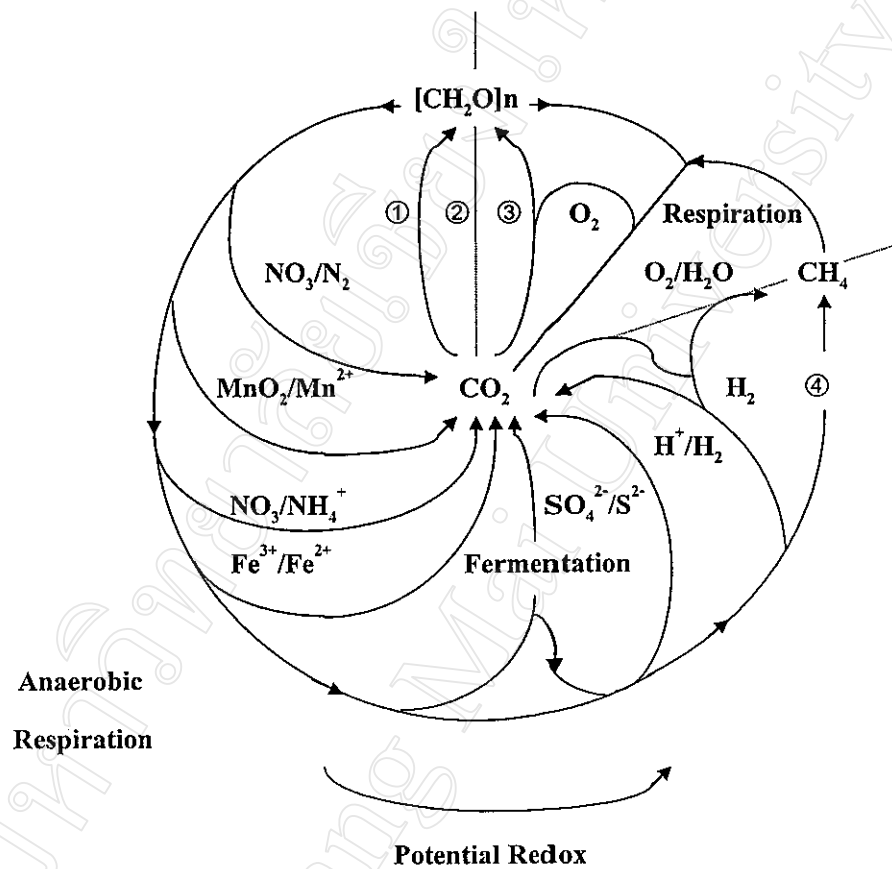
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกสร้างมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจำนวนมากมาจากไฮโดรเจน



แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียวได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดฟอร์มิก สามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย

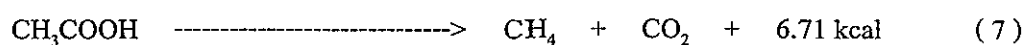


แบคทีเรียชนิดที่สอง สร้างมีเทนจากกรดอะเซติก จากการทดลองที่ใช้กัมมันตภาพรังสีเป็นตัววัดร่องรอย ได้พบว่ามีเทนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของกรดอะเซติก ดังนี้

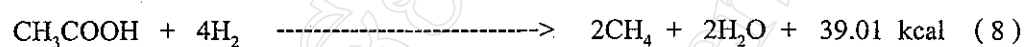


- ① Bacteria
- ② Photosynthesis
- ③ Algae/plants
- ④ Synthesis of methane

รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา : Canivez, 1990



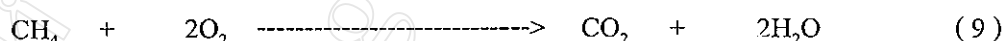
แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อสงสัยว่า ปฏิกริยาในสมการที่ 7 นี้ จะสามารถให้พลังงานพอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์หรือไม่ (ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์อาจพิสูจน์ได้ว่า สมการที่ 7 ได้พลังงานไม่พอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์) การเปลี่ยนอะซิเตตให้เป็นมีเทนอาจเกิดขึ้นได้ด้วย ปฏิกริยาที่มีไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานดังนี้



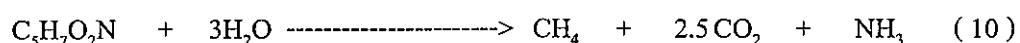
ในปฏิกริยานี้กรดอะซิเตตเป็นสารตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจน พลังงานที่ได้สูงกว่าที่ได้จากสมการที่ 7 มาก และเชื่อว่าพอเพียงสำหรับการดำรงชีวิตเซลล์

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย

ปริมาณของมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แสดงในรูป $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2\text{N})$ สามารถประมาณได้จากสมการที่ 3 ปริมาณของซีโอดีซึ่งลดลงจากการย่อยสลายจะสมมูลกับปริมาณของมีเทนตามสมการ



จากสมการที่ 9 ถ้าจะมีเทน 22.4 ลิตร ที่ STP (Standard temperature, pressure : 0°C ; 1 atm) เกิดจาก 1 โมลออกซิเจน (64 กรัม ซีโอดี) ดังนั้น 1 มิลลิกรัมของซีโอดีที่ถูก Stabilized จะเท่ากับ 0.35 ลูกบาศก์เมตรของมีเทนที่เกิด (ที่ STP) สำหรับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งซึ่งประกอบด้วยเซลล์ของแบคทีเรีย Hoover และ Proges (1952) เสนอสูตรทางเคมีของแบคทีเรียเป็น $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ จากสมการที่ 3 ได้



ซึ่งแสดงว่า 1 กรัมของโวลไทล์โซลิด (Volatile solid) ทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้ 0.5 ลิตร ที่ STP และ 1 กรัมของของแข็งระเหยจะสมมูลกับ 1.42 กรัมของซีโอดี สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตะกอนหรือสารอาหาร เช่น ถ้ามีคาร์โบไฮเดรตสูง ปริมาณ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีมากกว่าตะกอนที่มีโปรตีนสูง อย่างไรก็ตามปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจริงจะน้อยกว่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี เพราะสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการสร้างเซลล์ของแบคทีเรียใหม่

2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

สภาพแวดล้อมในถังย่อยสลายจะมีผลกระทบต่อแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้าลงและจะมีปฏิกิริยาตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางฟิสิกส์และเคมี ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นรวมทั้งคุณภาพของก๊าซจะแตกต่างกันไปตามวัสดุที่ใช้ในการย่อยสลาย

ปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีดังนี้

ก. อัตราส่วน C/N มีความสำคัญต่อการย่อยสลายทางชีววิทยามาก เป็นเพราะคาร์บอนจะถูกแบคทีเรียนำไปสร้างเป็นโปรโตพลาสซึมของเซลล์ใหม่ ซึ่งในโตรเจนก็จะถูกใช้ไปด้วยเช่นกัน อัตราส่วนของ C/N ที่เหมาะสมในการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน คือ 20-30 ถ้าอัตราส่วน C/N สูงเกินไปในโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว ผลคือก๊าซที่ผลิตได้จะลดน้อยลง แต่ถ้าอัตราส่วน C/N ต่ำเกินไปในโตรเจนจะเป็นอิสระและสะสมอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งจะทำให้พีเอชสูงขึ้น ถ้าพีเอชสูงเกิน 8.5 จะทำให้มีพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน มูลสัตว์ เช่น มูลวัว จะเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการย่อยสลายเนื่องจากมีอัตราส่วน C/N เฉลี่ยประมาณ 24 พืช เช่น ฟางข้าว ขี้เลื่อย จะมีอัตราส่วน C/N สูง ส่วนสิ่งขับถ่ายของมนุษย์มีอัตราส่วน C/N ประมาณ 8 ในการปรับสภาพให้วัตถุดิบที่ใช้ในการย่อยสลามีค่าอัตราส่วน C/N ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมทำได้โดย ถ้าวัตถุดิบมีอัตราส่วน C/N สูงให้ผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วน C/N ต่ำ เช่น ผสมฟางข้าวกับมูลสัตว์ ตารางที่ 2.3 ได้แสดงอัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบบางประเภท

การเจือจางอาจเติมน้ำหรือตะกอนลงไปในวัตถุดิบเพื่อให้มีความชื้นตามที่ต้องการ แต่ถ้าทำการเจือจางมากเกินไปจะทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งตกตะกอนอยู่ที่ก้นถังย่อยสลาย ถ้าชั้นของแข็งมีการสะสมจนเป็นแผ่นหนาจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของก๊าซขึ้นสู่บนถัง อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างของแข็งต่อของเหลวของระบบการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 10-25 แต่พบว่าบางระบบก็สามารถใช้ได้กับอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวสูงถึงร้อยละ 30

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบบางประเภท

วัตถุดิบ	อัตราส่วน C/N
มูลเป็ด	8
สิ่งขับถ่ายมนุษย์	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลหมู	18
มูลแกะ	19
มูลวัว	24
ผักตบชวา	25
มูลฝอยชุมชน	40
มูลช้าง	43
ขี้ขี้วัวโพด	60
ฟางข้าว	70
ฟางข้าวสาลี	90
ขี้เลื่อย	> 200

