



การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาประเทศและมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศ เพราะพลังงานมีผลต่อกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยเฉพาะในด้านการดำรงชีวิตประจำวัน ด้านอุตสาหกรรม และการขนส่ง เป็นต้น

2.1 ประเภทของพลังงาน

พลังงานแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 พลังงานสิ้นเปลือง (nonrenewable energy)

คือ แหล่งพลังงานจากใต้พื้นดิน เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือหามาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว ต้องใช้เวลานานกว่าร้อยล้านปีที่จะสร้างขึ้นมาก็ได้และมีปริมาณจำกัด ชื่อที่ใช้แทนพลังงานกลุ่มนี้จึงมีทั้งพลังงานฟอสซิลและพลังงานที่ใช้แล้วหมด ได้แก่ น้ำมันดิบ (ปิโตรเลียม) ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติและพลังงานนิวเคลียร์ (แรงแยวเนียม) ฯลฯ

พลังงานที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ส่วนมากนำมาจากแหล่งพลังงานสิ้นเปลือง เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิลจำพวกน้ำมันดิบ ถ่านหินและแก๊สธรรมชาติ โดยเชื้อเพลิงนี้เกิดขึ้นจากซากพืชซากสัตว์ที่ตายมานานนับล้านปี ทับถมอยู่ใต้ดินจนเปลี่ยนเป็นฟอสซิล จากนั้นเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติกลายเป็นน้ำมันดิบ ถ่านหินและแก๊สธรรมชาติ ซึ่งกลายเป็นปัญหาในปัจจุบันคือไม่สามารถหามาทดแทนการใช้ได้ทัน โลกเราต้องใช้เวลาอันเป็นล้านปีกกว่าจะผลิตน้ำมันแต่ละลิตรได้ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะได้แก๊สพิษออกมาด้วย เช่น ฝุ่นละออง, เขม่าควัน, ไนโตรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งแก๊สเหล่านี้ทำให้โลกเกิดภาวะร้อนขึ้น หรือที่เรียกอีกอย่างว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (green house effect)

2.1.2 พลังงานหมุนเวียน (renewable energy)

คือ แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติรอบตัวเรา หามาใช้ได้ไม่มีวันหมด ซึ่งสามารถสร้างทดแทนได้ในเวลาสั้นๆ โดยธรรมชาติหลังจากมีการใช้ไป จึงมีหลายชื่อที่ใช้เรียกพลังงานทดแทน รวมถึงพลังงานสะอาดและพลังงานสีเขียว เนื่องจากไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อ

สิ่งแวดล้อมนั่นเอง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ พลังงานคลื่นในทะเล พลังงาน น้ำขึ้นน้ำลง พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานไฮโดรเจน ฯลฯ

พลังงานจากแก๊สชีวภาพ ที่ได้จากสารชีวมวลนี้ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะในการผลิตแก๊สชีวภาพนอกจากจะได้พลังงานแล้วยังสามารถลดปริมาณขยะของเสียลงได้ด้วย

สารชีวมวล (biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์
- รวมไปถึงน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงด้วย เป็นต้น

การนำวัสดุเหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายวิธี เช่น เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในการให้ความร้อน หรือนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการหมักทางชีวภาพเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก และมีแนวโน้มการใช้พลังงานสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่แหล่งพลังงานดังกล่าวมีจำนวนจำกัด และปฏิบัติการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สที่เป็นมลพิษทางอากาศ เช่น CO_x , NO_x , SO_x , C_xH_x , ฝุ่น, เขม่าควัน และสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งมลพิษทางอากาศ เหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ฝนกรด และทำให้สภาพอากาศของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงจนทำให้น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเกิดการละลาย ด้วยเหตุนี้เราจึงเริ่มตระหนักถึงปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้น และจำนวนของแหล่งพลังงานที่กำลังจะหมดไป โดยการเริ่มทำการอนุรักษ์พลังงานอย่างแท้จริง ตลอดจนเร่งดำเนินนโยบายสำรวจค้นคว้าวิจัย และพัฒนา

แหล่งทรัพยากรพลังงานอย่างกว้างขวาง เพื่อให้มีพลังงานใช้ทดแทนพลังงานจากแหล่งธรรมชาติที่อาจหมดไปในอนาคต

พลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่ง ที่น่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะพลังงานจากชีวมวลจะเป็นการนำของเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมที่หาได้ง่ายราคาไม่แพง และมีจำนวนมาก มาใช้ให้เป็นประโยชน์ การใช้พลังงานจากชีวมวลยังสามารถนำมาใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น นำมาเผาไหม้โดยตรง หรือนำไปเผาให้พลังงานในเตาไอน้ำ เพื่อใช้พลังงานจากไอน้ำ และการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ และแก๊สไฮโดรเจน เป็นต้น ดังตารางที่ 2.1 จะเปรียบเทียบการผลิตแก๊สชีวภาพ (แก๊สมีเทน) กับแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

2.2 แก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพเป็นสารที่อยู่ในรูปของแก๊สซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติในภาวะที่เหมาะสม เป็นแก๊สที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในภาวะไร้อากาศแหล่งที่เกิดแก๊สชีวภาพได้แก่น้ำเสียของโรงงานแปรรูปสินค้าทางการเกษตรและฟาร์มเลี้ยงสัตว์เช่น โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ และฟาร์มเลี้ยงหมู เป็นต้น

องค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพได้แก่ แก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 28-38 % และแก๊สอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น ประมาณ 2 % เนื่องจากแก๊สชีวภาพมีแก๊สมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นจึงทำให้มีสมบัติจุดติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ได้เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง โดยนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้กับเครื่องกลลูกสูร และหม้อต้มไอน้ำ (steam boiler) เป็นต้น และใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น หรือเผาเพื่อใช้พลังงานความร้อนร่วมกับการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าแก๊สมีเทนที่เกิดด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียในกลุ่มมีทาโนเจนลักษณะจำเพาะของแบคทีเรียในกลุ่มนี้คือ ต้องอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไร้ออกซิเจนแหล่งที่เราสามารถพบแบคทีเรียเหล่านี้ตามธรรมชาติได้แก่ กากตะกอนในบ่อน้ำบาด กระเพาะ หรือ ลำไส้ของสัตว์ และในตะกอน หรือโคลนขึ้นแฉะ เป็นต้น

แบคทีเรียในกลุ่มมีทาโนเจนเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ค่อยได้รับการสนใจ มีการศึกษาน้อย แต่เมื่อเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน จึงเป็นการกระตุ้นให้นักวิทยาศาสตร์หันมาสนใจศึกษากันมากขึ้นเพื่อที่จะนำพลังงานที่ได้จากแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์ต่อไป การผลิตแก๊สชีวภาพจะเกิดจากการที่แบคทีเรียนำแหล่งพลังงานที่จำเพาะ มาใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยจะได้ผลผลิตสุดท้าย

เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งแหล่งพลังงานที่จำเพาะจะได้มาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.1 การผลิตแก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ (Heguang และคณะ., 2002)

	การผลิตแก๊สมีเทน (methane production)	การผลิตแก๊สไฮโดรเจน (hydrogen production)	
		ชนิดจุลินทรีย์	
		anoxygenic phototrophic bacteria	heterotrophic anaerobic bacteria
แหล่งคาร์บอน (carbon sources)	acetic acid, CO ₂	saccharide, lipid, protein, fatty acids, aromatic compound, alcohol เป็นต้น	cellulose, saccharide, lipid, protein, aromatic compound เป็นต้น
แหล่งพลังงาน (energy source)	oxidation of H ₂	oxidation of reductive organic compounds and light energy	oxidation of reductive organic compounds
เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (key enzyme)	Hydrogenase	Nitrogenase and Hydrogenase	Hydrogenase
คำยับยั้ง (inhibitors)	O ₂ , S ₂ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	O ₂ , NH ₄ ⁺	CO, O ₂
เวลาในการหมัก (retention time)	5-10 วัน (อุณหภูมิสูง) 10-20 วัน (อุณหภูมิต่ำ)	< 4 วัน	< 4 วัน
pH ที่เหมาะสม	6.7-7.4	6.5-9.0	6.5-8.5
อัตราการผลิตแก๊สที่ ได้เป็นพลังงาน	สูง	สูง	ต่ำ
สายพันธุ์	<i>Methanosarcina methanica</i> <i>Methanotherix</i> sp. <i>Methanobacter</i> sp. <i>Methanococcus</i> sp.	<i>Rhodobacter sphaeroides</i> <i>Rhodobacter capsulatus</i>	<i>Clostridium butyricum</i> <i>Methanobacterium</i> sp.