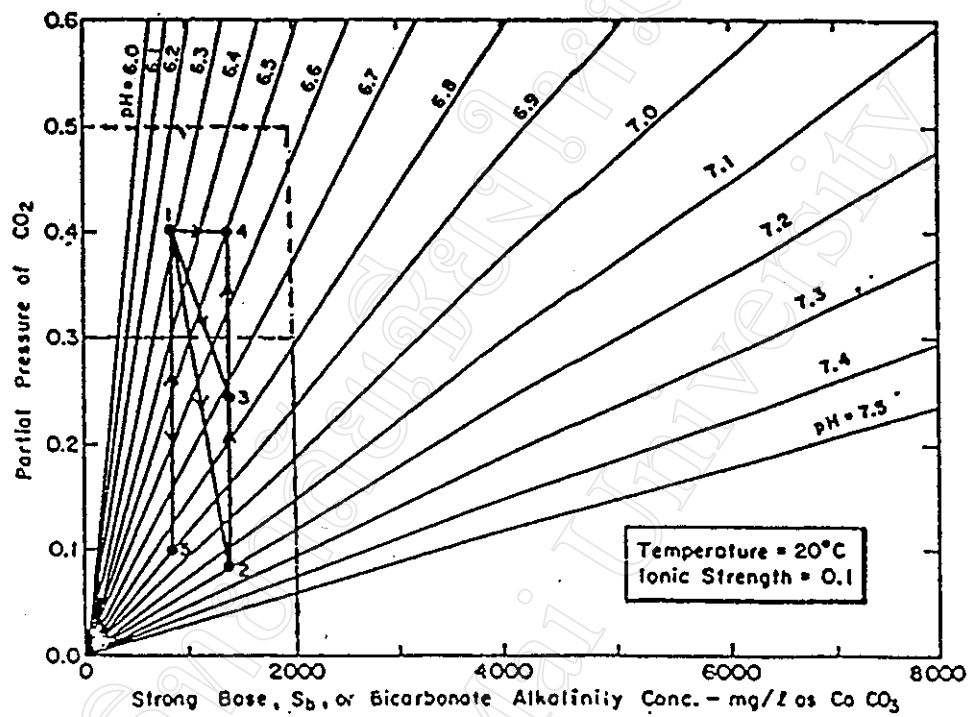
ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541

ข. พีเอช โดยทั่วไปแล้ว ระดับคาร์บอนเนตในน้ำและระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะเป็นตัวกำหนดระดับพีเอชของระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ถ้าในก๊าซชีวภาพมีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30 และระดับความเป็นด่างในถังหมักเท่ากับ 2000 มก./ล. ถังหมักจะมีระดับพีเอชที่อุณหภูมิ 20 °ซ เท่ากับ 6.8 ช่วงพีเอชที่เหมาะสมของระบบอยู่ระหว่าง 6-7 โดยเวลาในการเก็บกักมูลฝอยในถังหมักจะมีผลต่อค่าของพีเอช ในช่วงแรกของการหมักจะเกิดการลดอินทรีย์จำนวนมาก ทำให้ค่าพีเอชลดลงไปถึง 5 ซึ่งการที่ค่าพีเอชลดลงเช่นนี้จะไปยับยั้ง หรือหยุดกระบวนการย่อยสลาย แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะมีความรู้สึกไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชมาก ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 มันจะไม่เจริญเติบโต ระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นทำให้พีเอชสูงเกิน 8 แต่เมื่ออัตราการเกิดก๊าซที่พีเอชจะลดลงเหลือ 7.2-8.2 ในช่วงแรกของการหมักซึ่งทำให้เกิดการลดอินทรีย์จำนวนมากทำให้พีเอชลดลงและจะไปยับยั้งหรือหยุดกระบวนการย่อยสลาย สามารถควบคุมพีเอชได้โดยการเติมปูนขาวหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเพิ่มพีเอช ถ้าไม่ใช้สารเคมีก็อาจเพิ่มพีเอชได้โดยกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก

เสียบ้างจากส่วนผสมของก๊าซชีวภาพ ผลของการเติมสารเคมีต่างชนิดจะไม่เหมือนกัน เนื่องจากสารเคมีบางอย่าง เช่น ปูนขาวหรือโซดาไฟ สามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเหนือน้ำมาทำปฏิกิริยาด้วย แต่สารบางอย่างเช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต สามารถเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับน้ำได้โดยไม่ทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงความแตกต่างที่ได้รับจากการใช้สารเคมีต่างชนิดกัน ให้ดูรูปที่ 2.5 ประกอบไปด้วยและรูปที่ 2.6 แสดงผลของพีเอชต่อการเกิดก๊าซ

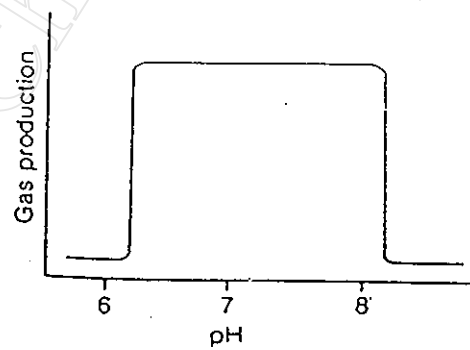
ก. อุณหภูมิ แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10°C แบคทีเรียจะหยุดผลิตก๊าซมีเทน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายมี 2 ช่วง คือ ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic Range) อุณหภูมิอยู่ระหว่าง $20-40^{\circ}\text{C}$ และช่วงเธอโมฟิลิก (Thermophilic Range) อุณหภูมิอยู่ระหว่าง $50-65^{\circ}\text{C}$ จากข้อมูลทางวิชาการพบว่า อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลง ณ อุณหภูมิ 42°C ถึงแม้ว่าอัตราการย่อยสลายที่อุณหภูมิช่วงเธอโมฟิลิกจะสูงกว่าช่วงมีโซฟิลิกและสามารถทำลายเชื้อโรคได้ แต่ก็มีข้อจำกัดคือแบคทีเรียจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง $2-3^{\circ}\text{C}$ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก จึงควรควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยที่สุด และในการดำเนินการเพื่อให้เกิดการย่อยสลายในช่วงเธอโมฟิลิกจะต้องทำการให้ความร้อนแก่ระบบซึ่งต้องมีการจ่ายในการปฏิบัติการของการทำความร้อนขึ้นด้วย ดังนั้นจึงแนะนำว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายอย่างเหมาะสมควรเป็นช่วงมีโซฟิลิก รูปที่ 2.7 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์

ง. อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนและการเกิดก๊าซในถังปฏิกรณ์ ระบบหลายระบบต้องล้มเหลวเนื่องจากมีอัตราการระบรทุกสูงเกินไปซึ่งทำให้เกิดผลผลิตกรดระเหยง่ายสูงขึ้น ทำให้มีค่าพีเอชต่ำลงตามมาและจะมีผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนในที่สุด Barnet et al., 1978; Brown and Tata, 1985 ได้อธิบายถึงถังหมักสองชนิด คือ แบบ Dispersed-Growth Digester ค่าอัตราการระบรทุกของสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 1-4 กก. ของแข็งระเหยทั้งหมด/ลบ.ม.-วัน สำหรับถังหมักแบบ Attached-Growth Digestion เช่น Anaerobic Filter และ Up-Flow Sludge Blanket Digester ค่าอัตราการระบรทุกของสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 1-15 กก.ของแข็งระเหยทั้งหมด/ลบ.ม.-วัน การป้อนมูลฝอยเข้าสู่ถังย่อยสลายสามารถป้อนได้ทั้งแบบต่อเนื่องโดยมูลฝอยจะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ถังหมัก มูลฝอยจะถูกหมักในถังช่วงเวลาหนึ่งและถูกนำออกจากถังอย่างต่อเนื่อง หรือการเติมแบบครั้งเดียวโดยมูลฝอยจะถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักและถูกหมักในถังในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วถูกนำออกมา มูลฝอยสดจะถูกป้อนเข้าไปใหม่ เพื่อให้ระบบดำเนินไปได้ด้วยดี



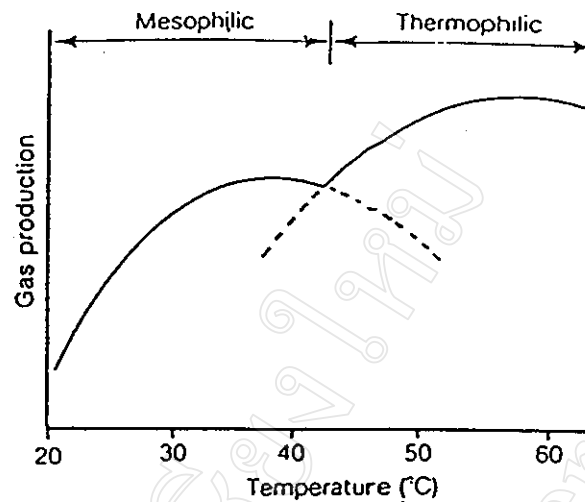
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิเอชและความเป็นด่างของถังหมักไร้ออกซิเจน

ที่มา : Capri and Marais, 1975



รูปที่ 2.6 ผลของฟิเอชต่อการเกิดก๊าซ

ที่มา : Grey, 1989



รูปที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์
ที่มา : Grey, 1989

ควรเติมมูลฝอยให้บ่อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซที่ไม่สม่ำเสมอหรือการลดของปริมาณแบคทีเรียในถังหมัก การเติมมูลฝอยอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วง ๆ แต่สม่ำเสมอเป็นผลดีต่อการทำงานของถังหมัก เนื่องจากช่วยให้เกิดสภาพเสถียรเพราะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอาหาร เป็นการลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการที่มีอาหารที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน

การเติมตะกอนเพื่อเป็นเชื้อควรเติมตะกอนจากถังหมักอื่นโดยเฉพาะจากโรงบำบัดของเสียประเภทเดียวกันเพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังปฏิบัติการ สัดส่วนของตะกอนที่เป็นเชื้อกับมูลฝอยควรอยู่ประมาณ 1 : 10 - 1 : 5 ในช่วงเริ่มต้นอาจเติมตะกอนที่เป็นเชื้อมากแต่ควรระวังการเกิดกรดที่มากเกินไปจนยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน ในช่วง 4-6 สัปดาห์แรกจะมีก๊าซเล็กน้อยเท่านั้น

จ. เวลาเก็บกัก ระยะเวลาเก็บกักในถังอาจมีผลกระทบต่อระบบได้ดังย่อยสลายที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกจะมีเวลาเก็บกักอยู่ในช่วง 10-40 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนจะโตทันและมีปริมาณมากพอ แต่ถ้ามีระยะเวลาเก็บกักนานเกินไปจะทำให้มีผลต่อการก่อสร้างถังหมักซึ่งจะมีขนาดใหญ่เกินไป ปกติจะมีการออกแบบให้มีระยะเวลาเก็บกัก 25-30 วัน โดยเวลาเก็บกักจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี อุณหภูมิ และองค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้ในการย่อยสลาย

ฉ. สารพิษ ถ้ามีปริมาณของสารพิษมากจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังย่อยสลาย พวกไซเคียม โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนียและซัลเฟอร์ถ้ามีในปริมาณน้อยจะไปเร่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย พวกโลหะหนัก เช่น คอปเปอร์ นิกเกิล โครเมียม สังกะสี

ตะกั่ว จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพวกแบคทีเรียแต่ในปริมาณที่น้อยเท่านั้น ถ้ามีมากเกินไปก็จะ เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ปริมาณสารพิษและโลหะหนักที่ทำให้เกิดการรบกวนกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนจนระบบไม่สามารถทำงานได้แสดงในตาราง ที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารพิษและโลหะหนักที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

สาร	ปริมาณ (มก./ล)	หมายเหตุ	ที่มา
สังกะสี (Zn^{2+})	163	โลหะหนัก	McCarty, 1964
แคดเมียม (Cd^{2+})	180	โลหะหนัก	McCarty, 1964
ทองแดง (Cu^{2+})	170	โลหะหนัก	McCarty, 1964
เหล็ก (Fe^{2+})	1750	โลหะหนัก	McCarty, 1964
โครเมียม (Cr^{2+})	530	โลหะหนัก	McCarty, 1964
โครเมียม (Cr^{6+})	450	โลหะหนัก	McCarty, 1964
ปรอท (Hg^{2+})	1,365	โลหะหนัก	McCarty, 1964
โซเดียม (Na^+)	> 3500	สารพิษ	เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539
โพแทสเซียม (K^+)	> 2500	สารพิษ	เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539
แคลเซียม (Ca^{++})	> 2500	สารพิษ	เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539
แมกนีเซียม (Mg^{+++})	> 1000	สารพิษ	เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539
แอมโมเนียไนโตรเจน	> 1500	สารพิษ	เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539

ข. การกวน การกวนจะเป็นตัวช่วยไม่ให้เกิดส่วนที่หยุดนิ่งของตะกอนสารอินทรีย์ในถังย่อยสลาย ทำให้มูลฝอยได้สัมผัสกับแบคทีเรียได้มากขึ้น และกระจายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ป้องกันการเกิดฝ้า นอกจากนี้ยังช่วยให้อุณหภูมิสม่ำเสมอและกระจายสารพิษให้เบาบางลง ถ้าการกวนผสมไม่เพียงพออาจมีการตกตะกอนบางส่วนซึ่งทำให้ปริมาตรของถังย่อยสลายส่วนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และยังทำให้ระยะเวลาเก็บกักลดลง ขัดขวางการเคลื่อนที่ของก๊าซ การกวนช้าจะให้ผลดีกว่าการกวนเร็ว จำนวนครั้งในการกวนจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการย่อยสลาย วิธีการกวนโดยทั่วไปที่ใช้กันมี 3 วิธี คือการใช้เครื่องกล การใช้เครื่องสูบ และการหมุนเวียนก๊าซ

ข. ปัญหาสุขภาพ แบคทีเรียและไวรัสในมูลฝอยชุมชนสามารถทำให้เกิดอัตราการเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคต่อผู้ที่ทำการแยกและสัมผัสมูลฝอยสำหรับของผสมระหว่างตะกอนของเสียและ

มูลฝอยจากบ้านเรือนจะมีอัตราการเสี่ยงต่อการติดเชื้อ โรคสูงกว่ามูลสัตว์ การให้มีกระบวนการบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิ 70 ° ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงจะทำให้ลดอัตราการเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคได้

ฉ. ปริมาณของแข็งหรือตะกอนที่เหลือ หลังเกิดการย่อยสลายทางชีววิทยาอย่างสมบูรณ์แล้ว ของแข็งที่เหลืออยู่สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีแบบใช้ออกซิเจนหรือผ่านตะแกรงเพื่อแยกเอาสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น เศษแก้ว ชิ้นพลาสติก ก่อนที่จะนำไปใช้ ความบริสุทธิ์ของวัสดุที่ใช้ในระบบจะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของตะกอนที่ได้ ซึ่งเราสามารถนำไปเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพดิน

ญ. อาหารเสริม อาหารเสริมที่จำเป็นต่อแบคทีเรียที่อยู่ในระบบการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัสและอื่น ๆ ปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แบคทีเรียต้องการอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วนดังนี้ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจะก่อให้เกิดเซลล์แบคทีเรียส่วนเกินน้อยกว่าระบบที่ใช้ ออกซิเจนมาก ดังนั้นจึงมีปัญหาในการจัดการตะกอนส่วนเกินน้อยกว่าการเกิดมวลแบคทีเรียในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะน้อยกว่า 0.1 กก.ของแข็งระเหย/กก.ชีโอดีที่ถูกเผาผลาญยกเว้นจากการบำบัดของเสียจำพวกคาร์โบไฮเดรต

2.6 รูปแบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน (ที่มา : สมยศ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์, 2536)

รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.6.1 ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า

ระบบถังหมักแบบนี้จะไม่มีการกวนหรือให้ความร้อนแก่ถังหมักประสิทธิภาพของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในถังหมักแบบช้านี้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักของสาร แต่เป็นระบบที่ง่ายและสะดวกต่อการควบคุมดูแล ลักษณะรูปแบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าที่มีใช้ในประเทศไทยโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

ก. ถังหมักช้าแบบลูกลอย

ถังหมักช้าแบบนี้เป็นรูปแบบมาจากประเทศอินเดีย ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นรูปทรงกระบอกที่สร้างด้วยคอนกรีตหรือโลหะและติดตั้งอยู่ใต้ดินหรือผิวดินซึ่งถังหมักแบบนี้จะมีท่อเติมน้ำเสียและท่อปล่อยแก๊สออกแบบง่าย ๆ การติดตั้งจะให้ปลายท่อเติมน้ำเสียจมอยู่ทางด้านบนของถังหมัก และปลายของท่อน้ำล้นจมอยู่ทางด้านล่างของถังหมักส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อเป็นทางเดินสำหรับส่วนที่ผ่านการหมักแล้ว สำหรับส่วนที่ใช้เป็นที่เก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะมีฝาครอบซึ่งลอยน้ำอยู่และมีน้ำหนักกดทับบนฝาครอบเพื่อสร้างแรงดันของก๊าซชีวภาพให้มีค่าสูงเพื่อสามารถ

ส่งไปตามท่อเข้าไปใช้งานต่อไป ฝาคอแบบลอยนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังหมักดังรูปที่ 2.8 ก.

ข. ถังหมักข้าวแบบโคมคองที่

ถังหมักข้าวแบบโคมคองที่เป็นรูปแบบมาจากประเทศจีน ลักษณะของถังหมักและที่เก็บก๊าซจะเป็นรูปครึ่งวงกลมฝังอยู่ใต้ดินการก่อสร้างจะใช้วิธีเทคอนกรีตก่ออิฐ ถังหมักแบบนี้จะมีท่อเติมจมอยู่ด้านบนของถังหมักในส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อใช้สำหรับเติมน้ำเสียและปลายท่อล้นจมอยู่ทางด้านล่างของถังหมัก โดยที่ปลายท่อล้นส่วนบนจะติดอยู่กับถังล้นเพื่อให้น้ำหนักของถังล้นเป็นตัวกดให้ก๊าซชีวภาพในส่วนบนของถังหมักมีแรงดันส่งไปตามท่อส่งก๊าซเพื่อใช้งานและจะใช้เป็นทางออกของน้ำที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วย ปัจจุบันถังหมักแบบโคมคองที่นิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2.8 ข.

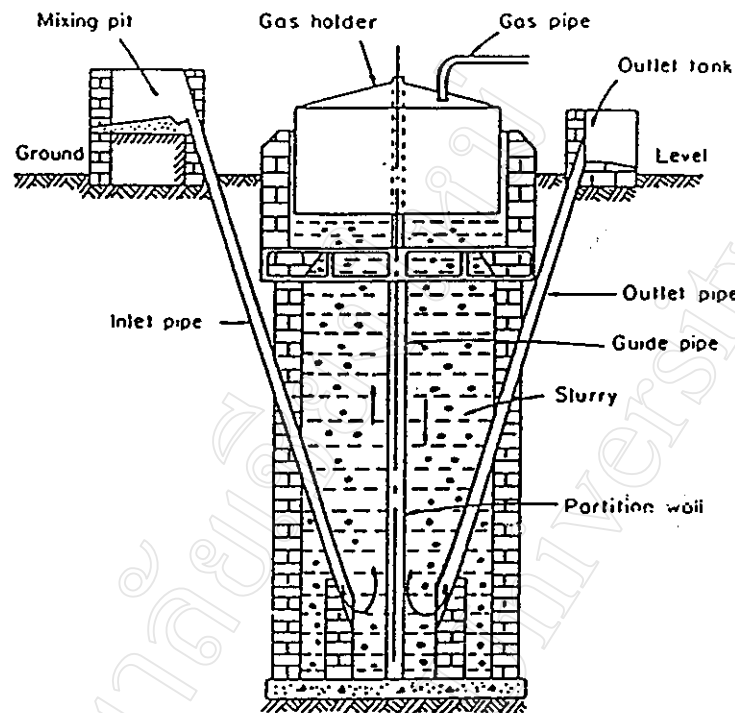
ค. ถังหมักข้าวแบบราง

เป็นถังหมักซึ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้มีลักษณะยาวคล้ายราง โดยความยาวของรางจะมากกว่าความกว้างไม่น้อยกว่า 4-5 เท่า จะมีท่อเติมและท่อล้นออกอยู่ส่วนหัวและส่วนท้ายของถังหมักตามลำดับ ปลายท่อเติมและท่อล้นจะจมอยู่ในของเหลว ส่วนบนของถังหมักจะมีพลาสติกคลุมอยู่เพื่อใช้เป็นที่พักเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยปลายของพลาสติกจะจมอยู่ในของเหลวเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของก๊าซออกนอกระบบ ส่วนของถังหมักจะจมอยู่ใต้ดินและมีส่วนเก็บก๊าซอยู่บนผิวดิน ถังหมักแบบรางนิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ แต่ก๊าซชีวภาพที่เก็บภายในพลาสติกจะมีความดันน้อยมาก ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้ก๊าซที่มีความดันสูงจำเป็นต้องมีเครื่องส่งก๊าซที่เพิ่มความดัน

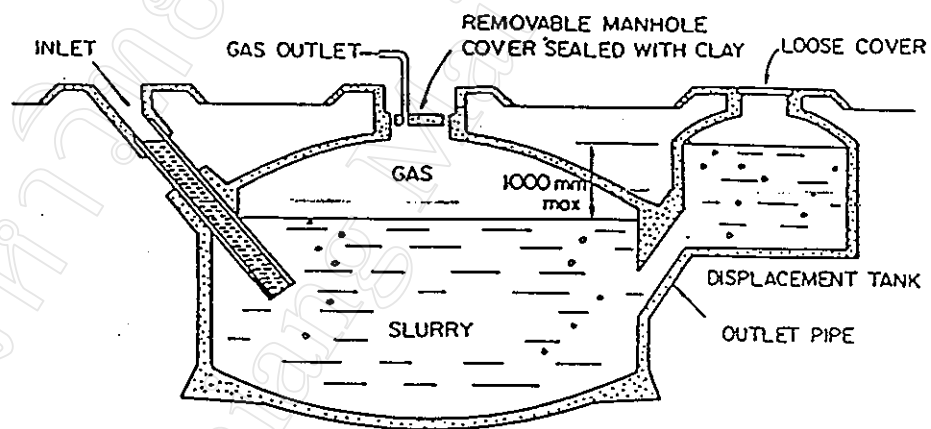
2.6.2 ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว

ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วนี้เป็นการพัฒนาเพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูงและบำบัดตะกอน โดยระยะเวลาเก็บกักค่อนข้างสั้นซึ่งก็ขึ้นกับชนิดและลักษณะของน้ำเสียที่เข้าระบบซึ่งระบบนี้พัฒนาเพื่อให้ขนาดของถังหมักมีขนาดเล็กลงและมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 80-90 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียซึ่งวิธีการก็คือ หาตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวสูงให้แบคทีเรียเกาะติดเป็นเมือกหรืออาจตกตะกอนแบคทีเรียที่มากับน้ำล้นแล้วสูบละอองหมอนเวียนเข้าถังหมักอีกครั้งหรือทำการควบคุมความเร็วของน้ำเสียที่ไหลเข้าถังหมักอย่างเหมาะสม จนเกิดเมือกขนาดใหญ่ขึ้นของแบคทีเรียที่เกาะกันแน่น รูปแบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกได้ดังนี้คือ

ก.



ข.

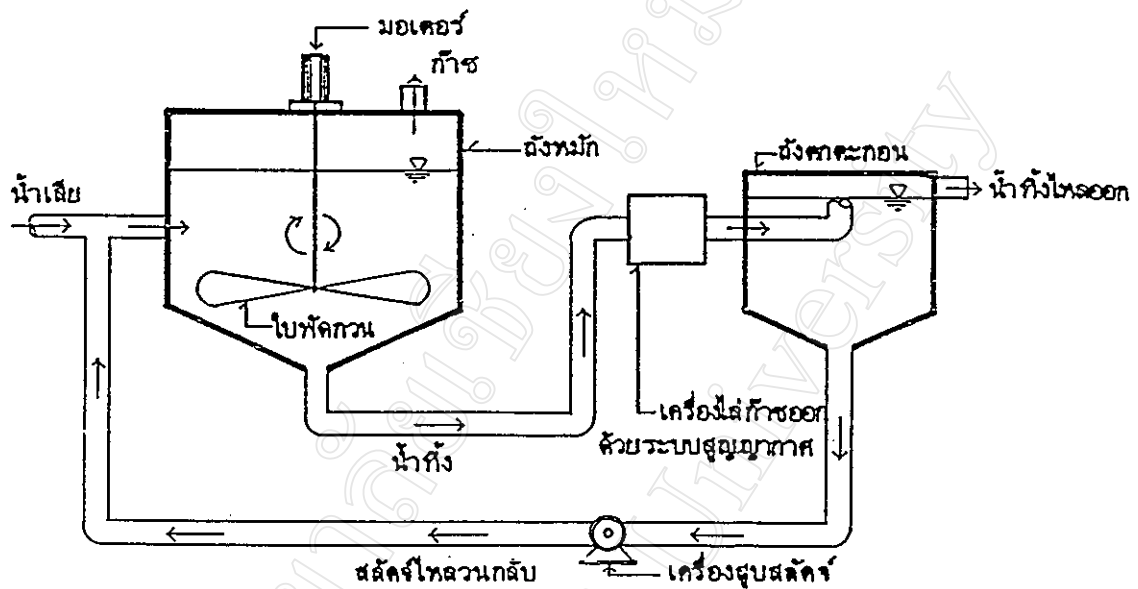


รูปที่ 2.8 ก. ถังหมักซ้ำแบบลูกกลอย ข. ถังหมักซ้ำแบบโดมคงที่
ที่มา : Polprasert, 1989

ก. ระบบ Anaerobic Contact Process

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลายประเภทสามารถทำให้คงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ระบบนี้ ระบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบเลี้ยงตะกอนเร่งแต่แตกต่างกันตรงที่ระบบนี้เป็นระบบปิดเพื่อให้เกิดภาวะไร้ออกซิเจน โดยน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจะถูกทำให้เกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ และภายหลังการย่อยสลายน้ำดีจะถูกผ่านลงไปยังถังตกตะกอนจากนั้นกากของ

ตะกอนแบคทีเรียจะถูกสูบกลับเข้าถังหมักรวมกับน้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.9

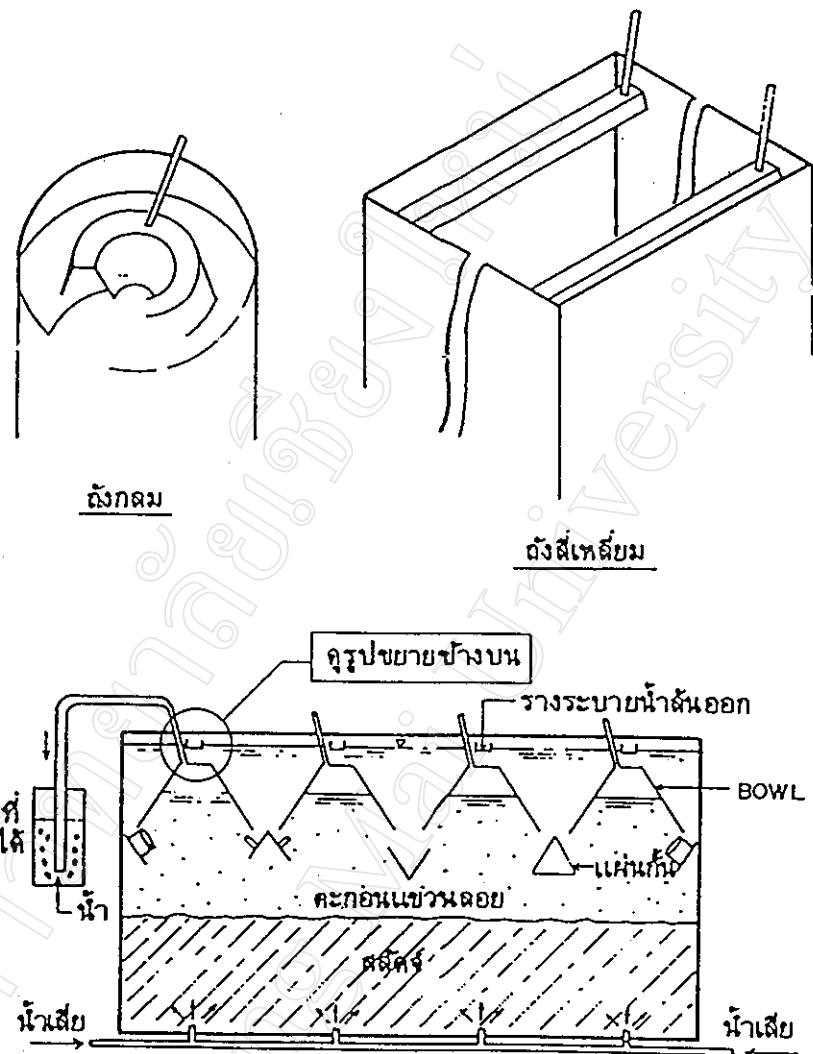


รูปที่ 2.9 ระบบ Anaerobic Contact Process

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2539

ข. ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process (UASB)