2.3 แก๊สไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุด มีอยู่ในปริมาณมากที่สุดในจักรวาล และบนโลกนี้ เป็นโมเลกุลที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ธาตุไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบของสสารแทบจะทุกชนิด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ น้ำที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลกในน้ำหนึ่งโมเลกุลจะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงสองอะตอม บรรยากาศในโลกรวมแก๊สไฮโดรเจนอยู่ประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลเท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) แก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น เมื่ออยู่ในสถานะแก๊สจะมีความหนาแน่น 0.0899 g/l ในสถานะของเหลวจะไม่มีสี ค่าความหนืดต่ำ เคลื่อนที่ได้เร็วในสถานะของแข็งจะเป็นของแข็งไม่มีสี มีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึก 6 เหลี่ยมมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ -259.20 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ -252.77 องศาเซลเซียสต้องการพลังงานในการติดไฟต่ำ กระบวนการนำไฮโดรเจนไปใช้เป็นพลังงานยังไม่ก่อให้เกิดของสะสมที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะผลผลิตสุดท้ายเมื่อนำไฮโดรเจนไปใช้จะได้เป็นน้ำบริสุทธิ์

พลังงานจากแก๊สไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถสร้างทดแทนได้ตลอด และยังให้พลังงานสูงด้วย แก๊สไฮโดรเจนจึงเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนแก๊สไฮโดรเจนนอกจากจะนำไปใช้เป็นพลังงานแล้วยังสามารถนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ ได้อีก

2.3.1 ประโยชน์ของแก๊สไฮโดรเจน

ภาคขนส่ง

แก๊สไฮโดรเจนสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในจรวด ใช้เป็น fuel cell เพื่อผลิตไฟฟ้า เป็นต้น แก๊สไฮโดรเจนเมื่อเกิดการเผาผลาญจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นน้ำบริสุทธิ์อีกทั้งแก๊สไฮโดรเจนยังเป็นแก๊สที่ไม่มีวันหมดไปจากโลก แก๊สไฮโดรเจนสามารถสกัดได้จากน้ำเมื่อเผาผลาญเราจะได้น้ำกลับมาอีกครั้ง ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงทำให้แก๊สไฮโดรเจนเป็นตัวเลือกที่ดีที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

ภาคอุตสาหกรรม

เราสามารถนำแก๊สไฮโดรเจนมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันดิบ เราจะใช้แก๊สไฮโดรเจนในกระบวนการ hydroheating ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ และสารตกค้างอื่นๆ ที่ปะปนมาในน้ำมันดิบ อุตสาหกรรม การเกษตรจะใช้แก๊สไฮโดรเจนเพื่อใช้ผลิตปุ๋ยแอมโมเนียม อุตสาหกรรมเคมีจะใช้แก๊ส

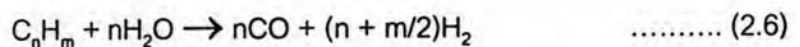
ไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นเพื่อสังเคราะห์แอมโมเนียม แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และสารเคมีต่างๆ อุตสาหกรรมอาหารจะใช้แก๊สไฮโดรเจนในการผลิตน้ำมันพืช เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดออกซิไดซ์ และป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืน นอกจากนี้ยังมีการใช้แก๊สไฮโดรเจนในการเปลี่ยนน้ำมันเหลวไปเป็นน้ำมันแข็ง เช่น margarine อุตสาหกรรมโลหะหนัก และเหมืองแร่จะใช้แก๊สไฮโดรเจนในการผลิตเหล็ก โดยใช้เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนแก่เหล็ก เพื่อให้เปลี่ยนแปลง และปรับปรุงคุณภาพของเหล็กนอกจากนี้ยังมีการใช้แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ในการผลิตทั้งสแตน โมลิบดีนัม แมกนีเซียม และใช้แก๊สไฮโดรเจนในการตัด-หลอมแก้ว และแร่ควอตซ์

2.3.2 วิธีการผลิตแก๊สไฮโดรเจน

2.3.2.1 การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีกายภาพ และเคมี

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้อาศัยกระบวนการ steam hydrocarbon reforming โดยฉีดพ่นไอน้ำร้อนอุณหภูมิสูงเข้าผสมกับแก๊สธรรมชาติ ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกตัว และปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมา โดยสมการที่ 2.6 และสมการที่ 2.7 เป็นสมการเคมีของปฏิกิริยาการเกิดกระบวนการ steam hydrocarbon reforming นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีหนึ่งเรียกว่า gasification คือการเผาถ่านที่มีกำมะถันต่ำโดยใช้อุณหภูมิสูง



ในกระบวนการนี้จะมีการดักจับแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น โดยใช้ตัวดูดซับหรือแผ่นเมมเบรนแยกสกัดเอาแก๊สไฮโดรเจนออกจากแก๊สผสม และแยกเอาส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออกไป

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีเทอโมเคมีสทรี (thermochemistry)

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีเทอโมเคมีสทรีเป็นวิธีที่อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อทำให้อุณหภูมิในการเกิดการสลายตัวของน้ำต่ำลง โดยการใส่สารประกอบของปรอทโบรไมด์ และ

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis)

วิธีนี้จะได้แก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้าซึ่งกระแสไฟฟ้าจะเข้าไปสลายโมเลกุลของน้ำได้เป็นไฮโดรเจนอะตอมและออกซิเจนอะตอม โดยอาศัยการจุ่มสายไฟสองสายลงในน้ำที่ทำให้มีความเป็นด่างมากขึ้น แล้วผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงไปตามสายนั้น จึงทำให้เกิดขั้วสองขั้วตรงข้ามกันคือ positive electrode และ negative electrode ไฮโดรเจนอะตอม และออกซิเจนอะตอมจะแยกออกจากกัน โดยไฮโดรเจนอะตอมจะเข้าไปเกาะที่ด้าน negative electrode และออกซิเจนอะตอมจะเข้าไปเกาะที่ด้าน positive electrode ถึงแม้ว่าไฮโดรเจนที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง แต่วิธีนี้ก็ยังมีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย อีกทั้งต้องใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และในระหว่างการแยกโมเลกุลของน้ำยังต้องทำในภาวะที่มีอุณหภูมิสูง

2.4. การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากการบำบัดน้ำเสีย

การใช้เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียแบบ anaerobic treatment มาดัดแปลงเพื่อใช้แก๊สไฮโดรเจนมีทั้งที่ใช้เชื้อแบคทีเรียเพียงชนิดเดียว (pure culture) และที่ใช้เชื้อแบคทีเรียรวมๆกันหลายชนิด (mixed culture) เป็นการหมักแบบต่อเนื่อง ไฮโดรเจนสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียไปได้ประมาณ 10% จึงต้องมีการบำบัดในขั้นต่อไปเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังมีเหลืออยู่ซึ่งอาจจะเป็นการหมักเพื่อผลิตแก๊สมีเทนต่อเป็นกระบวนการที่ 2 ขั้นตอนกระบวนการโดยรวมจึงสามารถที่ใช้กระบวนการ anaerobic treatment เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้

2.4.1 การผลิตแก๊สไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

งานวิจัยทางเทคโนโลยีชีวภาพในช่วงที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า สามารถจะใช้สิ่งมีชีวิตบางชนิดมาผลิตแก๊สไฮโดรเจน (biohydrogen) ในปริมาณมาก ได้จากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ไม่หมด เช่น แสงแดดและน้ำ อีกทั้งยังผลิตได้จากกากของเสียที่เป็นชีวมวล (biomass) หรือจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย เป็นการช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปในตัว การผลิตแก๊สไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพจึงเป็น "เทคโนโลยีสีเขียว" (green technology) สำหรับอนาคต

แนวคิดของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ แยกออกเป็น 2 แบบ แบบแรกจะใช้สิ่งมีชีวิตมาเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์ไปสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจน ส่วนอีกแบบจะใช้การสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

2.4.2 สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ไฮโดรเจน

สิ่งมีชีวิตที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ใช้กระบวนการสังเคราะห์แสงในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน (photosynthesis–light process) ได้แก่ สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) และแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสง (photosynthesis bacteria) และพวกที่ใช้กระบวนการหมักในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน (fermentation–dark process) อันได้แก่ แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน รายละเอียดของกลไกในการสังเคราะห์ไฮโดรเจนในสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้ยังมี nitrogen-fixing aerobic bacteria บางชนิดกับ protozoa บางชนิดที่สามารถสังเคราะห์ไฮโดรเจนได้เช่นกัน แต่ยังไม่ถูกนำมาใช้ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน

microalgae ใช้กระบวนการในการสังเคราะห์แสงแยกอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนจากน้ำ แล้วนำไฮโดรเจนอะตอมที่ได้ ไปสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนอีกที โดยใช้เอนไซม์ไฮโดรจีเนส (hydrogenase) หรือเอนไซม์ไนโตรจีเนส microalgae เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีข้อดีตรงที่มีต้นทุนวัตถุดิบถูกมาก คือ น้ำ และแสงแดด เพราะสามารถใช้กระบวนการสังเคราะห์แสงมาสร้างพลังงาน ไม่ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และยังดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกลับมาสร้างชีวโมเลกุลในเซลล์ได้อีก การใช้ Microalgae จึงเป็นกระบวนการสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาก

photosynthetic bacteria แยกไฮโดรเจนจากสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารโดยอาศัยกระบวนการหมัก ซึ่งย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ให้กลายเป็นไฮโดรเจนอะตอม และกระบวนการสังเคราะห์แสงมาช่วยเอนไซม์ไนโตรจีเนสในการสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจน ซึ่งแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ ไม่ได้ใช้น้ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเหมือนอย่างในพืช จึงไม่มีออกซิเจนเกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง เอนไซม์ไนโตรจีเนสไม่ถูกรบกวนโดยออกซิเจนในเซลล์ การสังเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนจึงสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องในภาวะที่มีแสง เมื่อเทียบกับพวก Microalgae แล้ว แบคทีเรียพวกนี้มีอัตราการผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่สูงกว่า แบคทีเรียพวกนี้ใช้สารประกอบกำมะถันหรือสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนแทนน้ำ เนื่องจากแบคทีเรียพวกนี้ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร จึงมีการนำเอาแบคทีเรียนี้ไปใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วย กลายเป็นกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถบำบัดน้ำเสียไปด้วยพร้อมกัน

2.5 ความหมายของน้ำเสียและการบำบัด

น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลวรวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวทำให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำในแหล่งน้ำที่สำคัญของประเทศต่างๆ ซึ่งกำลังทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่อยู่ในบริเวณชุมชนขนาดใหญ่รวมทั้งแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งเกษตรกรรม! ทั้งนี้เพราะของเสียจากกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ได้ระบายลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย เพราะปริมาณของของเสียหรือน้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมมีปริมาณมากเกินกว่าที่แหล่งน้ำสามารถปรับสภาพตามธรรมชาติ หรือทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง (self purification) ตามธรรมชาติของแหล่งน้ำนั้นๆ ทำให้ระบบนิเวศของแหล่งน้ำเปลี่ยนไปจนถึงขั้นที่แม่น้ำลำคลองเน่าเสีย ทำให้ไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นมาใช้อุปโภคบริโภคหรือนำมาใช้ในทางเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมได้อีกต่อไป โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) น้ำเสียที่เกิดจากน้ำโสโครกของแหล่งชุมชน (domestic wastewater) เป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากบ้านเรือน ชุมชน ตลาด และโรงพยาบาล
- 2) น้ำเสียที่เกิดจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงงาน เช่น การล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักรกล การทำความสะอาดภายในโรงงาน เป็นต้น
- 3) น้ำเสียที่เกิดจากการเกษตรกรรม (agricultural wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำเกษตรกรรม เช่น การใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืช การใช้ยาปราบศัตรูพืช

ดังนั้น วิธีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำเสียให้หมดไปหรือบำบัดให้เหลือน้อยที่สุด ที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ และสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ได้ โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

◆ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่กำจัดสิ่งเจือปน ประเภทของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ ซึ่งตกตะกอนด้วยตนเองได้ง่าย

◆ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนมากเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง ได้แก่การทำให้เป็นกลาง การทำให้ตกตะกอน การเติมกรดและออกซิเจน เป็นต้น

◆ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จากธรรมชาติมาย่อยสลายสารอินทรีย์อินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสีย ในภาวะที่มีออกซิเจนหรือภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเปลี่ยนเป็นผลผลิตสุดท้ายและเซลล์

2.6 ระบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

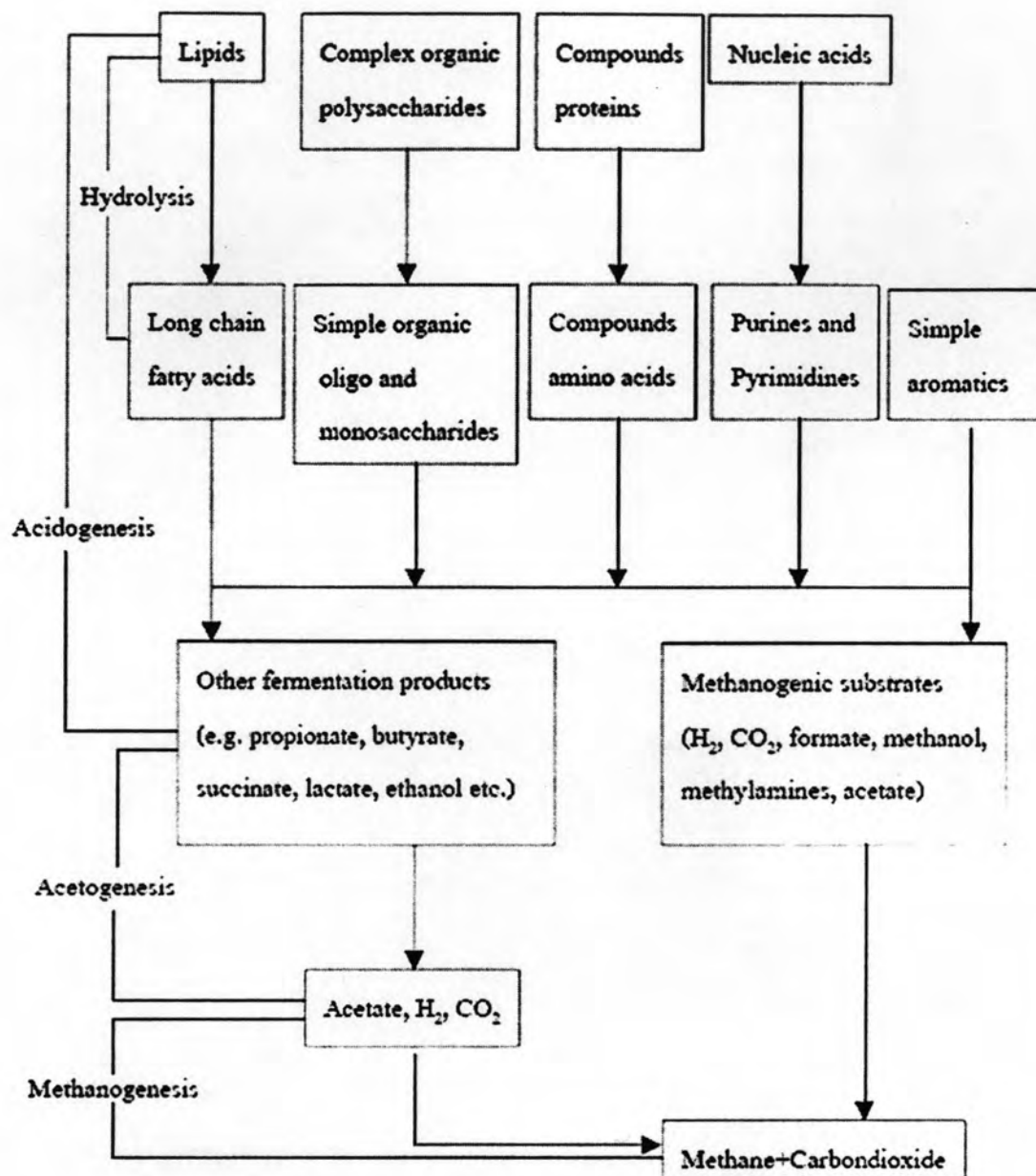
การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพหรือโดยใช้จุลินทรีย์ เป็นวิธีที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารอินทรีย์ซึ่งเป็นความสกปรกจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงไว้ในถังเชื้อ ทำให้น้ำเสียมีความสกปรกลดลง จุลินทรีย์อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีวภาพมีหลายชนิด เช่น

- ▶ ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (activated sludge)
- ▶ ระบบทรिकคลิงฟิลเตอร์ (trickling filter)
- ▶ ระบบจานหมุนชีวภาพ (bio disc หรือ rotatory biological contactor)
- ▶ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย
- ▶ ระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (anaerobic filter)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

2.6.1 ชีวเคมีของการผลิตแก๊สชีวภาพ

การผลิตแก๊สชีวภาพจะอาศัยกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแก๊สมีเทนโดยการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดขึ้นได้จะต้องอาศัยแบคทีเรียหลายชนิดช่วยกันย่อยสลาย สารอินทรีย์ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องอาศัยจุลินทรีย์ 3 กลุ่มในการย่อยสลายจุลินทรีย์กลุ่มแรกจะเป็นตัวย่อยสลาย (hydrolysis) สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงจนจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่สร้างกรดสามารถนำไปใช้ได้ และกลุ่มสุดท้ายจะเป็นจุลินทรีย์ กลุ่มที่สร้างมีเทนซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆแสดงดังภาพ 2.1 และมีรายละเอียดของแต่ละปฏิกิริยาแบ่งได้ 4 แบบคือ



ภาพที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน (Holland และคณะ., 1987)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่ทำการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน) ซึ่งสารอินทรีย์ในกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่แบคทีเรียจะดูดซึมเข้าเซลล์ได้ให้ กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำตาลกรดอะมิโนและกรดไขมัน) หรือเรียกว่ากระบวนการย่อยสลายพอลิเมอร์ (polymer breakdown) แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะ เรียกว่า ไฮโดรไลซิงแบคทีเรียซึ่งไฮโดรไลซิงแบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์และทำการปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อทำการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงจน แบคทีเรียสามารถดูดซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง การย่อยสลายขั้นนี้เป็นไปได้ช้าและมีข้อจำกัดในการย่อยสลายของเสียบางประเภท เช่น ของเสียจำพวกเซลลูโลส (cellulolytic waste) ที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ

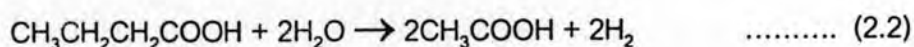
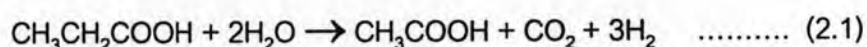
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น ซึ่งกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้นยังไม่มีกรดคาร์บอนิกในขั้นตอนนี้

ปฏิกิริยาการเกิดกรด (acidogenesis)

ปฏิกิริยาการเกิดกรดจะเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโนและกรดไขมัน) ซึ่งแบคทีเรียที่มีความทนทานสูงดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มี และไม่มีออกซิเจนอิสระ ทนต่อสภาพความเป็นกรดที่ระดับพีเอช 4-5 แบคทีเรียกลุ่มนี้จัดเป็นประเภท facultative bacteria ใช้แหล่งคาร์บอนและพลังงาน จากกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งจะได้ผลผลิตส่วนใหญ่คือ กรดอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) เป็นต้น จึงทำให้ปฏิกิริยานี้ถูกเรียกว่าเป็นปฏิกิริยาการสร้างกรด (acid forming bacteria) นอกจากผลผลิตส่วนใหญ่ที่เป็นกรดอินทรีย์แล้วยังสามารถพบผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นปะปนออกมาได้อีกโดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและภาวะแวดล้อมของการเกิดปฏิกิริยา เช่น แก๊สไฮโดรเจน กรดอะซิติก และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติก (acetogenesis)

ปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติกคือ ปฏิกิริยาที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่เกิดจากขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดกรดให้เป็นกรดที่มีขนาด 1-2 คาร์บอน คือ อะซิเตต (acetate) ฟอร์เมต (formate) แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างกรดอะซิเตต (acetogenic bacteria) ให้เป็นผลลัพธ์เป็นกรดอะซิเตต แก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยภายในระบบจะต้องมีภาวะที่เหมาะสมถึงจะเกิดปฏิกิริยาโดยสมการที่ 2.1 เป็นการเปลี่ยนกรดบิวทริก และสมการที่ 2.2 เป็นการเปลี่ยนกรดโพรพิโอนิกให้เป็นกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจน



ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และไฮโดรเจนในปริมาณมากเกินไปจนยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทน

Eunoh, และคณะ (2006) รายงานว่ากรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในถังหมักกรด ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทริก (butyric acid) และกรดไอโซวาเลอริก (isovaleric acid) เพียงเล็กน้อย ซึ่งเท่ากับ 24.1, 12.8 และ 29.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทน (methanogenesis)

ปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจนให้เป็นแก๊สมีเทนภายใต้ภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทน (methanogen) แบคทีเรียในกลุ่ม ที่สร้างมีเทนจะเป็นแบคทีเรียที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้ามากและยังเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารตั้งต้นได้เพียงไม่กี่ชนิดคือ สารที่มีคาร์บอนเพียง 1 หรือ 2 คาร์บอนเท่านั้น ส่วนกรดอินทรีย์ที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตเป็นแก๊สมีเทนได้จึงทำให้แบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องอาศัยแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ให้ทำการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือแก๊สไฮโดรเจนก่อน หลังจากนั้นแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทนจึงสามารถนำสารเหล่านั้นมาย่อยสลายต่อไป ดังสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4

การย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นมีเทน



การเกิดมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน



นอกจากนั้นแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างแก๊สมีเทนยังเป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมากเช่นไม่อาจทนต่อแก๊สออกซิเจนแม้มีเพียงปริมาณเล็กน้อยและอาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในช่วงที่เอชนอกเหนือจากช่วง 6.8 – 9.2

2.6.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์

กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทน โดยมากเป็นพวกแบคทีเรีย ซึ่งประกอบไปด้วยแบคทีเรียหลายกลุ่มที่มีการทำงานร่วมกันถึงแม้ว่าอาจพบเชื้อราและโปรโตซัวในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่แบคทีเรียเป็นกลุ่มที่มีมากที่สุดและมีบทบาทสำคัญที่สุด แบคทีเรียพวก *strictly* และ *facultative anaerobic bacteria* จำนวนมาก เช่น *Bacteriodes* sp., *Bifidobacterium* sp., *Clostridium* sp., *Lactobacillus* sp., และ *Streptococcus* sp. มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการ *hydrolysis* และ *fermentation*