เป็นถังหมักที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางให้แบคทีเรียยึดเกาะแต่อาศัยการพัฒนาโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียในถังหมัก น้ำเสียจะถูกสูบเข้าทางด้านล่างของถังหมักโดยควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมที่จะไม่ทำให้กลุ่มก้อนของแบคทีเรียแตกออก น้ำเสียไหลผ่านชั้นของกลุ่มก้อนแบคทีเรียที่ตกตะกอนอยู่ก้นถัง จากนั้นแบคทีเรียดังกล่าวก็จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ระบบถังหมักแบบ UASB นี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับแยกของแข็ง-น้ำ-ก๊าซในส่วนบนของถังหมักเพื่อทำให้น้ำที่แยกก๊าซออกจากกลุ่มของแบคทีเรียซึ่งลอยขึ้นมาหลังจากผ่านการบำบัดแล้วเพื่อไม่ให้ตะกอนของแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำล้นซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลาย ดังรูปที่ 2.10

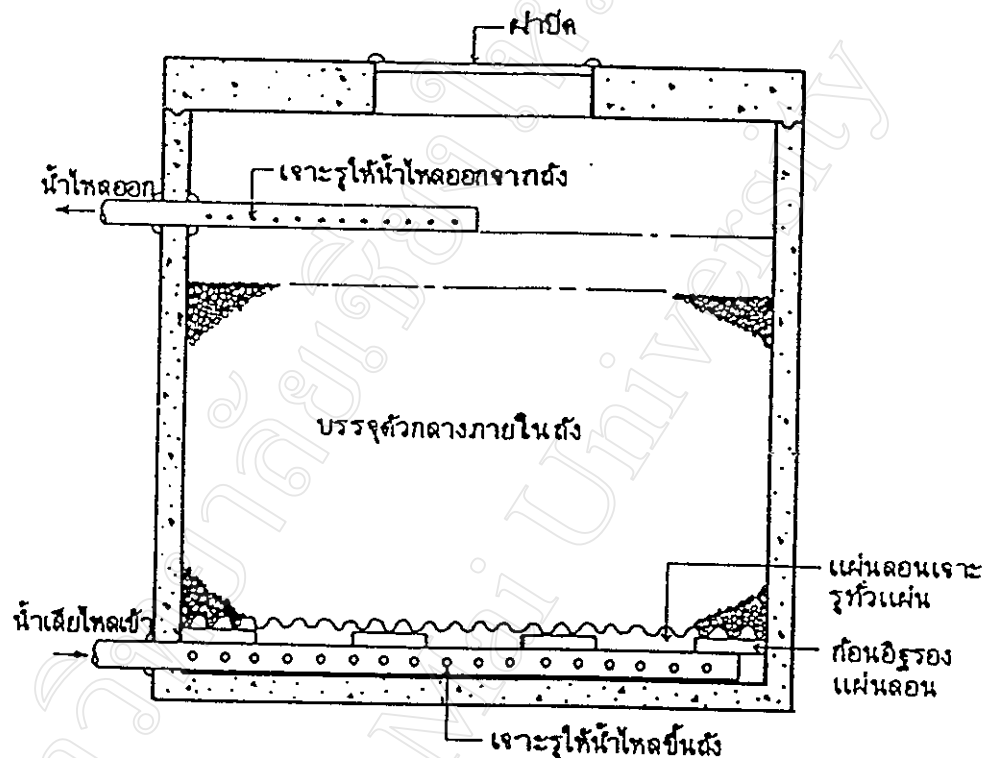


รูปที่ 2.10 ถังหมักแบบ ไร้ออกซิเจนแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539

ค. ระบบ Anaerobic Filter Digester

ระบบถังหมักชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกภายในบรรจุด้วยตัวกลาง เช่น หิน กรวด และตัวกลางที่เป็นพลาสติก เพื่อให้ตัวกลางภายในถังหมักเป็นตัวให้แบคทีเรียเกาะยึด โดยที่ตัวกลางที่บรรจุในถังหมักต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงๆ เพื่อให้มีปริมาณแบคทีเรียมากพอต่อการย่อยสลาย น้ำเสียจะถูกทำให้ไหลผ่านชั้นตัวกลางที่มีเมือกของแบคทีเรียเกาะอยู่เป็นชั้นและสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียดังกล่าว การป้อนสารอาหารหรือน้ำเสียเข้าสู่ระบบถัง

หมักส่วนใหญ่จะใช้วิธีปล่อยให้ไหลขึ้น โดยการเติมเข้าทางด้านล่างของถังหมักและให้ไหลขึ้นออกทางด้านบน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบ Anaerobic Filter Digester
ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539

2.7 ก๊าซจากการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

ก๊าซที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ มีเทน ประมาณร้อยละ 70 คาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 30 และก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อย คือ ก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ฯ ล ฯ ตารางที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน ตารางที่ 2.6 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

มีเทน	ร้อยละ 55-70 โดยปริมาตร
คาร์บอนไดออกไซด์	ร้อยละ 30-45 โดยปริมาตร
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	200-400 พีพีเอ็ม โดยปริมาตร
พลังงาน	20-25 เมกกะจูลต่อลบ.ม.

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541

ตารางที่ 2.6 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน

สูตรเคมี	CH ₄
น้ำหนักโมเลกุล	16.042
จุดเดือดที่ 14.696 psia (760 มม.)	-161.49 °ซ
จุดเยือกแข็งที่ 14.696 psia (760 มม.)	-182.48 °ซ
ความดันวิกฤต	47.363 กิโลกรัม/ลบ.ม.
อุณหภูมิวิกฤต	-82.5 °ซ
ของเหลว : -164 °ซ	0.415
ก๊าซ : 25 °ซ และ 770 มม.	0.000658
ความถ่วงจำเพาะ : 15.5 °ซ และ 760 มม.	1.47 ลิตร/กรัม
ค่าความร้อน : 15.5 °ซ และ 760 มม.	38,130.71 กิโลจูล/ลบ.ม.
ความต้องการอากาศสำหรับการเผาไหม้ ลบ.ม./ลบ.ม.	0.27 ลบ.ม.
ความสามารถในการติดไฟ	ร้อยละ 5-15 โดยปริมาตร
อัตราออกเทน	130
อุณหภูมิการเผาไหม้	650 °ซ
สมการการเผาไหม้	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
อัตราส่วน O ₂ /CH ₄ ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	3.98 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วน O ₂ /CH ₄ ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.0 โดยปริมาตร
อัตราส่วน CO ₂ /CH ₄ ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.74 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วน CO ₂ /CH ₄ ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	1.00 โดยปริมาตร

ที่มา : Luis F. Diaz, 1993

ปริมาณของก๊าซที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเสียและชนิดของเสีย ตารางที่ 2.7 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ โดยพบว่าก๊าซที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้คือ 0.5 ลบ.ม. ของก๊าซที่ผลิตได้ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.0 กิโลวัตต์ต่อชม.

ตารางที่ 2.7 ปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากสารอินทรีย์ของวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (ลิตร/กก. ของสารอินทรีย์ตากแห้ง)
กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน	600
มูลฝอยจากชุมชน	300
น้ำเสียจากโรงงานเปียร์	440
เปลือกกล้วย	450
อุจจาระหมู	405
เปลือกของต้นอ้อย	500
หญ้า	550

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2539

2.8 สัญญาณที่เตือนถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจน

เมื่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเกิดการเสียสมดุลขึ้น จะต้องมีการแก้ไขทันที มิฉะนั้นแล้วการแก้ไขภายหลังจะกระทำได้ยากและกินเวลา การเสียสมดุลจะเกิดขึ้นโดยมีสัญญาณเตือนเหตุหลายอย่างดังต่อไปนี้

ก. ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ประมาณ 200-400 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) อาจถือเป็นสัญญาณที่แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนทำงานได้ดี อย่างไรก็ตามปริมาณของกรดยังไม่สำคัญเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรด ถึงแม้ว่าทำงานได้ดีแล้วแต่จะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงกว่า 1000 มก./ล. แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสียสมดุลเกิดขึ้นกับถังหมัก การเพิ่มอย่างรวดเร็วและทันทีของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ แสดงว่า มีบางอย่างเกิดขึ้นทำให้เกิดการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรือทำให้การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

ข. ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต สภาพความเป็นด่างบ่งชี้ให้ทราบถึงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์เหลืออยู่เท่าใด ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้พีเอช

ลดลงได้อย่างมากและเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ระบบการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1500-2000 มก./ล. ปัจจัยที่สำคัญกว่าระดับของสภาพความเป็นด่างก็คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดโวลาทิล (มก./ล. ของกรดอะซิติก) ต่อระดับของความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (มก./ล. ของ CaCO_3) ทรายไคที่อัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจัดว่ามีกำลังบัฟเฟอร์สูง การเพิ่มของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณของการเสถียรของระบบ และแสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลง และไม่เพียงพอถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบไร้ออกซิเจนกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็วถ้ามีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยของกรดโวลาทิล

ค. ระดับพีเอช พีเอชไม่ใช่สัญญาณที่เร็วพอจะบอกถึงการทำงานของระบบได้ทันที ทั้งนี้เพราะความเสียหายเกิดขึ้นเสียก่อนที่พีเอชจะลดลงอย่างไรก็ดีข้อมูลของพีเอชก็ยังมี ความสำคัญ เพราะว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดโดยเฉพาะชนิดที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงแคบ ๆ ของพีเอชเท่านั้น ถ้าไม่มีการควบคุมให้พีเอชมีค่าเป็นกลาง การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้งทำให้ระบบล้มเหลวได้

ง. อัตราการผลิตมีเทน อัตราการสร้างมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic Activity ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและถือเป็นเครื่องมือวินิจฉัยสมรรถนะของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนที่มีความสำคัญมาก การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิต เพราะเป็นสัญญาณที่บ่งบอกว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

จ. สัญญาณอื่น สัญญาณที่อาจบอกถึงการเสถียรของระบบไร้ออกซิเจนอีก 2 ชนิด ได้แก่ ส่วนประกอบของก๊าซรวม และอัตราการผลิตก๊าซ เนื่องจากสัญญาณทั้งสองชนิดเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาร่วมกันอย่างซับซ้อนของแบคทีเรียทั้งสองประเภท การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยมักไม่เป็นเครื่องชี้สมรรถนะของระบบที่น่าเชื่อถือได้ การเสถียรของแบคทีเรียทั้งสองประเภทมักทำให้อัตราการสร้างมีเทนลดลงและการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซนี้มักเกิดก่อนมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้

2.9 การแบ่งประเภทของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน (ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541)

การแบ่งประเภทของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนมีการแบ่งหลายแบบดังนี้

2.9.1 การแบ่งเป็นระบบเปียกและแห้ง การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ระบบเปียก - มูลฝอยอินทรีย์จะถูกป้อนในรูป Slurry ซึ่งมีของแข็งอยู่ร้อยละ 10-15

ระบบแห้ง - มูลฝอยอินทรีย์จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบโดยมีของแข็งอยู่ร้อยละ 20-40

2.9.2 การแบ่งเป็นระบบการเติมครั้งเดียวหรือระบบต่อเนื่อง การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ระบบการเติมครั้งเดียว - มูลฝอยจะถูกป้อนเข้าสู่ถังหมัก และถูกหมักในถังในช่วงเวลาหนึ่งแล้วถูกนำออกมา มูลฝอยสดจะถูกป้อนเข้าไปใหม่

ระบบต่อเนื่อง - มูลฝอยจะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ถังหมัก มูลฝอยจะถูกหมักในถังช่วงเวลาหนึ่งและถูกนำออกจากถังอย่างต่อเนื่อง

2.9.3 ระบบหมักถังเดียวและหลายถัง การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ระบบหมักถังเดียว - การหมักมูลฝอยจะใช้ถังหมักถังเดียว

ระบบหมักหลายถัง - การหมักมูลฝอยจะใช้ถังหมักหลายถัง เช่น ระบบ 2 ถัง (ถังแรกเป็นถังสร้างกรดและถังที่สองเป็นถังสร้างมีเทน) หรืออาจมีถังที่มีการย่อยสลายแบบมีอากาศช่วงแรกเพิ่มขึ้น

2.9.4 ระบบหมักที่ใช้หมักร่วมกับสารอินทรีย์อื่นหรือหมักมูลฝอยอย่างเดียว การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ระบบหมักมูลฝอยร่วมกับสารอินทรีย์อื่น - วัสดุที่ใช้หมักร่วมมักใช้มูลสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหาร ทำให้การหมักเกิดได้ดี

ระบบหมักมูลฝอยอย่างเดียว - การหมักจะใช้มูลฝอยเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว แต่เดิมมีการใช้มูลฝอยอินทรีย์เท่านั้น ปัจจุบันเริ่มมีการหมักมูลฝอยอื่นๆ บ้างแล้ว

ระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนในระดับอุตสาหกรรม

ระบบหมักมูลฝอยในระดับอุตสาหกรรมที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายแบบ ดังนี้

ก. **Dry Continuous Digestion** เป็นระบบการหมักแบบต่อเนื่อง มูลฝอยที่ป้อนเข้าจะมีของแข็งร้อยละ 20-40

ข. **Dry Batch Digestion** เป็นระบบการหมักแบบเติมครั้งเดียว มูลฝอยที่ป้อนมีของแข็งร้อยละ 20-40 ระหว่างการหมักมีการรวบรวมน้ำชะมูลฝอยจากด้านล่างของถังและถูกนำไปหมุนเวียนเข้าสู่ถังหมักเพื่อเพิ่มความชื้น สารอาหารและแบคทีเรียเข้าสู่ระบบ

ค. **Leach Bed Process** ระบบนี้จะเหมือนกับ Dry batch digestion แต่จะมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังที่เข้าสู่สภาวะเสถียรไปยังถังหมักมูลฝอยสดใบใหม่เพื่อนำแบคทีเรียไปช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ ระบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Sequential Anaerobic Batch Compost

ง. **Wet Continuous Single-Step Digestion** มูลฝอยจะถูกป้อนในรูป Slurry โดยผสมด้วยน้ำหรือของเหลวที่เกิดจากการหมักในสัดส่วนต่ำ (ร้อยละ 10) ระบบนี้อาจมีการหมักร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือมูลสัตว์ Digestate จะถูกอัดเพื่อเอาของเหลวออกก่อนนำไปใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน (ของเหลวจะถูกนำไปผสมกับมูลฝอยที่เข้ามาใหม่)

จ. **Wet Continuous Multi-Step Digestion** ระบบนี้จะต่างจากระบบในหัวข้อ 2.9.3 โดยระบบนี้จะมีถังหมักมากกว่าหนึ่งถัง โดยมีการแยกถังหมักกรดออกจากถังหมักมีเทนหรือเพิ่มจำนวนถังหมัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักให้ได้ก๊าซมีเทนสูงขึ้น

2.10 ความด้อยเสถียรภาพของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

สาเหตุที่ทำให้มีความด้อยเสถียรภาพเนื่องมาจาก

ก. ความจำเป็นที่ต้องมีแบคทีเรีย 2 ประเภท อาศัยอยู่ร่วมกัน และต้องอาศัยซึ่งกันและกันเป็นอย่างมาก

ข. ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะของแบคทีเรียทั้งสองประเภทอยู่ในระดับต่างกัน โดยที่แบคทีเรียที่สร้างกรดมีความสามารถสูงกว่าแบคทีเรียสร้างก๊าซ

ด้วยเหตุนี้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นและทำลายสภาวะสมดุลของการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรีย การทำงานของแบคทีเรียทั้งสองประเภทก็จะไม่สอดคล้องกัน ทำให้สมรรถนะของระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนได้รับความเสียหายและมีประสิทธิภาพลดลง จนในที่สุดถังหมักอาจเกิดความล้มเหลวของระบบได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541)

ก. ธรรมชาติของมูลฝอยอินทรีย์จะแปรเปลี่ยนไปตามที่ดังและเวลา ในหน้าฝนจะมีปริมาณการปลูกพืช ผัก ผลไม้ มากกว่าในหน้าแล้ง ซึ่งจะทำให้มีความหลากหลายในด้านอัตราส่วนของ C/N และมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดก๊าซ

ข. การกวนของมูลฝอยไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

ค. มูลฝอยที่มีชื้นใหญ่เกินไปจะทำให้ท่ออุดตัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในระบบที่มีการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ถังหมักอย่างต่อเนื่อง

2.11 ข้อดีของการใช้มูลฝอยในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

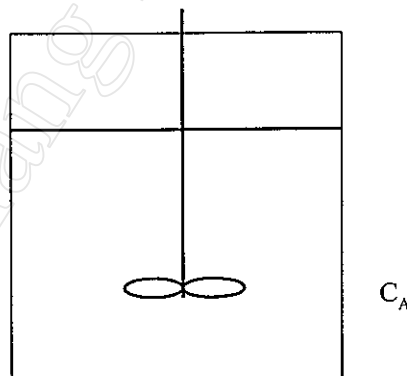
ก. ในกรณีที่มีการนำกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนไปฝังกลบ ทำให้สามารถจัดการทำการฝังกลบได้ง่ายขึ้นเนื่องจากกากตะกอนที่ผ่านการกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะไม่ก่อให้เกิดก๊าซและน้ำชะออกมาเมื่อนำไปฝังกลบ

ข. สามารถเก็บรวบรวมก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซต้นเหตุที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

ค. ของแข็งหรือตะกอนที่เหลือสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงสภาพดินได้

2.12 แบบจำลองของถังย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ถังปฏิกริยาอีกแบบหนึ่งที่ใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมนอกจากถังปฏิกริยาแบบกวนสมบูรณ์ คือ แบบถังเท โดยทั่ว ๆ ไปแล้วถังปฏิกริยาแบบเทนี้จะเริ่มต้นด้วยการบรรจุมูลฝอยให้เต็มถังเสียก่อน ปิดให้แน่นและปรับอุณหภูมิให้กับถังปฏิกริยาตามที่ต้องการ ปล่อยให้ปฏิกิริยาเกิดในถังจนมีการเปลี่ยนแปลงตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้ถังปฏิกริยาแบบนี้จึงไม่มีเทอมน้ำเข้าหรือน้ำออกอยู่ในสมการแสดงสมดุลย์ ดังรูปที่ 2.12 สมมติว่ามีการคนหรือกวนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในถังปฏิกริยาแบบเทนี้ ดังนั้นมูลฝอยภายในถังจึงมีส่วนประกอบและความเข้มข้นสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งถัง ความเข้มข้นจะเปลี่ยนไปตามเวลาเท่านั้น



รูปที่ 2.12 ถังปฏิกริยาแบบเท

ด้วยเหตุนี้จึงสมควรที่จะเลือกเอาปริมาตรทั้งหมดของถังเป็นปริมาตรภายใต้ควบคุม (Control Volume) สมการแสดงสมดุลย์ทางมวลของ A รอบถังปฏิกริยา คือ

$$\text{เข้า} - \text{ออก} + \text{สร้าง} = \text{สะสม} \quad (11)$$

$$Q - Q + r_A V = \frac{(dC_A V)}{dt}$$

$$\text{หรือ } r_A = \frac{(dC_A V)}{V dt}$$

เราจะได้สมการแสดงสมดุลทางมวลของถังปฏิกรณ์แบบเทดังนี้

$$r_A = \frac{dN_A}{V dt} \quad (12)$$

สมการที่ 12 มีความหมายว่าอัตราเร็วของการสร้างสาร A ในถังปฏิกรณ์แบบเทเท่ากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนโมลของ A หารด้วยปริมาตรของถังปฏิกรณ์ สมการนี้สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\int_0^t V dt = \int_{N_{A0}}^{N_A} \frac{dN_A}{r_A} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{d(C_A V)}{r_A} \quad (13)$$

สมการใหม่นี้อาจใช้หาขนาดของถังปฏิกรณ์หรือเวลาทำปฏิกิริยา ถ้าหาปริมาณของปริมาตรของถังปฏิกรณ์หรือเวลาทำปฏิกิริยาที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาได้ ในกรณีซึ่งปฏิกิริยาเกิดในน้ำ ปริมาตรอาจจะสมมติให้มีค่าคงที่ได้ ดังนั้นสมการที่ 13 จะกลายเป็นสมการใหม่ดังนี้

$$t = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC}{r_A} \quad (14)$$

2.13 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Sivey et al. (1999) ได้ศึกษาการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนที่ไม่ได้ผ่านการคัดเลือkd ด้วยวิธีหมักไร้ออกซิเจนแบบลืขเบดเป็นระยะเวลา 80 วัน โดยใช้แบบจำลองบรรจุมูลฝอยประมาณ 70 กก. โดยน้ำหนักเปียก จากการศึกษาพบว่า การย่อยสลายมูลฝอยด้วยวิธีไร้ออกซิเจนแบบลืขเบดที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังย่อยสลายที่เข้าสู่สถานะเสถียร ไปยังถังบรรจุมูลฝอยสดทำให้การย่อย

สลายของมูลฝอยเกิดได้เร็วขึ้นจากปกติ 12 สัปดาห์เหลือ 6 สัปดาห์ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดความสมดุลของแบคทีเรียในถังบรรจุมูลฝอยสด มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.15 ลบ.ม./กก.ของแข็งระเหย และในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะเกิดก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 80 การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าจำนวนของแบคทีเรียในถังบรรจุมูลฝอยสดจะคงที่ถ้ามีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังย่อยสลายที่เข้าสู่สถานะเสถียรที่มีอายุยังน้อยประมาณ 18-25 วัน ยิ่งจำนวนแบคทีเรียมากขึ้นเท่าใดก็สามารถลดเวลาเริ่มต้นในการเดินระบบและเป็นการเพิ่มอัตราผลผลิตก๊าซมีเทนในถังบรรจุมูลฝอยสด

Chugh et al. (1999) ทำการศึกษาการย่อยสลายของมูลฝอยชุมชนที่ไม่ได้ผ่านการคัดแยกด้วยวิธีไร้ออกซิเจนแบบลิซเบคเป็นเวลา 80 วัน ใช้แบบจำลองทรงกระบอกที่ทำด้วยเหล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.47 เมตร สูง 1.25 เมตร มีห้องเก็บน้ำชะมูลฝอยขนาด 42 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (38°C) ด้วย Heating Tape บรรจุมูลฝอยลงในแบบจำลองสูง 0.815 ม. ให้มีความหนาแน่น 500 กก./ลบ.ม. จากการศึกษาพบว่าการเติมกากตะกอน เพิ่มความชื้นในมูลฝอยและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังย่อยสลายที่เข้าสู่สถานะเสถียรไปยังถังบรรจุมูลฝอยสดจะทำให้การย่อยสลายของมูลฝอยเกิดได้เร็วขึ้น ลดระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดมูลฝอยและเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซมีเทน โดยพบว่าเกิดก๊าซมีเทนเฉลี่ย 0.18 ลบ.ม./กก.ของแข็งระเหยที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (273°K และ 1 atm) ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งคงที่ที่ประมาณ 7.5 ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่ทำการย่อยสลายจนกระทั่งคงที่ คิดเป็นร้อยละ 56 ในช่วงเวลา 20 วัน ในส่วนขององค์ประกอบของก๊าซนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ คิดเป็นร้อยละ 42 ในช่วง 30 วันแรก ส่วนก๊าซไฮโดรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่พบในช่วง 2 วัน

Chynoweth et al. (1992) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายของมูลฝอยชุมชนที่มีแหล่งที่มาและเวลาในการย่อยสลายต่างกันด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนโดยมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย (Sequential Batch Anaerobic Composting : SEBAC) ใช้แบบจำลองเป็นถังทรงกระบอกจำนวน 3 ถัง สูง 2.4 ม. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ม. ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 55°C มูลฝอยที่ใช้เป็นมูลฝอยสดจากเมือง Sumter และ Levy ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมูลฝอยจากเมือง Sumter ได้ถูกแยกเอาเหล็ก อะลูมิเนียม กล่องกระดาส พลาสติกและขวดแก้วออกก่อนนำไปบดเป็นชิ้น ๆ ให้มีขนาดระหว่าง 2-10 ซม. ส่วนมูลฝอยจากเมือง Levy จะผ่านการแยกด้วยมือ มูลฝอยจะประกอบไปด้วยกระดาส ใบไม้ กิ่งไม้และเศษอาหาร จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายมูลฝอยที่ระยะเวลา 42 วัน จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของของแข็งที่ระเหยได้สูงกว่าที่ระยะเวลา 21 วัน ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นพบมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 และ

มูลฝอยจากเมือง Levy จะให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่าเมือง Sumter

Cecchi et. al. (1993) ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศของสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชน โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (37°C) จนถึงเทอโมฟิลิก (55°C) เป็นเวลา 5 เดือน เริ่มตั้งแต่ 18 พฤษภาคม 1992 จนถึง 27 กันยายน 1992 โดยแบบจำลองที่ใช้เป็นถังย่อยสลายที่มีขนาด 3 ลบ.ม. มีการกวนภายในเพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดี ความดันของก๊าซภายในถังถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 180-200 มม. มูลฝอยชุมชนที่ใช้ในการทดลองนำไปเจือจางด้วยน้ำจนกระทั่งมีของแข็งรวมประมาณร้อยละ 20 ก่อนเข้าถังย่อยสลายด้วยอัตราการเติมมูลฝอยชุมชน 2 ครั้งต่อวัน จากการศึกษาพบว่าภายในถังย่อยสลายมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่วัน และระบบค่อย ๆ ปรับตัวโดยใช้เวลาประมาณ 1 เดือนเข้าสู่ระยะสภาวะคงที่ครั้งที่ 1 ซึ่งมีอุณหภูมิ พีเอชและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนคงที่ หลังจากนั้นประมาณ 7 เดือน อุณหภูมิ พีเอชและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะเริ่มไม่คงที่และเข้าสู่สภาวะคงที่ครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 8 เดือน พบว่าการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของมลสารในพารามิเตอร์ ของแข็งระเหย ซีไอดี และทีโอซีดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็สูงกว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Jukka and Kimmo (1996) ทำการศึกษาลักษณะของก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศของมูลฝอยชุมชนและตะกอน ณ อุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิก (37°C) ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 2 ปี เริ่มจาก 26 พฤศจิกายน 1993 ถึงกุมภาพันธ์ 1995 โดยระบบจริงตั้งอยู่ในประเทศฟินแลนด์ ถังย่อยสลายมีปริมาตร 1500 ลบ.ม. ปริมาตรของของเสียประมาณ 1400 ลบ.ม. การกวนภายในถังได้ใช้การหมุนเวียนก๊าซ นำมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดเอากระดาษและแก้วออกมาผสมกับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นต้นแล้วเก็บไว้ในถังเก็บเป็นเวลา 3 วัน ระหว่างสัปดาห์ และ 1 วันในวันหยุดก่อนสูบไปเข้าถังย่อยสลายด้วยอัตรา 2.5-4.1 กก.ของแข็งระเหย/ลบ.ม.-วัน จากผลการศึกษาพบว่า การย่อยสลายแบบไร้อากาศระหว่างมูลฝอยชุมชนและตะกอนให้ก๊าซมีเทนสูงถึงร้อยละ 90 คิดเป็นร้อยละ 50 โดยปริมาตรต่อปริมาตรมูลฝอยชุมชนและตะกอน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะแปรเปลี่ยนไปตามรูปแบบและปริมาณของมูลฝอยที่เข้าสู่ถังย่อยสลาย นอกจากนี้ยังพบว่า ตะกอนจากถังย่อยสลายนี้สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าตะกอนที่มาจากการย่อยมูลฝอยชุมชนเพียงอย่างเดียว

Zatari et al. (1999) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในถังย่อยสลายของมูลฝอยที่นำเปื้อนด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน โดยมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเป็นเวลาประมาณ 200 วัน แบบจำลองเป็นถังขนาด 50 ลิตร และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะมีโซฟิลิก (35°C) มูลฝอยที่ใช้นำมาจากระบบบำบัดมูลฝอยในประเทศอังกฤษ มูลฝอยจะถูกป้อนเข้าถังแบบ

ถึงต่อเนื่องคือ 4 วัน/ครั้ง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราส่วนการหมุนเวียนตะกอนในถังและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดในการหมุนเวียนตะกอนคือ 0.5 และเมื่อให้อัตราส่วนในการหมุนเวียนตะกอนคงที่ พบว่าการเพิ่มปริมาณการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจะทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ถึงอย่างไรก็ตามกากตะกอนที่เหลือจากการย่อยสลายควรนำไปผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนต่อไป

Oleszkiewicz (1997) ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศของมูลฝอยและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนของของแข็งสูง โดยใช้แบบจำลองจำนวน 3 ถัง ถังแรกมีขนาด 100 ลิตร มีการกวนผสมภายในถัง ส่วน 2 ถังที่เหลือมีขนาด 40 ลิตร ไม่มีการกวนภายในถัง มูลฝอยที่ใช้ประกอบด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 2.25 กก. กระดาษอย่างดี 2.25 กก. ซึ่งถูกตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปผสมกับตะกอนจากระบบบำบัดมูลฝอยชุมชน 9 กก. และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้แก่เปลือกและเศษมันฝรั่งจากโรงงานอุตสาหกรรมมันฝรั่ง 4.5 กก. เศษอาหาร 6 กก. และน้ำ 5 กก. เพื่อปรับความชื้นให้กับของเสียรวมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 30 ก่อนเข้าถังย่อยสลายด้วยอัตรา 9 กก. ของแข็งร้อยละ 30/ลบ.ม. โดยที่ถังถูกควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (55°C) จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายระหว่างมูลฝอยชุมชนและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีเมื่อมีเวลาในการย่อยสลาย 21-28 วัน และใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบประมาณ 3 สัปดาห์ ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 200-300 ลิตร/กก. ของแข็งร้อยละ 30 และจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการให้ผลยืนยันว่าการย่อยสลายของของผสมระหว่างเศษกระดาษอาหารและตะกอนได้ผลดีที่สุดเมื่อมีปริมาณของแข็งรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 30-35 และพบว่าการย่อยสลายในอุณหภูมิที่สูงกว่าก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า แต่ประสิทธิภาพและอัตราการเกิดก๊าซดังที่ได้กล่าวมามีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาเก็บกักน้อยลง ถึงอย่างไรก็ตามการย่อยสลายแบบไร้อากาศก่อให้เกิดกากตะกอนหรือได้น้ำทิ้งที่ยังไม่เสถียรภาพพอและต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

Mori et. al. (1999) ทำการศึกษาเทคนิคเร่งการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยชุมชน โดยเปรียบเทียบกับวิธีการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอน เทคนิคที่นำมาใช้คือ ถังหมักแบบเปียก ในถังทำการติดตั้งจานกลม ๆ หลายใบที่หมุนได้ซึ่งใช้เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะเพื่อไม่ให้หลุดไหลออกไปนอกระบบ ถังนี้มีขนาด 10 ลิตร และภายในถังถูกควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 55°C มูลฝอยชุมชนที่ใช้ถูกนำมาผสมกับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้เป็นของเหลวเก็บไว้ในถังกักเก็บเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 40°C ก่อนนำเข้าถังหมักด้วยอัตรา 48 กก. ที่โอซี/ลบ.ม. และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับสภาพให้มีพีเอชอยู่ในช่วง 5.8-6.2 เสียก่อน จากการศึกษาพบว่าเทคนิคถังหมักแบบเปียกก่อให้เกิดก๊าซมีเทน 1 ลิตร/น้ำหนักของเสียที่เติมเข้าไปในถัง และเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคนี้กับวิธี

การย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนจะพบว่าถังหม่เบรณมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมากกว่าการใช้วิธีการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนถึง 2 เท่า

Pavan et. al. (1999) ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบ ไร้อากาศ 2 ขั้นตอนของสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนที่มาจากตลาดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเศษผักและผลไม้ โดยแบบจำลองที่ใช้มีจำนวน 3 ถัง ประกอบด้วยถังเก็บมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดเลือกและตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ถังที่สองเป็นถังสร้างกรดจากการแตกสลายโพลีเมอร์ของสารประกอบสารอินทรีย์ประเภทซับซ้อน มีขนาด 0.8 ลบ.ม. ซึ่งมีการกวนผสมบรณเกิดขึ้นภายในถัง ถังที่ 3 เป็นถังเกิดก๊าซมีเทน มีขนาด 1 ลบ.ม. มูลฝอยจากถังเก็บถูกส่งไปยังถังสร้างกรดด้วยความถี่ 4 ครั้งต่อวัน จากนั้นถูกส่งต่อไปยังถังเกิดก๊าซมีเทน จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงขึ้น เมื่อถังสร้างกรดถูกควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (ประมาณ 35°C) และถังเกิดมีเทนมีอุณหภูมิในช่วงเธอโมฟิลิก (ประมาณ 55°C) เวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนและการเกิดก๊าซมีเทนประมาณ 12 วัน โดยในถังสร้างกรดใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ถังเกิดก๊าซมีเทนใช้เวลา 8-9 วัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของถังสร้างกรดให้อยู่ในช่วงเธอโมฟิลิกพบว่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลง นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนกับขั้นตอนเดียวในสภาพเธอโมฟิลิกพบว่าระบบย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนจะให้ผลดีกว่าการย่อยสลายแบบขั้นตอนเดียว

Wang and Banks (1999) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนเป็นระยะเวลา 120 วัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 วิธี วิธีแรก คือการย่อยสลายแบบขั้นตอนเดียวในสภาพไร้อากาศ วิธีที่ 2 คือ การย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกการย่อยสลายในสภาพไร้อากาศและขั้นตอนที่ 2 เป็นการย่อยสลายต่อในสภาพมีอากาศ แบบจำลองของถังย่อยสลายแบบไร้อากาศทำด้วยแก้วทรงกระบอกที่มีปริมาตร 4 ลิตร มีฝาปิดบริเวณด้านบน และมีท่อต่อออกจากฝาปิดเพื่อให้ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังไหลออก ภายในถังมีการติดตั้งใบพัดในท่อดูดอากาศเพื่อป้องกันอากาศไหลเข้ามาในถัง มีการกวนมูลฝอยตลอดเวลาโดยใช้ใบพัดซึ่งมีความเร็ว 30 รอบต่อนาที ภายในถังย่อยสลายแบบไร้อากาศทั้ง 2 ถังได้บรรจุมูลฝอยชุมชนในอัตรา 10 กก. ของแ่งระเหยทั้งหมด/ลบ.ม.-วัน โดยมูลฝอยได้ผ่านการแยกเอาขวดพลาสติก กระจองโลหะ หนังสือพิมพ์ออกก่อนแล้วไปบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และผสมกับน้ำให้มีปริมาณของแ่งรวมร้อยละ 10 ควบคุมอุณหภูมิภายในถังด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ ส่วนแบบจำลองของถังย่อยสลายในสภาพมีอากาศแบบ 2 ขั้นตอนจะเป็นถังที่มีขนาด 3 ลิตร ทำการย่อยสลายของเหลวที่ผ่านจากถังย่อยสลายแบบไร้อากาศในขั้นตอนแรกก่อนที่ตะกอนจะถูกหมุนเวียนกลับไปยังถังแรก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 และ 35°C ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการลด

ความเข้มข้นของมลสารในพารามิเตอร์ ของแฉ่งรวม ของแฉ่งระเหย โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของมลสารเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นด้วยรวมทั้งปริมาณก๊าซมีเทน และ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการย่อยสลายแบบขั้นตอนเดียวและ 2 ขั้นตอน พบว่าการย่อยสลายแบบ ขั้นตอนเดียวจะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนมีมากกว่าการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอน แต่ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของมลสารต่าง ๆ มีค่าต่ำกว่า

Hans and Rita (1999) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายแบบไร้อากาศของสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนที่อุณหภูมิและเวลากักเก็บต่างกันเป็นระยะเวลา 7 เดือน โดยใช้แบบจำลองเป็นถังที่มีขนาด 4 ลบ.ม. จำนวน 3 ถัง แต่ละถังบรรจุมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการบดละเอียดด้วยอัตรา 7-8 กก./ลบ.ม.-วัน ถังแรกและถังที่สองปล่อยให้เกิดการย่อยสลายในสภาพอุณหภูมิมีโซฟิลิก (ประมาณ 37°C) โดยถังแรกใช้เวลา 14 วัน ถังที่ 2 ลดเวลาเหลือ 12, 9 และ 7 วันตามลำดับ ถังที่ 3 ปล่อยให้เกิดการย่อยสลายในสภาพอุณหภูมิเธอโมฟิลิก (ประมาณ 55°C) ที่ระยะเวลา 12, 9 และ 7 วันเช่นเดียวกับถังที่ 2 จากการศึกษาพบว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงมีประสิทธิภาพดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่า และการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายก็จะเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซมีเทนได้เช่นเดียวกัน