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่มีโครงสร้างซับซ้อนภายใต้ภาวะไม่ใช้ออกซิเจน จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ในรูปของแก๊สชีวภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งส่วนมากเป็นพวกแบคทีเรีย แบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวก *non-methanogenic bacteria* และ *methanogenic bacteria* การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงอาศัยการทำงานที่สัมพันธ์กันของแบคทีเรียเหล่านี้

แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (*non-methanogenic bacteria*)

แบคทีเรียประเภทนี้ ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (*obligate anaerobes*) และแบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้างส่วนใหญ่เป็นพวก *facultative anaerobic bacteria* ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีออกซิเจน โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนียม และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโต

ได้ดีในช่วงที่เอช 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมได้ดีมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง

ในปัจจุบัน ปรากฏว่าแบคทีเรียประเภทไม่สร้างมีเทนที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่มีบทบาทสำคัญในฐานะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดาและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่สร้างไฮโดรเจน เช่น ปฏิกิริยาฟอสฟอโรคลาสติค สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากสารอินทรีย์อื่นด้วย แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนจะสร้างกรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้เป็นอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria)

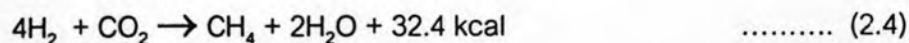
ขั้นตอนการเกิดมีเทนเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากขั้นตอนการเกิดกรด โดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรดอะซิติก ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในภาวะขาดออกซิเจน ค่าที่เอชอยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะกรดได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตได้ช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน และยังเป็นเซลล์ที่พิถีพิถันในการเลือกชนิดของอาหารมากและ บอบบาง ระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 วัน(ที่ 35 องศาเซลเซียส) ถึง 10 วัน (ที่ 10 องศาเซลเซียส) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูง คือแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenic producing bacteria) จำแนกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการเกิดแก๊สมีเทน ดังนี้

▷ obligate acetoclastic methanogen สามารถใช้กรดอะซิติกได้เพียงอย่างเดียว โดยใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถอยู่ได้ในภาวะที่มีออกซิเจน ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 3-5 วัน



▷ obligate hydrogenotrophic methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนได้จากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ใช้แก๊สไฮโดรเจน (H_2 utilizer) เป็นแหล่งพลังงานและมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน แบคทีเรียกลุ่มนี้จัดเป็นแบคทีเรียกลุ่ม

สังเคราะห์อาหาร เนื่องจากสามารถดำรงชีวิตได้โดยใช้สารอินทรีย์ และปลดปล่อยแก๊สมีเทนออกมาในรูปพลังงาน ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 2-4 ชั่วโมง



▷ Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogen แบคทีเรียเหล่านี้สามารถสร้างแก๊สมีเทนได้โดยใช้แก๊สไฮโดรเจนร่วมกับสารอินทรีย์ เพื่อให้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนหรือตัวให้อิโตรเจนในการเกิดก๊าซมีเทน และสามารถให้อิโตรเจนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างแก๊สมีเทนได้ด้วย ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 10-12 ชั่วโมง

การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ต้องอาศัยจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มที่กล่าวข้างต้น คือจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์และกลุ่มที่ผลิตมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตมีเทนไม่สามารถสร้างอะซิเตตหรือไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์หลักได้ ต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากแบคทีเรียที่ผลิตกรดอินทรีย์เพื่อนำมาสร้างแก๊สมีเทน ดังนั้น จุลินทรีย์ ทั้ง 2 กลุ่มนี้จึงต้องทำงานสัมพันธ์กันที่ภาวะสมดุลเมื่อจุลินทรีย์พวกที่ไม่สร้างมีเทนย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตกรดอินทรีย์ขึ้นมาในระบบ กรดอินทรีย์เหล่านี้ถูกจุลินทรีย์อีกพวกคือพวกที่สร้างมีเทนย่อยสลายเพื่อให้ได้แก๊สมีเทน ซึ่งปริมาณแก๊สไฮโดรเจนและปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2.2 อนุกรมวิธานของแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน (Bitton, 1994)

อันดับของแบคทีเรีย สร้างแก๊สมีเทน	ตระกูลของแบคทีเรีย สร้างแก๊สมีเทน	สกุลของแบคทีเรีย สร้างแก๊สมีเทน	ชนิดของแบคทีเรีย สร้างแก๊สมีเทน
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	<i>M. formicum</i> <i>M. bryanri</i> <i>M.</i> <i>thermoautotrophicum</i> <i>M. ruminantium</i>
		Methanobrevibacter	<i>M. arboriphilus</i> <i>M. smihii</i> <i>M. vannielli</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	<i>M. voltae</i> <i>M. mobile</i>
Methanomicrobiales	Methanomicrobiceae	Methanogenium	<i>M. cariaci</i> <i>M. marisnigri</i>
		Methanosprillum	<i>M. hungatei</i> <i>M. barkeri</i>
	Methanosarcinaceae	Methanosarcina	<i>M. mazei</i>



จะเห็นได้ว่าปฏิริยาของการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆหลายขั้นตอนดังนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้จึงมีความสลับซับซ้อนอันเนื่องมาจากต้องมีการอาศัยพึ่งพาของแบคทีเรียในกลุ่มต่างๆให้เกิดการทำงานร่วมกันโดยเฉพาะในขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทนจะเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์และทำให้ระบบการย่อยสลายไม่ล้มเหลวเนื่องเป็นการเกิดปฏิริยาอย่างช้าๆและต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มนี้

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกัน ดังนั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างดีเยี่ยม ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ผลิตกรดอินทรีย์ (ไฮโดรเจน) และกลุ่มที่ผลิตมีเทน ซึ่ง จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มมีความต้องการภาวะที่เหมาะสมต่างกัน ดังนั้นการที่จะพัฒนาถังปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ต้องมีความเข้าใจถึงปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อน ซึ่งภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์มีดังนี้

2.7.1 ภาวะไร้ออกซิเจน

จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน มี 2 กลุ่มคือ พวกที่เป็น facultative bacteria คือพวกที่ผลิตกรดสร้างแก๊สไฮโดรเจน และพวกที่เป็น strictly anaerobic bacteria คือพวกที่ผลิตมีเทน ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ดังนั้นสภาพแวดล้อมที่สำคัญที่สุดในถังปฏิกรณ์ชนิดนี้ต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียจำพวกที่ผลิตมีเทน

2.7.2 อุณหภูมิ (temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากการทำงานของถังปฏิกรณ์ต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถเจริญเติบโตและเกิดเมแทบอลิซึมได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมี 3 ระยะ ดังนี้

◆ ระยะ psychrophilic ช่วงอุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส การทำงานของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นร้อยละ 40-50 แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า psychophysics bacteria

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

◆ ระยะ thermophilic ช่วงอุณหภูมิ 45-90 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นร้อยละ 90-95 แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า thermophilic bacteria

อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตอยู่เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์ ภาวะโภชนาการของแบคทีเรีย และกิจกรรมของเอนไซม์ในเซลล์ ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่ dominant ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ ปฏิกริยาชีวเคมีเกิดขึ้นได้ดีในช่วงของอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ ช่วง mesophilic มีอุณหภูมิระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส และช่วง thermophilic อุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส และมีรายงานว่าที่อุณหภูมิต่ำจุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจุลินทรีย์มีเมแทบอลิซึมสูงกว่าและมีอัตราการเจริญสูงกว่า อุณหภูมิสูงก็มีข้อดีเหนือกว่าในช่วงอุณหภูมิอื่นๆ คือ

- เพิ่มอัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการเติบโตที่ 55 องศาเซลเซียส จะมากกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส 2-3 เท่าทำให้ใช้เวลาในการกักเก็บลดลงขนาดถังหมักลดลง ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบลดลงได้
- เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในส่วนที่เป็นของแข็งทำให้ปริมาณของแข็งที่เหลือทิ้งจากระบบลดลง และยังให้แก๊สมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย
- ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่เป็นเชื้อโรคลงได้
- การกวนผสมทำได้ง่ายขึ้นและการจมตัวของตะกอนในระบบดีขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงความหนืดของของเหลวลดลง
- ในกรณีที่ต้องการกำจัดน้ำออกจากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้วก่อนจะนำไปผ่านขั้นตอนต่อไปหรือนำไปทิ้ง สามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเกิดการแยกกระหว่างวัฏภาคของแข็งกับของเหลวเกิดขึ้นได้ดี

ปัญหาในการทำงานของระบบหมักที่อุณหภูมิสูง นอกจากจะต้องการพลังงานจำนวนมาก เพื่อให้อุณหภูมิของระบบสูงถึง 50-60 องศาเซลเซียส แล้ว ข้อเสียอื่นๆ ได้แก่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีปริมาณสารละลายปนอยู่สูง ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียที่ออกจากระบบสูงขึ้นซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการเริ่มต้นการทำงานของระบบ ถ้าในช่วงเวลาเริ่มต้นนานปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำที่ออกจากระบบส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าและปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ เสถียรภาพของระบบหมักจะไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิและอื่นๆของจุลินทรีย์ ในระบบที่อุณหภูมิสูงทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายลง เป็นผลทำให้ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะต่างๆลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานที่ช่วงอุณหภูมิปานกลาง พบว่าเสถียรภาพของระบบดีกว่าที่อุณหภูมิสูง

2.7.3 สารอาหาร (nutrients)

โดยทั่วไปแบคทีเรียนอกจากต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเติบโตแล้ว ยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาก ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จากโครงสร้างของเซลล์แบคทีเรียเป็น $C_2H_7O_2N$ มีองค์ประกอบของไนโตรเจนประมาณ 12% ของน้ำหนักเซลล์แห้งและมีความต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1/7 - 1/5 ของไนโตรเจนอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบหมักควรมีอัตราส่วน COD : N : P เป็น 100 : 2 : 0.4 หรือ BOD : N : P เป็น 100 : 1.1 : 0.2 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพจะลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้ เช่น ทำให้ตะกอนของแบคทีเรียมีน้ำหนักเบาถึงปฏิกิริยามีโอกาสสูญเสียชีวมวลได้มากขึ้น ส่วนฟอสฟอรัสพบว่าถ้ามีการขาดฟอสฟอรัสทำให้อัตราส่วนของจุลินทรีย์ลดลงถึง 50% แต่ถ้ามีมากเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ทั้งต่อประสิทธิภาพของถังและกิจกรรมของจุลินทรีย์ นอกจากจะไปเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งขาออกเท่านั้น

นอกจากนี้ยังมี trace element ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน ได้แก่ Ni, Co, Fe, Cu, Mg, Ca, Na, Br, Se, S, K และ Mo ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดฟิล์มชีวภาพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่แบคทีเรียต้องการในปริมาณน้อยมากในทางปฏิบัติจะคำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้น ถ้าตรวจวิเคราะห์ว่ามีไม่เพียงพอจำเป็นต้องเติมสารสองชนิดดังกล่าวให้เพียงพอ

2.7.4 ความเค็ม (salinity)

ความเค็มมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจนปริมาณโซเดียมคลอไรด์มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ประมาณ 2 โมลาร์ แต่ถ้ามีสูงเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญ

2.7.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากพีเอชมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งเอนไซม์แต่ละตัวทำงานได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ และมีกิจกรรมสูงสุดที่พีเอชที่เหมาะสมดังนั้นจุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมแตกต่างกันไป สรุปได้ดังนี้

2.7.5.1 hydrolytic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้เจริญเติบโตได้ดีที่ระดับพีเอชที่เป็นกลาง สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับพีเอช และสามารถทนได้ถึงระดับพีเอชต่ำๆที่พีเอช 4.5

2.7.5.2 acidogenic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่ม Hydrolytic Bacteria เช่น จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรด (ผลิตแก๊สไฮโดรเจน) มีความต้องการพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-6.0

2.7.5.3 methanogenic bacteria แบคทีเรียประเภทนี้เจริญเติบโตได้ดีในระดับพีเอชเป็นกลางให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 (Archer and Kirsop, 1991) ถ้าพีเอช มีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง และถ้า พีเอช มีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงต่ำอย่างรวดเร็ว เพราะที่ภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างแก๊สมีเทน

2.7.6 สารพิษ (toxic substance) หรือสารยับยั้ง

ในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นจะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียเนื่องจากแบคทีเรียเป็นสิ่งสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่บางครั้งสารอาหารที่ใส่เข้าไปเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีการสะสมอยู่ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้นๆสารที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ สารประกอบของโลหะซึ่งธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอิเล็กตรอนที่ valency สูงจะมีความเป็นพิษสูงกว่าธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอิเล็กตรอนที่ valency ต่ำกว่า สามารถเรียงลำดับความเป็นพิษจากน้อยไปหามากได้ดังนี้

โซเดียม>แอมโมเนีย>โปแตสเซียม>แคลเซียม>แมกนีเซียม

นอกจากนี้สารที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวนซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ถ้ามีอยู่ในระบบมากเกินไปจะทำให้เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้เช่นกัน

ปริมาณซัลเฟตในระบบก็มีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในกลุ่ม เมทาโนเจน เพราะทำให้มีการแข่งขันการใช้อาหารระหว่างแบคทีเรียพวก sulfate-reducing bacteria และ เมทาโนเจน ถ้ามีซัลเฟตสูงๆจะไปกระตุ้นการเกิดกิจกรรมของพวก sulfate-reducing bacteria และผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา ส่งผลยับยั้งการเจริญของพวก เมทาโนเจน ทำให้การผลิตมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนลดลง

ในภาวะการทำงานจริงปรากฏว่าน้ำเสียที่มีปริมาณสารพิษหลายชนิดปะปนอยู่และมีปริมาณสูงแต่น้ำเสียดังกล่าวยังสามารถถูกย่อยสลายในภาวะไร้ออกซิเจนได้โดยไม่แสดงความเป็นพิษเห็นเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากมาย เช่น การตกตะกอนของสารพิษ การถูกทำลายเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารรูปอื่นและการรวมตัวของอิออนต่างๆจึงเกิดสภาพลดหรือเสริมความเป็นพิษนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในระบบหมักอีกด้วย

1) พิษของอิออนบวกและโลหะหนัก

อิออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ปกติอิออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอิออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ สารพิษเหล่านี้มีผลยับยั้งการสร้างแก๊สมีเทนเมื่อมีปริมาณมากเกินไป

2) พิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายถ้าถูกสร้างขึ้นมามากเกินไป เช่น ในภาวะที่มีสารอินทรีย์ หรืออาหารเข้ามามากแบคทีเรียที่ผลิตกรดออกมามาก หากว่าระบบมีบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียผลิตมีเทนได้

3) พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของระบบไม่ใช้ออกซิเจน มาจากการย่อยสลายพวกโปรตีนโดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน และแอมโมเนีย

โดยปริมาณของแอมโมเนียมอิออนนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช คือ ที่พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1 % ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีค่าความเข้มข้น

ของแอมโมเนียมอิออน 99% แต่ถ้าพีเอชสูงขึ้นปฏิกิริยาจะไปทางขบวนการมากขึ้นทำให้เกิดแอมโมเนียมากขึ้น ซึ่งความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียคือมากกว่า 150 มก./ล. ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออนได้สูงถึง 3,000 มก./ล. ดังนั้นการรักษา พีเอชให้มีค่าประมาณ 7 หรือ ต่ำกว่าจะทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน ซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า

2.7.7 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ

การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ให้คงอยู่ในระบบ (ถังยูเอเอสบี) เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของระบบอุปกรณ์แยกแก๊ส-ตะกอนแขวนลอย เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ให้คงอยู่ในระบบ ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ให้ถูกต้องเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์จึงเป็นเรื่องสำคัญการออกแบบอุปกรณ์แยกแก๊ส-ตะกอนแขวนลอยต้องพิจารณาถึงสมบัติของน้ำเสีย ชนิดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรากฏในระบบ อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ปริมาณแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ขนาดและรูปร่างของถังยูเอเอสบี

2.8 ระบบ UASB (สมชาย, 2536)

2.8.1 ความเป็นมาของระบบ UASB

โครงการพัฒนาระบบ UASB (upflow anaerobic sludge blanket) เริ่มต้นในปี 1970 โดยได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ ซึ่งดำเนินการวิจัยร่วมกับกลุ่มวิจัยของ Centralc-Suiker และ Maats-chappij (CSM) และมหาวิทยาลัย Delft University of Technology รวมถึงมหาลัย Wageningen และ Amsterdam ผลการวิจัยและพัฒนาในช่วงปี 1974 ถึง 1977 นำมาซึ่งการเริ่มต้นก่อสร้างถังปฏิกิริยาในชั้นโรงงานต้นแบบและในปี 1978 ถังปฏิกิริยา UASB ก็เริ่มถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยถูกใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 88 ปัจจุบันถังปฏิกิริยา UASB ทำหน้าที่ลดปัญหามลพิษมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง

2.8.2 หลักการทำงานของระบบ UASB

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB เป็นระบบบำบัดที่มีการจัดพ่นน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกิริยาขึ้นสู่ด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใดๆในการพองมวลชีวภาพทั้งสิ้น องค์ประกอบหลักของถังปฏิกิริยาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.8.2.1 ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (sludge bed) เป็นชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูง และมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง

2.8.2.2 ส่วนของชั้นตะกอนลอย (sludge blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนจุลินทรีย์ลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา

2.8.2.3 ส่วนของอุปกรณ์แยกตะกอนชีวภาพและแก๊สชีวภาพ (gas-solids separator: GSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกแก๊สชีวภาพออกจากของผสมระหว่างแก๊สชีวภาพน้ำและตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะไหลเข้าสู่ส่วนแยกตะกอนและแก๊สชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป

2.8.2.4 ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (settlement compartment) ในส่วนของอุปกรณ์นี้จะสร้างภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและแยกแก๊สชีวภาพออกไปจะเป็นของผสมระหว่างน้ำเสียที่มีสารมลพิษต่ำและตะกอนชีวภาพซึ่งเมื่อน้ำเสียส่วนนี้ไหลมาถึงอุปกรณ์นี้ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะแยกตัวและตกตะกอนลงสู่ส่วนล่างของถังปฏิกริยา ส่วนตะกอนชีวภาพที่มีน้ำหนักเบาจะไหลปะปนไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

รูปแบบการทำงานที่ง่ายของระบบ UASB เมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักอื่นๆแล้วระบบ UASB เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง รองรับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง และค่าก่อสร้างระบบต่ำเนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวกลางเพื่อให้แบคทีเรียเกาะจับ ไม่ต้องมีอุปกรณ์ในการกวน และไม่ต้องมีถังตกตะกอน แต่จุดด้อยของระบบ UASB ที่สำคัญ คือ ความยุ่งยากและซับซ้อนในการเริ่มต้นเดินระบบ (start Up) คือ การสร้างเม็ดจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักสูงให้เกิดภายในถังปฏิกริยา

ปัญหาของระบบ UASB

ปัญหาต่างๆที่พบเมื่อใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ยังไม่คุ้นเคยกับระบบ UASB มีดังนี้

- ระยะเวลา เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะมีการเจริญเติบโตที่ช้ามาก ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นเดินระบบจึงต้องใช้เวลาามาก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลให้การเจริญเติบโตยิ่งช้ามากขึ้น เช่น สารยับยั้ง
- ความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ (methanogenic activity) การเลือกตะกอนจุลินทรีย์ เริ่มต้นเดินระบบจึงต้องใช้เวลาามาก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่างๆที่ส่งผลให้การเจริญเติบโตยิ่งช้ามากขึ้น เช่น สารยับยั้งต่างๆ
- ธรรมชาติของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น ในทางทฤษฎีแล้วตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเกาะอยู่บนตัวกลางสามารถที่จะนำมาใช้กับระบบ UASB ได้ เช่น ตะกอนโคลนตมน้ำจืด
- ระยะ lag phase เมื่อใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ยังไม่คุ้นเคยกับน้ำเสียจะเกิด lag phase ซึ่งระยะนี้จะสั้นหรือยาวขึ้นกับปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความ active การกวนผสม และความเข้มข้นของน้ำเสียในระยะเริ่มต้น
- การเพิ่มจุลินทรีย์ (growth yield) ปริมาณในการเพิ่มขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์จะมีผลต่อความยาวนานของระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบแต่การเพิ่มปริมาณของพวกตะกอนจุลินทรีย์จะขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและปัจจัยทางภาวะแวดล้อม ดังนั้นปัจจัยทางภาวะแวดล้อมและของอาหารจึงเป็นปัญหาหนึ่งในการเริ่มเดินระบบ

นอกจากปัญหาในการเริ่มต้นเดินระบบของระบบ UASB แล้วระบบ UASB ยังมีข้อดี ข้อเสียต่างๆซึ่งสามารถแสดงเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบ UASB

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่นๆ 1-2 เท่า	1. ต้องใช้เวลาในการ start-up ระบบค่อนข้างนาน
2. ใช้พลังงานต่ำ	2. ต้องการระบบน้ำเสียที่ต่อเนื่องเพื่อลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์
3. ค่าก่อสร้างต่ำ-ใช้พื้นที่น้อย	3. ต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ
4. ลดการลงทุนเรื่องเครื่องเติมอากาศ	4. ต้องรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสมและควบคุมการล้างออก
5. การเกิดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยมาก	5. เมื่อสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบทำให้อัตรากาการเจริญทดแทนไม่ทัน อัตราการรับสารอินทรีย์จึงไม่สูงขึ้น
6. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ	6. ต้องการอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่เหมาะสม
7. ต้องการธาตุอาหารเสริมน้อยมาก	7. ต้องการวิธีการเริ่มต้นเดินระบบที่ถูกต้อง
8. ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง	8. ค่า know-how ของระบบค่อนข้างสูง
9. ได้ผลผลิตแก๊สชีวภาพที่เป็นเชื้อเพลิง	9. ต้องมีระบบบำบัดเติมอากาศตามหลัง

2.9 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน โดยระบบ UASB (two-stage anaerobic digestion) [อาริยา, (2543)]

2.9.1 ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

เนื่องจากภาวะที่เหมาะสม (optimum condition) มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทนมีความแตกต่างกัน เช่น แบคทีเรียพวกสร้างกรดเจริญได้ดีที่พีเอชต่ำและระยะเวลาเก็บกักน้อยซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนทำให้จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียว ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนขึ้น โดยวิธีการแยกกลุ่มจุลินทรีย์ทั้งสองออกจากกันและจัดให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มเพื่อให้จุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถที่จะทำงานได้อย่างเต็มที่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบทำให้ระบบสามารถทำงานได้ดีมากขึ้น (Ince, 1998) วิธีการที่จะใช้ในการแยกกลุ่มจุลินทรีย์มีหลายวิธี เช่น การแยกด้วยเมมเบรน (membrane separation) การควบคุมจลศาสตร์ (kinetic control) และการควบคุมพีเอช (pH control) แต่วิธีที่นิยมใช้คือการควบคุมจลศาสตร์ร่วมกับการควบคุมพีเอช

ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนอย่างทั่วถึง (completely mixed) ซึ่งสองถังแยกจากกันโดยเรียงต่อกันแบบอนุกรม ถังหนึ่งใช้สำหรับการสร้างกรด ขณะที่อีกถังหนึ่งใช้สำหรับการสร้างแก๊สมีเทนโดยที่สภาพแวดล้อมในถังใบแรกจะมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียประเภทที่สร้างกรดขณะที่ถังใบที่สองซึ่งรับผลผลิตมาจากถังใบแรกออกแบบให้เกิดภาวะที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียพวกสร้างแก๊สมีเทน

เนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยเป็นผลผลิตหลักของขั้นตอนแรก ดังนั้นการควบคุมพีเอชในขั้นที่สองเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อความสามารถของบัฟเฟอร์เกินขีดจำกัด ซึ่งการควบคุมภายในถังหมักแก๊สมีเทนอาจทำได้โดยการทำให้สารอินทรีย์ที่จะเข้าถังหมักเป็นกลางโดยการปรับค่าพีเอช หรือให้มีการเวียนกลับของส่วนเกินที่ออกจากขั้นตอนที่สอง

2.9.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

ข้อดีของระบบย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

- สามารถที่จะดำรงอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด (optimum condition) สำหรับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มในถังหมัก
- สามารถลดขนาดของถังหมัก และทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง รวมถึงการควบคุมดูแลรักษา
- แบคทีเรียพวกสร้างกรดในขั้นแรกสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่โดยไม่มีผลไปรบกวนแบคทีเรียพวกสร้างแก๊สมีเทน
- มีอัตราการทำให้ของแข็งคงสภาพ (solid stabilization) สูง และอัตราของผลผลิตแก๊สชีวภาพขั้นสุดท้ายมีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูง
- ประสิทธิภาพการลดลงของของแข็งแขวนลอยสูง
- เหมาะสำหรับการติดตั้งร่วมกับระบบบำบัดที่มีอยู่แล้ว โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ
- สารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรียพวกสร้างแก๊สเช่น แอมโมเนีย กรดไขมันสายยาว และซัลไฟด์ จะถูกกำจัดในขั้นตอนแรกโดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด
- ลดปัญหาการสูญเสียแบคทีเรียพวกสร้างแก๊สลง ซึ่งปัญหานี้มีผลมาจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแบคทีเรียพวกสร้างกรด
- ในถังหมักกรดที่มีการกวนผสมที่ดี จะเอื้ออำนวยต่อการควบคุมค่าพีเอชของถังหมักกรดและรวมไปถึงการกำจัดจุลินทรีย์ส่วนเกินหรือที่ตายแล้วออกจากระบบ

ข้อเสียของระบบย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

- ต้องอาศัยความชำนาญในการควบคุมระบบและต้องเพิ่มเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการวัดและตรวจสอบควบคุมระบบ
- การควบคุมค่าพีเอชของแต่ละระบบให้มีค่าคงที่เป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากการผลิตกรดจะถูกแยกออกจากการใช้กรด
- อาจมีการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ชนิดหมักกรดเข้าไปในถังหมักมีเทน
- ความไม่เสถียรภาพของระบบอาจเกิดขึ้นเมื่อมีการสะสมของไฮโดรเจนในถังหมักกรดทำให้เกิดความหลากหลายของการผลิตกรดไขมันระเหย เปลี่ยนจากกรดอะซิติกเป็นกรดไขมันระเหยที่มีสายโซ่ยาวขึ้น
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและควบคุมระบบสูง

2.9.3 เทคนิคในการแยกวัฏภาคออกเป็นสองขั้นตอน

จุดประสงค์การแยกออกเป็นสองวัฏภาคการสร้างกรดไขมันระเหยและวัฏภาคการสร้างมีเทนเพื่อให้มีแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทนในปริมาณที่พอเหมาะในถังหมักแต่ละถังเพื่อให้อัตราการสร้างกรดและการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด โดยการควบคุมถังหมักแต่ละถังแยกจากกัน อย่างไรก็ตามในถังหมักกรดไม่มีแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนอยู่แต่ในทางกลับกันในถังหมักมีเทนยังคงมีแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดร่วมอยู่ด้วย แต่มิได้เป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในถังหมักกรดและถังหมักมีเทนตามลำดับแต่เทคนิคที่เหมาะสมที่สุด คือ การควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์โดยการใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ในถังหมักกรดสูง (ระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่ำ) ส่วนในถังหมักมีเทนนั้นให้ใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำกว่าในถังหมักกรด (ระยะเวลาเก็บน้ำเสียนานกว่า)

2.9.4 ลักษณะการทำงานของระบบหมักแบบสองขั้นตอน

เนื่องจากความแตกต่างในลักษณะการเจริญเติบโต อาหารที่ต้องการและภาวะในการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทน จึงต้องมีการแยกการย่อยออกเป็น 2 ขั้นตอน ในระบบประกอบด้วยถังหมักจำนวน 2 ถัง ต่ออนุกรมกันโดยในแต่ละถังจะมีการควบคุมอย่างดีและมีการควบคุมภาวะต่างๆรวมทั้งอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มเพื่อให้แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มสามารถทำงานได้ดีขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยในถังแรกหรือถังหมักกรดจะควบคุมภาวะให้เหมาะสมสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด เกิดการย่อยสลายในขั้นตอน ไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดได้กรดไขมันระเหยเป็นผลิตภัณฑ์ และแก๊สไฮโดรเจน ส่วนในถังหมักที่สองหรือถังหมักมีเทนมีการควบคุมภาวะให้เหมาะสมสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทนโดยใช้กรดไขมันระเหยจากถังหมักกรดเป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนได้แก๊สชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ ตะกอนแบคทีเรียที่ออกจากถังหมักกรดจะถูกนำกลับมาใช้ในถังหมักมีเทนอีก

เนื่องจากในขั้นตอนแรกได้กรดไขมันระเหยเป็นผลิตภัณฑ์ ในบางครั้งจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าพีเอชในถังหมักมีเทน มิฉะนั้นถ้าค่าพีเอชต่ำเกินไปจะมีผลไปยังยังการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนได้ การควบคุมพีเอชสามารถทำได้โดยการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ อย่างไรก็ตามการปรับค่าพีเอชโดยการเติมสารเคมีนั้นไม่เหมาะสมเพราะนอกจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีแล้วยังอาจทำให้ค่า

พีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังหมักมีเทนสูงเกินไปซึ่งมีผลไปยังการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนด้วยเช่นกันดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

1. *ถังหมักกรด* เกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดอินทรีย์เป็นสำคัญผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ คือ กรดไขมันระเหย ซึ่งองค์ประกอบของไขมันระเหยที่ได้ขึ้นอยู่กับภาวะในการทำงาน โดยทั่วไปกรดไขมันระเหยที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทริก เป็นส่วนใหญ่และมีกรดไขมันระเหยมวลโมเลกุลสูงอื่นๆ เช่น กรดวาเลริก และกรดคาร์โพรอิก บ้างเล็กน้อยในขั้นตอนหมักกรดนั้นจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทนถูกยับยั้ง โดยการใช้ระยะเวลาพักเก็บสั้นและอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงๆ การลดระยะเวลาพักเก็บลงจะเป็นผลให้สัดส่วนของกรดไขมันระเหยที่มีโมเลกุลสูงในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดอยู่ในช่วงที่เป็นกรด 4.0-6.5 โดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพในการทำงาน

2. *ถังหมักมีเทน* เกิดปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทนซึ่งมีปฏิกิริยาหลัก 2 ปฏิกิริยา คือเกิดจากปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์จากถังหมักกรดกับแบคทีเรียได้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ และเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจนได้มีเทนและน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทนนั้นช้ากว่าในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดอินทรีย์มาก ในการทำงานจึงต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่กว่าระยะเวลาพักเก็บนานกว่าในถังหมักกรด ปฏิกิริยาต่างๆในถังหมักมีเทนสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องเนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นแก๊สซึ่งจะถูกดึงออกจากถังหมักตลอดเวลา สำหรับแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนในถังหมักมีเทนนั้นควรใช้แบคทีเรียหลายชนิดรวมกัน เนื่องจากแบคทีเรียแต่ละชนิดมีข้อจำกัดในการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกัน แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชสูง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางเสมอ