

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ

2.1.1 หลักการและกลไกในการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เป็นกระบวนการบำบัดแบบชีวภาพในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้อะไรคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน จะย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการประกอบด้วยมีเทนคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ (Polpasert 1989) ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ



กระบวนการนี้จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าทำให้ระบบเริ่มต้นได้ช้าอีกทั้งประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time, HRT) นานขึ้น ระบบจึงอาจจะมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ระบบยังมีการปรับตัวไม่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และในระหว่างการกำจัดบางครั้งอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นอีกด้วย ทำให้มีกลิ่นเหม็น ระบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยมนักในอดีต แต่มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนดังนี้

- ในปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ประมาณ 80-90% จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซมีเทน นี้สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในการหุงต้ม ให้แสงสว่าง เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตาในการผลิตไอน้ำในหม้อไอน้ำ ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันบางส่วน ตลอดจนใช้ในการผลิตไฟฟ้า

- กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์น้อยมาก เมื่อเทียบกับระบบแบบใช้ออกซิเจนที่สารอินทรีย์ประมาณ ร้อยละ 50 ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงลดปัญหาในการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินได้

- การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความต้องการปริมาณอาหารเสริมในรูปของ BOD: N: P เป็น 100: 1.1: 0.2 ซึ่งน้อยกว่าระบบแบบใช้ออกซิเจนที่ต้องการค่า BOD: N: P เป็น 100: 5: 1 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเติบโตของแบคทีเรียมีค่าต่ำ

- กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่ต้องการออกซิเจน เนื่องจากระบบนี้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมอากาศให้กับระบบ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศที่จำเป็นสำหรับกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนลงได้มาก

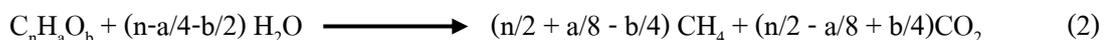
- กระบวนการนี้สามารถย่อยสลาย Xenobiotic Compounds เช่น Chlorinated aliphatic hydrocarbon ประเภท Trichloroethylene, Trihalomethanes และ Recalcitrant compounds ประเภท Lignin สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อเสียบางประการคือ

- เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาย่อยสลายนานกว่ากระบวนการแบบใช้ออกซิเจน
- เป็นกระบวนการที่ล้มเหลวได้ง่ายโดยสารพิษต่างๆ
- การ Start Up ต้องใช้เวลานาน
- ในการย่อยสลาย Xenobiotic Compounds แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการ Co-Metabolism ต้องการ Primary Substrates ความเข้มข้นสูงๆ

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน แต่มีผู้สนใจในการนำมาใช้จำนวนมาก เนื่องจากก๊าซมีเทนที่ได้ในผลผลิตสุดท้ายสามารถที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานได้เป็นอย่างดี

2.1.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักดังแสดงในสมการ (Buswell และ Muelser, 1952)



ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนแรกซึ่งสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Organic Compound) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะถูกย่อยสลายทำให้เป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายๆ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งจะถูกละลายโดยเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากแบคทีเรียพวก Hydrolytic Organisms ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ช้าโดยเฉพาะถ้ามีไขมันหรือสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อยู่มาก และในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดปริมาณของค่าซีโอดีของน้ำเสียลง

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

เป็นขั้นตอนเปลี่ยน Hydrolysis Product ให้เป็นกรดไขมันและแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ในขั้นตอนนี้สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ถูกสร้างขึ้นมาในตอนแรก จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของแบคทีเรียพวก Facultative และ Obligate Anaerophs โดยกระบวนการหมัก (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาของกระบวนการหมัก มีทั้งอยู่ในรูปออกซิไดซ์ และรีดิวซ์ ในรูปออกซิไดซ์ ส่วนใหญ่จะเป็นกรดที่ระเหย (Volatile Acid) เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) แบคทีเรียกลุ่มนี้เติบโตได้รวดเร็วมี Minimum Doubling Time ประมาณ 30 นาที ส่วนผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์มีอยู่หลายอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและตัวรับอิเล็กตรอน เช่น เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanol) บิวทานอล (Butanol) หรือ กรดแลคติก (Lactic Acid) เป็นต้น นอกจากนี้แบคทีเรียจำพวก Acetogenic Bacteria ยังสามารถสร้างกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนได้จากกรดระเหยที่มีขนาดใหญ่กว่ากรดอะซิติก หรือผลปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ตัวอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาตอนแรก การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถเกิดได้ 2 ที่คือ

- การย่อยสลายภายนอกเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์นี้จะเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียพวก Fermentative Bacteria ซึ่งจะปล่อยเอนไซม์ออกจากเซลล์ เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และลิวทิฟิเคชัน กับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ให้อยู่ในรูปที่เซลล์ของแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ตัวอย่างเช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน กลูโคส และกรดไขมันตามลำดับ

- การย่อยสลายภายในเซลล์

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ผ่านการย่อยภายนอกเซลล์มาแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียเพื่อทำการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งผลสุดท้ายจะได้กรดระเหยโมเลกุลต่ำ เช่น พวกกรดอะซิติก กรด โพรไพโอนิก เป็นต้น ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดกรดเรียกว่าแอซิโดจีนีซิส (Acidogenesis)

การย่อยสลายในขั้นตอนที่ทำให้เกิดกรดนี้ จะไม่มีการลดการะสารอินทรีย์ของน้ำเสีย นอกจากมีการสร้างไฮโดรเจน เนื่องจากอิเล็กตรอนในสารอินทรีย์จะถูกส่งให้กับสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ในน้ำเสีย แต่เมื่อมีการสร้างไฮโดรเจน อิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับไฮโดรเจนไอออน เปลี่ยนเป็นก๊าซออกจากระบบ ทำให้สภาวะออกซิเดชันลดลง ซึ่งเป็นการลดการะสารอินทรีย์ ดังสมการต่อไปนี้



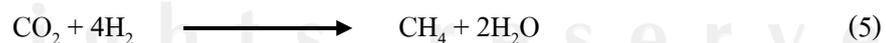
ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนนี้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) จะทำหน้าที่ย่อยสลายผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดการะสารอินทรีย์และได้ก๊าซมีเทนขึ้น

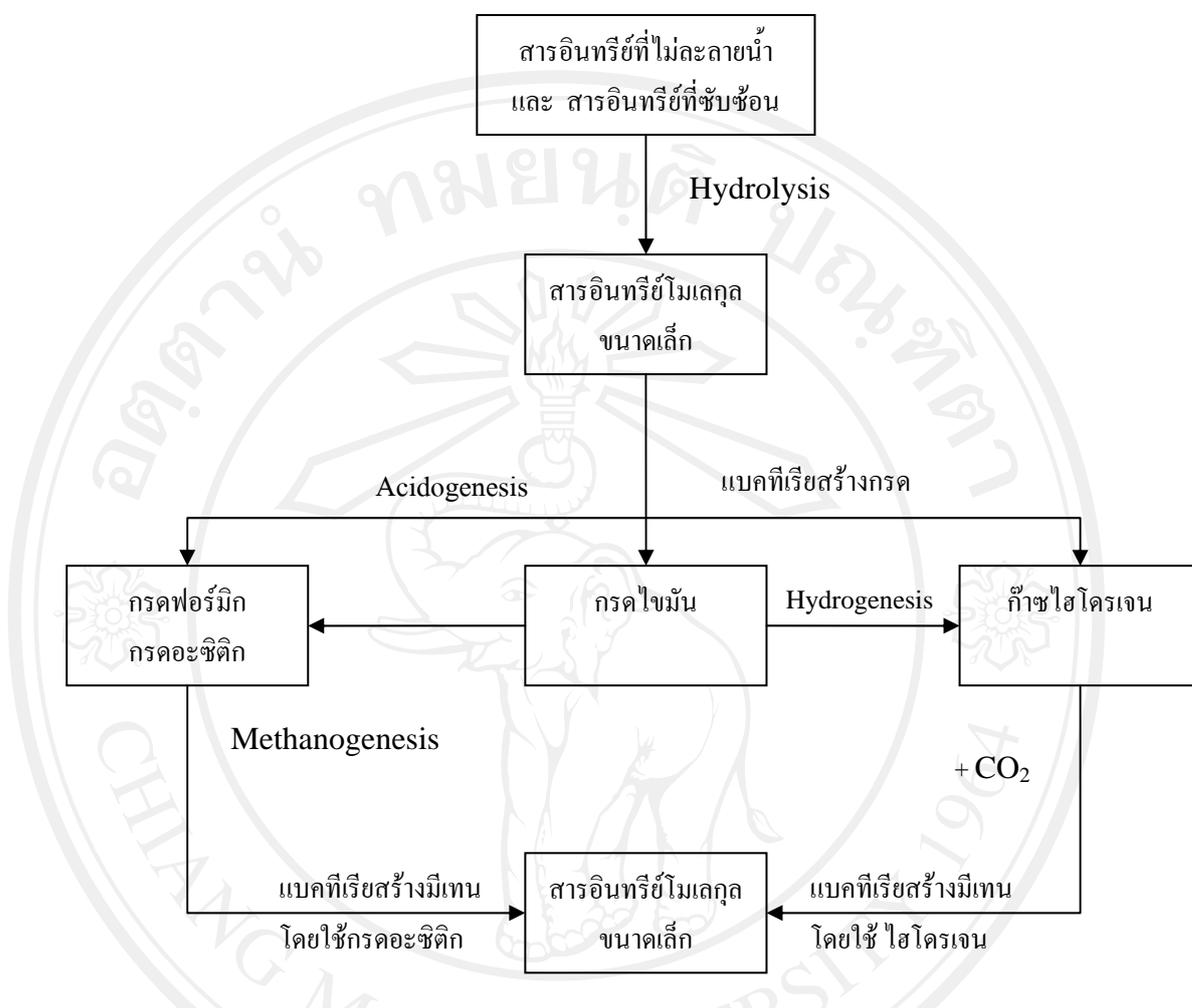
กลไกการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่จะมาจากปฏิกิริยาชีวเคมีของการย่อยสลายกรดอะซิติกดังสมการต่อไปนี้



นอกจากนี้ยังมีก๊าซมีเทนเกิดมาจากปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ พลังงานที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ประมาณ 90% จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทน หรือประมาณได้ว่า 1 กิโลกรัมของชีโอดีที่ถูกกำจัดจะให้ก๊าซมีเทน 0.31 – 0.44 ลูกบาศก์เมตร โดยมีสัดส่วนมีเทนในรูปก๊าซชีวภาพประมาณ 60–75%



รูปที่ 2.1 ลักษณะขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน(มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

2.1.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น มีเทน และคาร์บอน ไดออกไซด์ อาศัยการทำงานสัมพันธ์กันของแบคทีเรีย 4 กลุ่ม ดังนี้

1. Hydrolytic Bacteria

แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนกลุ่มนี้ ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน ไปเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กลูโคส และกลีเซอรอล การย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ถูก Catalyzed โดย Extracellular Enzyme เช่น ไลเปส โปรตีเอส และเซลลูเลส การย่อยสลายขั้นตอนนี้เป็นไปได้ช้าและมีข้อจำกัดในการย่อยสลายของเสียบางประเภท เช่น ของเสียจำพวกเซลลูโลส ที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ

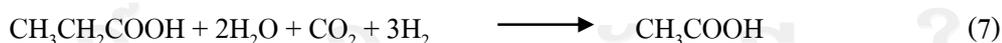
2. Fermentative Acidogenic Bacteria

Acidogenic หรือ Acid Forming Bacteria ย่อยสลายน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันไปเป็นกรดอินทรีย์ อะซิเตท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน อะซิเตทเป็นผลิตภัณฑ์หลักของการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต รูปแบบของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงตามชนิดของแบคทีเรียและสภาวะที่เชื้อเจริญ เช่น อุณหภูมิ พีเอช และ Redox Potential

3. Acetogenic Bacteria หรือ Acetate-H₂ Producing Bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้ย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยและแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอะซิเตท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำในการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหย แต่ที่ภายใต้สภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนสูงทำให้การเกิดอะซิเตทลดลง และสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรไพโอนิก บิวทีริก และเอทานอลมากกว่ามีเทน ทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้น ค่าพีเอชของระบบลดลง เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ Methanogens แต่ในทางกลับกัน Acetogenic Bacteria และ Methanogens มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาทวิภาค (Symbiosis Relationship) Methanogens ทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ ทำให้มีค่าความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำเหมาะสมต่อการทำงานของ Acetogenic Bacteria

การย่อยสลาย เอทานอล โพรไพโอนิก และบิวทีริก ได้เป็นกรดอะซิติกโดย Acetogenic Bacteria เป็นดังสมการ



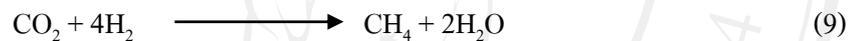
Acetogenic Bacteria เจริญเติบโตได้เร็วกว่า Methanogenic Bacteria มาก โดย Acetogenic Bacteria มี μ_{\max} ประมาณ 1 ต่อชั่วโมง ขณะที่ Methanogenic Bacteria มี μ_{\max} ประมาณ 0.04 ต่อชั่วโมง

4. Methanogenic Bacteria

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทำให้เกิดมีเทนเกิดขึ้น 500-800 ล้านตันต่อปี ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ Methanogenic Bacteria ที่เกิดในธรรมชาติพบในชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลอง หรือในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ Cell Envelop ของแบคทีเรีย ในแบคทีเรียชนิดแกรมบวกมี *Pseudomurein*, *Methanochondroitin* และ *Heteropolysaccharide* ส่วนเซลล์แบคทีเรียชนิดแกรมลบมีชั้นผิวเป็นไกลโคโปรตีน มีรูปร่างหลายรูปแบบเช่น Spherical Lobed Spiral Plate หรือ Rod เจริญเติบโตได้ช้า ระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า อยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 วัน (ที่ 35 องศาเซลเซียส) ถึง 50 วัน (ที่ 10 องศาเซลเซียส)

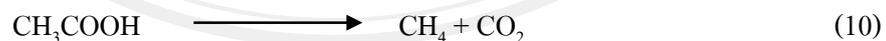
Methanogenic Bacteria แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

- Hydrogenotrophic Methanogens หรือ Hydrogen Utilizing Chemolithotrophs เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นมีเทน ดังสมการ



Methanogens กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญ โดยช่วยคงสถานะของระบบให้มีระดับความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ ซึ่งจำเป็นสำหรับการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ไปเป็นอะซิเตท

- Acetotrophic Methanogens หรือ Acetate Splitting Bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



Methanogens กลุ่มนี้แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ *Methanosarcina sp.* และ *Methanotherix sp.* การย่อยสลาย Lignocellulosic Waste ในช่วง Thermophilic (58 องศาเซลเซียส) พบว่าใน 4 เดือนแรก *Methanosarcina sp.* เป็น Acetotrophic Bacteria หลักที่พบมากในถังปฏิกรณ์ ต่อมา *Methanosarcina sp.* (μ_{\max} 0.3 ต่อวัน; $K_s = 200$ mg/L) ถูกแทนที่โดย *Methanotherix sp.* (μ_{\max} 0.1 ต่อวัน; $K_s = 30$ mg/L) ซึ่งสมมติฐานได้ว่าเป็นผลเนื่องจาก *Methanotherix sp.* มีค่า K_s ของอะซิเตทต่ำกว่า ประมาณ 2 ใน 3 ของมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตทโดย Acetotrophic Methanogens และ 1 ใน 3 เป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดย Hydrogenotrophic Methanogens

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนอกจากการที่น้ำเสียในถังปฏิกรณ์ต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ปัจจัยที่มีผลต่อระบบสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ความเป็นด่าง สารพิษ สารยับยั้งและลักษณะของของเสีย กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเดินระบบ ได้แก่ การกวน เวลาพักเก็บ และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์

1. ค่าพีเอช

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะมีความไวต่อค่าพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ จะเกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 6.5 – 7.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7.0 (Diaz et al, 1993) ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด สามารถอาศัยอยู่ในสภาพที่มีค่าพีเอช 5.0 – 8.0 และยังสามารถทำงานได้ที่พีเอช 6.0 – 6.5 นอกจากนี้ ค่าพีเอชยังส่งผลทางอ้อมต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน โดยมีค่าพีเอชจะส่งผลต่อรูปอ็อกซิเจนของสารต่างๆ เช่น Volatile Fatty Acid, แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในการออกแบบบางครั้งได้แยกขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถย่อยสลายน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นไฟเบอร์บางส่วนก่อน เช่นการหมักขยะอินทรีย์เป็นต้น

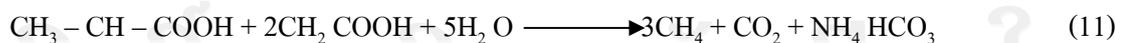
2. สภาพความเป็นกรด (Acidity) และความเป็นด่าง (Alkalinity) ของระบบ

สภาพความกรดและความเป็นด่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อการทำงานของแบคทีเรียในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียสองพวกทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ถ้าระบบมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย 8000 – 10000 mg/L ในรูปของกรดอะซิติกจะเป็นพิษต่อระบบถึงหมักโดยตรง ดังนั้นในการรักษาสมดุลของระบบ ปริมาณการสร้างกรดจะต้องเท่ากันกับอัตราการใช้ไปเพื่อสร้างมีเทน แต่ถ้ามีการสร้างกรดไขมันระเหยมากเกินไป จะส่งผลให้พีเอชของระบบต่ำ เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นปัญหาที่มักเกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ การสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งจะทำให้พีเอชลดลงถ้าระบบไม่มีสภาพบัฟเฟอร์เพียงพอ

สภาพความเป็นด่างในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ โดยจะมีหน้าที่ในการสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมันระเหยในระบบเพื่อให้พีเอชเป็นกลาง ดังนั้นสภาพความเป็นด่างน้อยที่สุดที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชจะเท่ากับปริมาณด่างไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิกรวมกับปริมาณด่างไบคาร์บอเนตเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหย

สำหรับปริมาณต่างที่ต้องการเพื่อใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิกจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายจะสอดคล้องกับความดันแยกส่วน (Partial Pressure) ของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งหากถึงปฏิกิริยาที่มีการระบายก๊าซที่ดี การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไม่มาก ย่อมทำให้ความต้องการต่างเพื่อสะเทินกรดคาร์บอนิกมีค่าไม่สูงนักหรือค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ส่วนปริมาณต่างเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหยจะมีค่าเท่ากับปริมาณกรดไขมันระเหยเนื่องจากจำนวน โมลที่เข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยและด่างไบคาร์บอเนตเป็นแบบ 1 ต่อ 1

ในบางครั้งการหาปริมาณต่างที่ต้องการจากปริมาณกรดระเหยและกรดคาร์บอนิกในน้ำอาจทำให้การควบคุมระบบทำได้ล่าช้า แก้ไขปัญหาได้ไม่ทันท่วงที ดังนั้นอาจประเมินปริมาณต่างที่ต้องการเติมจากสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยและปริมาณต่างที่มีอยู่ในระบบ โดยถ้าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนต (VFA/Alk) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พี่เอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว นอกจากจะเปรียบเทียบในรูปของกรดไขมันระเหยกับความเป็นด่าง การควบคุมปริมาณบัฟเฟอร์ในระบบอาจจะวัดในรูปความเป็นด่างกับซีโอดี โดยสัดส่วนระหว่างความเป็นด่างกับซีโอดีน้ำเข้า (Alk/COD) ไม่ควรต่ำกว่า 0.4 แต่การวัดในรูปของสัดส่วนดังกล่าวไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่ากับกับในรูปแบบแรก สภาพความเป็นด่างภายในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาได้จากหลายแหล่ง ตัวอย่างของสภาพความเป็นด่างที่ได้ อาจจะมาจกเกลือของแอมโมเนีย เช่น แอมโมเนียม ไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) และแอมโมเนีย อะซิเตท ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ดังสมการด้านล่าง ซึ่งกลไกดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เองเนื่องจาก Alanine และ Glycine จะมีอยู่ในน้ำเสียที่มีโปรตีนผสมอยู่



Alanine



Glycine

Bicarbonate Alkalinity

และถ้ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ แอมโมเนียม ไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอชโดยจะทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ซึ่งจะลดสภาพความเป็นกรดลงเนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยดังสมการต่อไปนี้





จากสมการถ่าน้ำที่มีปริมาณของไนโตรเจนอย่างเพียงพอและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์แล้วจะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะเป็นบัฟเฟอร์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรด และจะได้แอมโมเนียมอะซิเตท ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งแอมโมเนียมอะซิเตทนี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ให้กลายเป็นมีเทนต่อไป โดยจะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับคืนมา

แต่ถ้าปริมาณของไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ระเหยแล้ว จะทำให้ได้กรดอินทรีย์ระเหยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้พีเอชต่ำลงจนกระทั่งแบคทีเรียทำให้เกิดก๊าซมีเทนไม่สามารถย่อยสลายแอมโมเนียมอะซิเตทได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพีเอชยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย โดย McCarty (1964) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและปริมาณไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม พบว่าความเป็นด่างไม่ควรต่ำกว่า 1,000 mg/L ในรูปของ CaCO_3 เพื่อป้องกันไม่ใช้พีเอชต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ

3. อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

ช่วง Thermophilic ในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 65 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Thermophilic Bacteria

ช่วง Mesophilic จะมีอุณหภูมิประมาณ 20 – 45 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงนี้ว่า Mesophilic Bacteria

ช่วง Psychrophilic จะมีอุณหภูมิประมาณ 5 – 15 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงนี้ว่า Psychrophilic Bacteria

สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ช่วงการทำงานของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วง Mesophilic และ Thermophilic โดยในช่วง Thermophilic การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วง Mesophilic ทั้งในแง่ของการสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วง Mesophilic

ประมาณ 20 – 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสำหรับในต่างประเทศที่อยู่ในเขตหนาวจึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำทิ้ง แต่สำหรับประเทศไทยนั้นระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วง Mesophilic ได้เอง โดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย แม้ว่าประสิทธิภาพของระบบในช่วง Mesophilic จะดีกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบกับเรื่องของค่าใช้จ่ายจะพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนจะแพงมาก ทำให้ไม่นิยมที่จะออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วง Thermophilic อย่างไรก็ตามเนื่องจากการย่อยสลายภายในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิกสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งอาจเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม ดังนั้นสำหรับของเสียที่มีองค์ประกอบเป็นของแข็งมากสถานะเทอร์โมฟิลิกอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นได้

เนื่องจากแบคทีเรียจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2 – 3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าจะให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด ในการออกแบบระบบจึงควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมาก

4. สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีส่วนที่เป็นพิษอยู่ ซึ่งสารที่เป็นพิษอาจอยู่ได้ทั้งในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ทั้งนี้ผลของสารพิษอาจจะมีตั้งแต่พิษโดยตรง (Toxic) ไปถึงแค่เพียงยับยั้ง (Inhibit) การทำงานของแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของสารพิษที่มีต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจะมีความไวต่อสิ่งที่มีารบกวน ความรุนแรงของพิษหรือการยับยั้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นๆ อย่างไรก็ตามในบางกรณีสารเหล่านั้นก็อาจกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้หากมีความเข้มข้นที่พอเหมาะ สารที่เป็นพิษหรือยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็นกลุ่มๆ ดังต่อไปนี้

พิษของอออนบวก

อออนบวกที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปจนเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ ระดับความเป็นพิษของอออนบวกต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งไอออนบวก (McCarty, 1964)

ชนิดของไอออนบวก	ความเข้มข้น (mg/L)		
	กระตุ้น	ยับยั้งปานกลาง	ยับยั้งมาก
Na ⁺	100 – 200	3,500 – 5,500	>8,000
K ⁺	200 – 400	2,500 – 4,500	>12,000
Ca ²⁺	100 – 200	2,500 – 4,500	>8,000
Mg ²⁺	75 - 150	1,000 – 1,500	>3,000

พืชของไอออนสามารถลดความเป็นพิษลงได้ (Antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พืชของ Na⁺ มีความเข้มข้น 3,500 mg/L สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg²⁺ และ Ca²⁺ ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 – 1,000 mg/L แต่ในทางตรงกันข้าม ไอออนบางชนิดจะไปเพิ่มความเป็นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน (Synergism) โดยการลดหรือเพิ่มความ เป็นพิษของไอออนแต่ละชนิดแสดงได้ตามตารางที่ 2 (ก) และ(ข)

ตารางที่ 2.2 (ก) การเพิ่มความ เป็นพิษของไอออนแต่ละชนิด (Kugelman and Chin, 1971)

ไอออนที่เป็นพิษ	ไอออนเสริมความเป็นพิษ
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Calcium, Magnesium, Potassium
Calcium (Ca ²⁺)	Ammonium, Magnesium
Magnesium (Mg ²⁺)	Ammonium, Calcium
Potassium (K ⁺)	None
Sodium (Na ⁺)	Ammonium, Calcium, Magnesium

ตารางที่ 2.2 (ข) การลดความเป็นพิษของอออนแต่ละชนิด (Kugelman and Chin, 1971)

อออนที่เป็นพิษ	อออนลดความเป็นพิษ
Ammonium (NH_4^+)	Sodium
Calcium (Ca^{2+})	Sodium, Potassium
Magnesium (Mg^{2+})	Sodium, Potassium
Potassium (K^+)	Ammonium, Calcium, Magnesium
Sodium (Na^+)	Sodium
	Potassium

พิษของโลหะหนัก

ได้แก่ แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), แคดเมียม (Cd), นิกเกิล (Ni), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) ซึ่งจะอยู่ในน้ำทิ้งในรูปของอออน ทั้งนี้โลหะหนักที่มักพบแสดงได้ดังตารางที่ 3 โดยทองแดง (Cu^{2+}) จะมีผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด ทั้งนี้ค่าความเป็นพิษของสารประกอบโลหะหรืออออนโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับระดับพลังศักย์ทางไฟฟ้า ค่าพีเอชและ Ionic Strength ของระบบ เนื่องจากโลหะหนักแต่ละชนิดสามารถที่จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมโมเนีย คาร์บอเนต ซัลไฟด์ และฟอสเฟตได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากในการประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด ดังนั้นความเป็นพิษของโลหะหนักบางตัวซึ่งได้มาจากการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3 และเมื่อวิเคราะห์ถึงตำแหน่งต่างๆ ที่โลหะหนักสะสมอยู่สามารถแสดงไว้ดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามแม้ว่าโลหะหนักจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนแต่โลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม ยกตัวอย่างเช่นนิกเกิลหรือโคบอลต์เป็นต้น

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์พอเหมาะเพราะว่าซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ ยกเว้นโครเมียมเนื่องจากโครเมียมที่มีประจุบวกหก (Cr^{6+}) จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียมที่มีประจุบวกสาม (Cr^{3+}) ซึ่งในพีเอชทั่วไปของระบบถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนโครเมียมจะไม่ละลายน้ำจึงไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ ในการใช้ซัลไฟด์ในการลดความเป็นพิษของโลหะหนักโดยปกติจะใช้ซัลไฟด์ 0.5 มิลลิกรัม ในการตกตะกอนโลหะหนัก 1.0 มิลลิกรัม แต่การเติมซัลไฟด์อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบเนื่องจากตัวซัลไฟด์เอง สำหรับการควบคุมไม่ให้เกิดพิษเนื่องจากการเติมซัลไฟด์ลงไปมากเกินไป อาจทำได้สองวิธีด้วยกัน โดยวิธีแรกให้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน

ก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่องและทำการหยุดเติมซัลไฟด์ทันทีเมื่อตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ใช้อิเล็กโทรดแบบ Silver – Silver Sulfide วัดปริมาณของซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยจะวัดออกมาในรูปของ pS

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่สามารถยับยั้งการทำงานของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Mignone, 2005)

โลหะหนัก	ความเข้มข้น, (mg/L)
Arsenic (As)	0.5 – 1.0
Cadmium (Cd)	0.01 – 0.02
Chromium (Cr ⁶⁺)	1.0 – 1.5
Copper (Cu ²⁺)	0.5 – 1.0
Nickel (Ni ²⁺)	1.0 – 2.0
Zinc (Zn ²⁺)	0.5 – 1.0

ตารางที่ 2.4 โลหะหนักแต่ละชนิดที่ต้องใช้ในการพิจารณาพิษของโลหะหนักในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (USEPA, 1981)

พบมาก	พบบ่อย	ไม่ค่อยพบ
Cadmium (Cd ²⁺)	Arsenic (As)	Aluminium (Al)
Chromium (Cr ⁶⁺)	Iron (Fe)	Cobalt (Co)
Copper (Cu ²⁺)	Manganese (Mn)	Molybdenum (Mo)
Lead (Pb ²⁺)	Mercury (Hg)	Selenium (Se)
Nickel (Ni ²⁺)	Silver (Ag)	Tin (Sn)
Zinc (Zn ²⁺)		

พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมามากเกินไป เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ หรือ อาหารเข้ามามากแบคทีเรียจะผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังของบัพเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดผลิตมีเทนได้ แต่ถ้า

ระบบมีกำลังบำบัดเพอร์ที่ตีที่สามารถรักษาพีเอชให้เป็นกลางได้จะพบว่าแม้กรดไขมันระเหยมีปริมาณมากก็จะไม่เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย

5. การกวน (Mixing)

การกวนเป็นการทำให้ส่วนผสมที่อยู่ในระบบมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง ทำให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันมิให้มีการแยกชั้นของของเสีย ซึ่งการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบ โดยสลัดจ์ลอยค้ำบนสุดซึ่งมีการสะสมตัวของของเสียที่มีความหนาแน่นต่ำ การสะสมตัวของชั้นสลัดจ์ลอยจะลดประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในระบบ ในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดชั้นสลัดจ์ลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบ หากระบบมีความเข้มข้นของแข็งต่ำ และมีสัดส่วนของสารที่มีเส้นใยอยู่ไม่มากก็สามารถใช้การหมุนเวียนของเหลวหรือก๊าซในถังหมักมากวนส่วนผสมในระบบได้ ทั้งนี้หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของสลัดจ์ลอยค่อนข้างสูง ก็จำเป็นต้องใช้การกวนโดยใช้เครื่องมือทางกล เช่น ใบพัด หรือการหมุนถังหมักรอบแกนหมุน เป็นต้น

6. เวลาเก็บกัก (Retention Time)

เวลาเก็บกักในระบบของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความหมายถึง เวลาเก็บกักจุลชีพ (Solid Retention Time, SRT) หรือเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT) อยู่ในถังหมักจนกระทั่งออกมาจากระบบ ซึ่งการควบคุมระบบมักเลือกใช้ค่าเวลาการเก็บกักค่าใดค่าหนึ่ง การควบคุมค่าเวลาเก็บกักในการเดินระบบมีความสำคัญคือ ถ้าเวลาเก็บกักยาวนานเกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองเนื่องจากต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่เกินความจำเป็น นอกจากนี้เวลาเก็บกักขึ้นกับความยากง่ายในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ หากสารอินทรีย์ย่อยสลายยากเวลาเก็บกักที่นานขึ้นจะช่วยให้เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากใช้เวลาเก็บกักสั้นเกินไป แบคทีเรียก็จะเจริญเติบโตไม่ทัน เกิดการชะแบคทีเรียออก ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมเวลาเก็บกักที่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีปริมาณคงที่ ระยะเวลาเก็บกักเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในระบบและลักษณะของของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ รวมไปถึงชนิดของแบคทีเรียในระบบเป็นสำคัญ

7. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

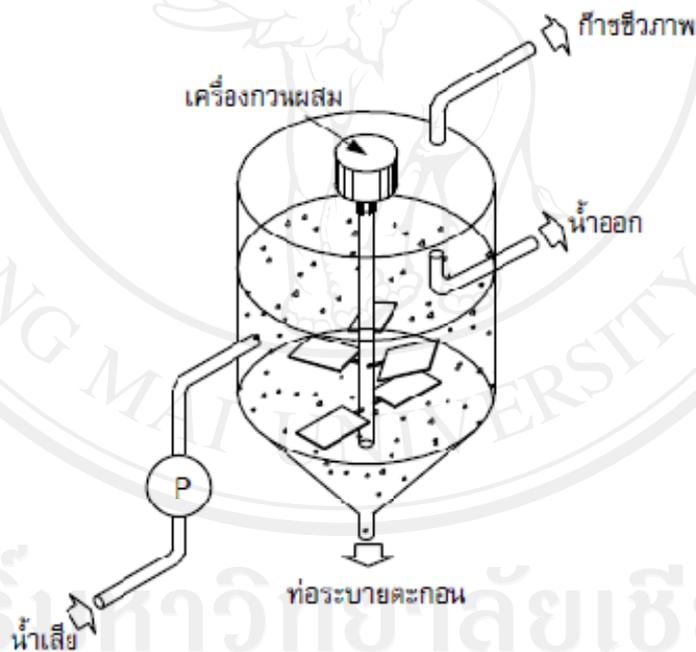
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียต้องมีอยู่อย่างพอเหมาะกะกับปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงเวลาหนึ่งจึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจาก

แบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย

2.2 ระบบถังหมักกวนผสม (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR, หรือ Complete-Mix Reactor)

2.2.1 หลักการทำงานของระบบ

1. องค์ประกอบของระบบ ระบบถังแบบกวนผสมหรือซีเอสทีอาร์ นิยมมีทั้งรูปทรงกระบอก สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือคylinder มีลักษณะทางศาสตร์แบบกวนผสม เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งถัง และไม่มีการหมุนเวียนเซลล์แบคทีเรียกลับเข้าระบบ (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมระบบถังกวนผสม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

ระบบนี้มีเวลาเก็บกักน้ำ เท่ากับเวลาเก็บกักของแข็ง เพื่อให้มีจำนวนเซลล์แบคทีเรียมากพอในการทำปฏิกิริยา จึงต้องการเวลาเก็บกักค่อนข้างสูงเพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ทัน แบคทีเรียจะไหลออกไปกับน้ำออก ในรูปของแข็งแขวนลอยระยะเหย ด้านของถังมีฝาปิดเพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพนำไปใช้งาน การกวนเป็น ปัจจัยสำคัญของระบบเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอาหาร ป้องกันการเกิดฝ้าไข (Scum) และป้องกันการตกตะกอน การกวน

ทำได้หลายวิธีเช่น ใช้เครื่องกวนแบบเพลาแวนดั่ง ใช้เครื่องกวนแบบจุ่ม (Submersible Mixer) ใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนหรือใช้ Blower คู่อากาศชีวภาพจากด้านบนเป่าลงกวนผสม (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 รูปแบบการกวนในถังกวนสมบูรณ์ (Metcalf & Eddy, Inc., 2004)

ถังกวนสมบูรณ์ที่ใช้งานแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ดังนี้

- ถังหมักตะกอน (Sludge Digester) ระบบกลุ่มนี้ มีใช้งานจำนวนมาก ใช้หมักตะกอนจากระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Low-rate Digester ไม่มีการกวนผสม (การกวนเกิดเองจากก๊าซชีวภาพที่ลอยขึ้นเท่านั้น) สำหรับก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ระบายทิ้ง ทางท่อระบายอากาศด้านบนของถังหมัก ถังหมักตะกอนใช้เพื่อย่อยสลายตะกอน ส่วนใหญ่มีการดูแลอย่างพอเพียงในสายตาของผู้ควบคุมระบบบำบัดถือเป็นส่วนประกอบไม่สำคัญ มักไม่มีการตรวจวิเคราะห์ใดๆ เช่น พีเอช ของแข็งแขวนลอย ฯลฯ ต่างจากระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่ได้รับการดูแลสม่ำเสมอว่า

- ถังกวนสมบูรณ์บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ระบบบำบัดกลุ่มนี้มีใช้งานน้อย ใช้บำบัดขุ่นตันน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีซีโอไซด์และของแข็งแขวนลอยสูง เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมัน ปาล์ม เป็นต้น

2.2.2 ข้อดี ข้อเสียของระบบ

ข้อดี

- ใช้งานได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และของแข็งแขวนลอยสูง
- รักษาความสม่ำเสมอของแบคทีเรีย สารอาหาร อุณหภูมิ และ พีเอชให้เท่ากันทั่วทั้งถังได้ดี
- ง่ายต่อการตรวจสอบการทำงาน

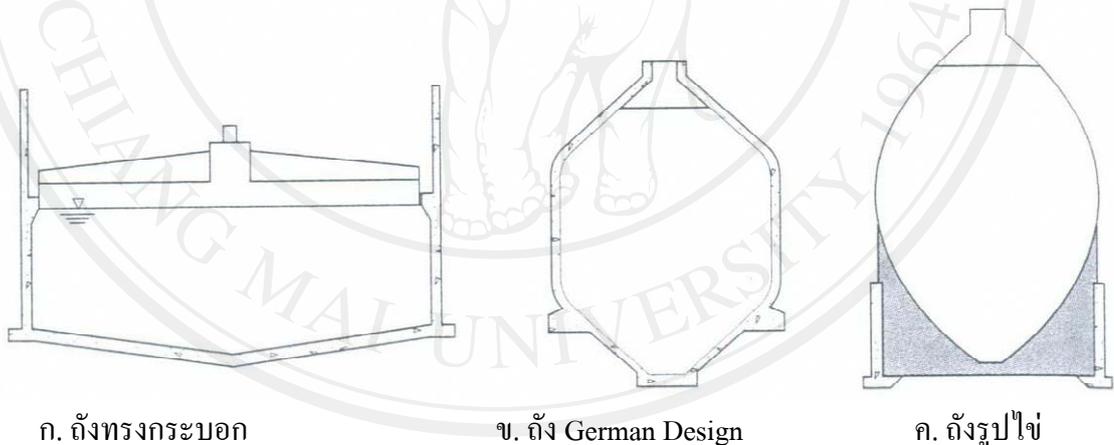
- ถ้ามีสารพิษในน้ำเข้าจะถูกเจือจางเกิดผลกระทบต่อระบบน้อย
- การกวนผสมจะลดการไหลลึกลับวงจร ป้องกันการตกตะกอนของแบคทีเรีย และป้องกันการสะสมตัวของน้ำเสียในจุดอับ

ข้อเสีย

- เวลาเก็บกักของแข็งเท่ากับเวลาเก็บกักน้ำ จึงมีปริมาตรขนาดใหญ่ทำให้ค่าก่อสร้างสูง
- มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเพื่อกวนผสม เช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุง
- น้ำออกมีของแข็งแขวนลอยสูงเพราะไม่มีระบบตกตะกอนก่อนปล่อยออก
- ไม่อาจเดินระบบที่เวลาเก็บกักของแข็งสูงๆได้ ทำให้เสถียรภาพของระบบมีขีดจำกัด

2.2.3 ข้อพิจารณาในการออกแบบ

ก. รูปทรง รูปทรงที่ดี จะช่วยให้การกวนเกิดประสิทธิภาพ ไม่มีของแข็งแขวนลอยตกตะกอนได้ง่าย มีหลายแบบดังนี้ (รูปที่ 2.4)



ก. ถังทรงกระบอก

ข. ถัง German Design

ค. ถังรูปไข่

รูปที่ 2.4 รูปทรงถังกวนผสม (Metcalf & Eddy, Inc, 2004)

ในประเทศไทย ถังหมักตะกอนนิยมรูปทรงทรงกระบอก โดยก้นถังมีความลาดชันลงกลางถัง ถังแบบนี้จะมีพื้นที่หน้าตัดมาก ทำให้เกิดคราบฝ้าใข และการตกตะกอนสะสมของ Grit สำหรับถังรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ซึ่งก่อสร้างง่ายกว่า) ควรใช้กับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำๆ ในต่างประเทศปัจจุบันนิยมใช้ถังรูปไข่ และถังทรงกระบอกที่มีก้นถังและฝาถังหน้าตัดเล็กลงเรียก German Design (คล้ายรูปไข่ แต่ก่อสร้างง่ายกว่า) ถังกลุ่มนี้ทำให้การกวนดีขึ้นและไม่เกิดฝ้าใข (Scum) ด้านบนของถัง นอกจากนี้ถังรูปทรงคลองวงเวียนที่ใช้การกวนด้วย Submersible Mixer

และมีแผ่น PVC คลุมเก็บก๊าซ ก็ใช้ได้ดี มีค่าก่อสร้างถูก แต่ต้องออกแบบให้มีความเร็วกระแสสูงพอเพียง เพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอน

ข. การกวน Metcalf and Eddy (2004) แนะนำอัตราการกวนด้วยเครื่องจักรกลในช่วง 5 -7 กิโลวัตต์/ปริมาตรบ่อ 1,000 ม³ เครื่องกวนมีทั้งแบบเพลลาอยู่ในแนวตั้ง (ติดตั้งบนฝาดัง) หรือแบบจุ่ม (Submersible Mixer) ที่มีมอเตอร์จมใต้น้ำ ทั้งนี้ผู้ผลิตเครื่องกวน มักมีเกณฑ์การออกแบบและข้อมูล รายละเอียดการติดตั้งให้อีกต่างหาก สำหรับการกวนด้วยก๊าซแนะนำอัตราการกวนผสมด้วยก๊าซ ในช่วง 4.5-5.0 ม³/(นาที่-ปริมาตรบ่อ 1,000 ม³) โดยนิยมใช้เครื่องอัดอากาศดูดก๊าซจากด้านบนเป่าลงล่าง นอกจากนี้ยังกวนได้ด้วยการใช้ปั้มน้ำสูบน้ำวนเวียน ดังรูปที่ 2.3

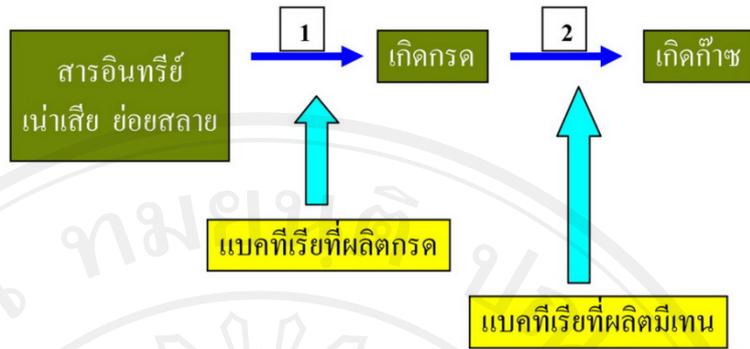
ค. วัสดุ นิยมใช้คอนกรีตเสริมเหล็กหรือเหล็กเคลือบด้วยสี Epoxy เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

ง. ฝาดัง ทำได้ทั้งแบบฝาปิดสนิท หรือฝาเหล็กที่เลื่อนขึ้นลงได้ (Floating Type Cover) ตามปริมาณและแรงดันก๊าซที่มี

จ. การเก็บก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพอาจเก็บไว้บริเวณฝาดัง หรือทำถังเก็บแยกต่างหาก ถ้าการใช้ก๊าซไม่สม่ำเสมอ เช่น 8 ชม./วัน ต้องทำถังเก็บก๊าซต่างหาก ปัจจุบันวัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูก คือ บ่อคอนกรีตเสริมเหล็กตันๆ (ลึก 1 ม.) คลุมด้วยแผ่น PVC หนา 1.2 มม. หรือ 1.5 มม.

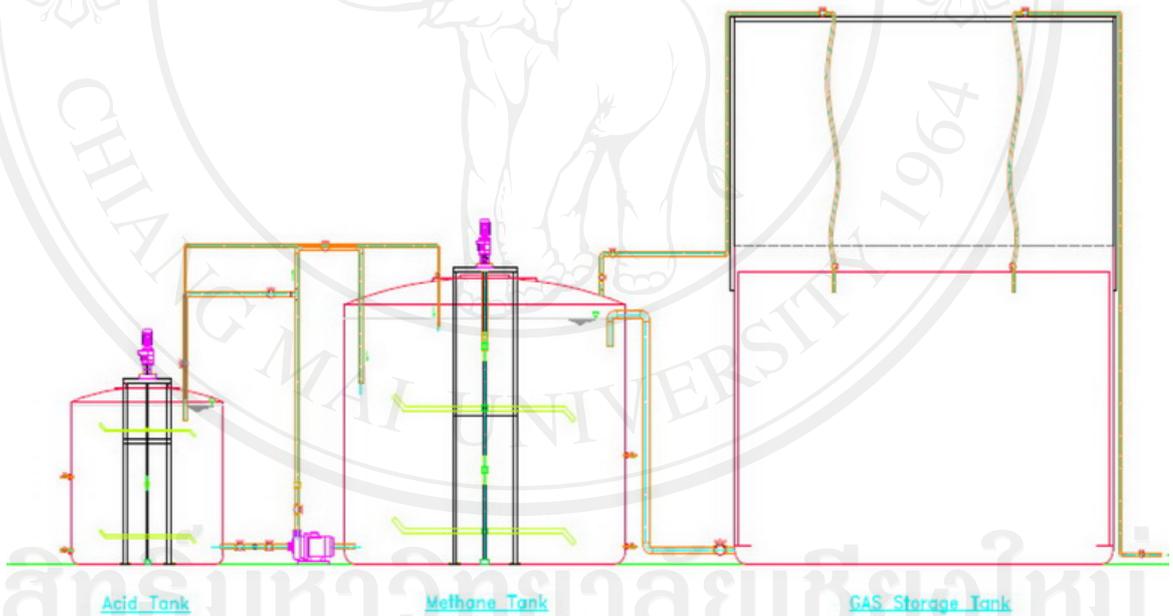
2.2.4 ถังหมัก CSTR แบบสองขั้นตอน

เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน (Two-Stage Anaerobic digestion) ประกอบไปด้วยถังปฏิกริยาสองถังแยกจากกัน ถังหนึ่งสำหรับการสร้างกรด ขณะที่อีกถังหนึ่งสำหรับการสร้างก๊าซมีเทน โดยที่สภาพแวดล้อมในถังไบแรกเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ขณะที่ไบที่สองซึ่งรับผลผลิตจากถังไบแรกได้รับการออกแบบให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน ด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแต่ละชนิด จึงทำให้ระบบนี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.5 ลักษณะขั้นตอนของปฏิกิริยาดังหมัก CSTR ไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

ด้วยกระบวนการดังหมักแบบกวนผสม CSTR ที่มีกรกวนภายในถึงอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้สารอินทรีย์ และตะกอนจุลินทรีย์ มีโอกาสสัมผัสกันอย่างทั่วถึง จึงเหมาะสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง



รูปที่ 2.6 รูปแบบดังหมัก CSTR ไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

2.3 ข้าวโพด

ข้าวโพดถูกจัดลำดับทางพฤกษศาสตร์ ดังนี้

วงศ์ (Family) กรามีนีอี (Gramineae) ซึ่งรวมพวกหญ้า ไม้ไผ่ และธัญพืชอื่น ๆ

วงศ์ย่อย (Sub-Family) ปานิคอยดีอี (Panicoideae) ซึ่งรวมข้าวฟ่าง ลูกเดือย และอ้อย

เผ่า (Tribe) เมย์ดีอี (Maydeae) ซึ่งรวมสกุล (Genus) ซี ทริพซาคัมและยูคลีนา (Zea, Tripsacum และ Euchlaena)

สกุล (Genus) ซี (Zea)

ชนิด (Species) เมย์ส (Mays)

ลักษณะทั่ว ๆ ไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก รากแรกที่ยื่นออกมาจากคัพภะ (Embryo) เป็นรากชั่วคราวเรียกว่า ไพรมารี (Primary) หรือ เซมินัล (Seminal) หลังจากข้าวโพดเจริญเติบโตได้ประมาณ 7-10 วัน รากถาวรจะงอกขึ้นรอบ ๆ ขั้วปลาย ๆ ในระดับใต้พื้นดินประมาณ 1-2 นิ้ว รากถาวรนี้ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ จะแผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 100 เซนติเมตร และแทงลึกลงไปใต้ดินแนวตั้งยาวมาก ซึ่งอาจยาวถึง 300 เซนติเมตร รากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากยึดเหนี่ยว (Brace Root) ซึ่งเกิดขึ้นรอบ ๆ ขั้วที่อยู่ใกล้ผิวดิน และบางครั้งรากพวกนี้ยังช่วยพยุงยึดพื้นดินอีกด้วย

ลำต้น ข้าวโพดมีลำต้นแข็ง ใสน้ำหนักเบา มีความยาวตั้งแต่ 30 เซนติเมตร จนถึง 8 เมตร แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ ตามลำต้นมีข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ปล้องที่อยู่ในดินและใกล้ผิวดินสั้น และจะค่อย ๆ ยาวขึ้นไปทางด้านปลาย ปล้องเหนือพื้นดินจะมีจำนวนประมาณ 8-20 ปล้อง พันธุ์ข้าวโพดส่วนมาก ลำต้นสดมีสีเขียว แต่บางพันธุ์มีสีม่วง ข้าวโพดแตกกอไม่มากนัก ส่วนมากไม่แตกกอทั้งนี้ แล้วแต่ชนิดพันธุ์และสิ่งแวดล้อม ข้าวโพดที่แตกกอได้ 3-4 ต้น เช่น ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดที่ปลูกในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมาก ๆ อาจแตกกอได้ตั้งแต่ 7-10 ต้น

ใบ ข้าวโพดมีใบลักษณะยาวรี คล้ายพืชตระกูลหญ้าทั่วไป ประกอบด้วย ตัวใบ กาบใบ และเย็บใบ ลักษณะของใบรวมทั้งสีของใบแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ บางพันธุ์ใบสีเขียว บางพันธุ์ใบสีม่วงและบางพันธุ์ใบลาย จำนวนใบก็เช่นเดียวกันอาจมีตั้งแต่ 8-48 ใบ

ดอก ข้าวโพดจัดเป็นพวกโมโนอิคีเชียส (Monoecious) คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย แยกอยู่ในต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้ (Tassel) อยู่ตอนบนสุดของลำต้น ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (Anther) 3 อับ แต่ละอับจะมีเรณูเกสร (Pollen Grain) ประมาณ 2,500 เม็ด ดังนั้นข้าวโพดต้นหนึ่งจึงมีเรณูเกสรอยู่เป็นจำนวนหลายล้าน และสามารถปลิวไปได้ไกลกว่า 2,000 เมตร ส่วนดอกตัวเมียอยู่รวมกันเป็นช่อ เกิดขึ้นตอนข้อกลาง ๆ ลำต้น ต้นหนึ่งอาจมีหลายช่อแล้วแต่ชนิดพันธุ์ ดอกตัวเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่ (Ovary) และเส้นไหม (Silk หรือ Style) ซึ่งมีความยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร และยื่นปลายไหล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุก อยู่ตรงปลายช่อดอกซึ่งมีเปลือกหุ้มอยู่ ดอกพวกนี้พร้อมที่จะผสมพันธุ์ หรือรับละอองเกสรได้เมื่อเส้นไหมไหล่ออกมา

หลังจากได้รับการผสมเส้นไหมจะแห้งเหี่ยว และรังไข่เจริญเติบโตเป็นเมล็ด ช่อดอกตัวเมียที่รับการผสมแล้วเรียกว่า ฝัก (Ear) แต่ละฝักอาจมีเมล็ดมากถึง 1,000 เมล็ด แกนกลางของฝักเรียกว่า ชัง (Cob) ปกติดอกตัวผู้จะบานพร้อมที่จะผสมก่อนดอกตัวเมีย ดังนั้นจึงเป็นพืชที่ผสมข้ามพันธุ์ (Cross-Pollination) ตามธรรมชาติมีการผสมตัวเอง (Self-Pollination) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การจำแนกทางพฤกษศาสตร์

การจำแนกแบบนี้ถือเอาลักษณะของแป้งและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นหลัก จำแนกออกเป็น 7 ชนิด คือ

(1) ข้าวโพดหัวบุบ (Dent Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อินเดนทาตา (Zea mays Indentata) เมล็ดค่อนบนมีรอยบุ๋ม เนื่องจากค่อนบนมีแป้งอ่อนและค่อนข้าง ๆ เป็นแป้งชนิดแข็ง เมื่อตากเมล็ดให้แห้ง แป้งอ่อนจะยุบหดตัวลง จึงเกิดลักษณะหัวบุบ ดังกล่าว ขนาดของลำต้น ความสูง เหมือนข้าวโพดไร่ทั่ว ๆ ไป สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง หรือสีอื่น ๆ แล้วแต่พันธุ์ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา

(2) ข้าวโพดหัวแข็ง (Flint Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อินดูราตา (Zea mays indurata) เมล็ดมีแป้งแข็งห่อหุ้มโดยรอบ หัวเรียบไม่บุบ เมล็ดค่อนข้างกลม มีปลูกกันมากในเอเชียและอเมริกาใต้ ข้าวโพดไร่ของไทยที่นิยมปลูกกันอยู่เป็นชนิดนี้ทั้งสิ้น สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง สีม่วง หรือสีอื่นแล้วแต่ชนิดของพันธุ์

(3) ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส แซคคาราตา (Zea Mays Saccharata) นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย เพื่อรับประทานฝักสด เพราะฝักมีน้ำตาลมาก ทำให้มีรสหวาน เมื่อแก่เต็มที่หรือแห้งเมล็ดจะหดตัวเหี่ยวลง เนื่องจากน้ำตาลไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแป้งได้

(4) ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อีเวอร์ธา (Zea Mays Everta) เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีแป้งประเภทแข็งอยู่ใน ภายนอกห่อหุ้มด้วยเยื่อที่เหนียวและยึดตัวได้ เมล็ดมีความชื้นภายในอยู่พอสมควร เมื่อถูกความร้อนจะเกิดแรงดันภายในเมล็ดระเบิดตัวออกมา เมล็ดอาจมีลักษณะกลมหรือหัวแหลมก็ได้ มีสีต่าง ๆ กัน เช่น เหลือง ขาว ม่วง

(5) ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส เซอราทีนา (Zea Mays Ceratina) เมล็ดมีแป้งอ่อนคล้ายแป้งมันสำปะหลัง นิยมปลูกเพื่อรับประทานฝักสดคล้ายข้าวโพดหวาน แม้จะไม่หวานมาก แต่เมล็ดนี้ม รสอร่อย ไม่ติดฟัน เมล็ดมีสีต่าง ๆ กัน เช่น เหลือง ขาว ส้ม ม่วง หรือมีหลายสีในฝักเดียวกัน

(6) ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อะมิโลเซีย (Zea Mays Amylocea) เมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมาก เมล็ดค่อนข้างกลม หัวไม่บุบ หรือบุบเล็กน้อย

นิยมปลูกในอเมริกาใต้ อเมริกากลาง และสหรัฐอเมริกา ชาวอินเดียนแดงนิยมปลูกไว้รับประทานเป็นอาหาร

(7) ข้าวโพดป่า (Pod Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส ทุนิกา (Zea Mays Tunica) มีลักษณะใกล้เคียงข้าวโพดพันธุ์ป่า มีลำต้นและฝักเล็กกว่าข้าวโพดธรรมดา ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็กเท่า ๆ กับเมล็ดข้าวโพด มีขั้วเปลือกหุ้มทุกเมล็ด และยังมีเปลือกหุ้มฝักอีกชั้นหนึ่งเหมือนข้าวโพดธรรมดาทั่ว ๆ ไป เมล็ดมีลักษณะต่าง ๆ กัน ข้าวโพดชนิดนี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปลูกไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการปลูก

อาจจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

(1) ข้าวโพดใช้เมล็ด (Grain Corn) ปลูกเพื่อเก็บเมล็ดแก้ไข้เป็นอาหารสัตว์และมนุษย์ หรือทำอุตสาหกรรมอย่างอื่น

สาหรรมอย่างอื่น

(2) ข้าวโพดหมัก (Silage Corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดมาหมักแก้ไข้เป็นอาหารสัตว์

(3) ข้าวโพดอาหารสัตว์ (Fodder Corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดไปใช้เลี้ยงสัตว์

(4) ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby Corn) ในประเทศไทยนิยมปลูกเพื่อเก็บฝักอ่อนไปใช้ในการปรุงอาหาร

2.4 พืชหมัก

พืชหมัก หมายถึง พืชชนิดต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นเหมาะสม นำมาหมักในสภาพที่เป็นสุญญากาศและเก็บถนอมไว้ในสภาพหมัก เมื่อพืชสภาพสดเปลี่ยนเป็นพืชหมัก จะสามารถเก็บไว้ได้นานโดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง พืชเกือบทุกชนิด หญ้า ต้นข้าวโพด ข้าวฟ่าง หรือธัญพืชต่างๆ รวมทั้งวัชพืชสามารถทำการหมักได้ทั้งสิ้น การที่พืชสดเปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักนั้นต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยที่สำคัญ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอยู่ตามธรรมชาติ และติดอยู่กับพืชที่จะนำมาหมัก อาจมีทั้งชนิดที่ต้องการออกซิเจน ไม่ต้องการออกซิเจน และกลุ่มที่เจริญอยู่ได้ในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์เหล่านี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในพืชที่กำลังหมักได้รับความนิยมนำมาใช้ในการถนอมพืชอาหารสัตว์สำหรับเก็บไว้ในฤดูแล้งที่มีพืชอาหารสดไม่เพียงพอ

2.4.1 ปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพของพืชหมัก

ในการทำพืชหมักมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวเนื่องและมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของพืชสดเมื่อทำเป็นพืชหมัก ดังนั้นเพื่อให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพสูงจะต้องคำนึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการทำพืชหมักควรเลือกพืชที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งหรือน้ำตาลสูงพอสมควรเพื่อเป็นอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกเจริญโดยเร็ว เป็นการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือจุลินทรีย์พวกอื่นที่ทำให้รสและกลิ่นของพืชหมักด้อยคุณภาพเจริญเติบโตได้ทัน ลักษณะของต้นพืชควรมีลำต้นเพื่อลดช่องอากาศภายในให้น้อยที่สุด ถ้าใช้พืชที่มีลำต้นกลวงทำพืชหมักจะต้องพยายามทำให้ปล้องแตกและอัดให้แน่นเพื่อให้อากาศออกให้มากที่สุด อีกประการหนึ่งควรเลือกพืชที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงเช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ซึ่งมีคุณภาพดังกล่าวแล้ว และเป็นที่ยอมรับใช้ทำพืชหมักมากกว่าพืชชนิดอื่น แต่ก็มีพืชหลายชนิดด้วยที่สามารถนำมาทำพืชหมักได้ เช่น หญ้าธูปี่ หญ้ากินนี สีม่วง หญ้าเนเปียร์ เศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนก็สามารถนำมาทำพืชหมักได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถนำถั่วอาหารคุณภาพดี เช่น ถั่วคาวาลเคด ถั่วท่าพระสไตโล มาหมักร่วมกับพืชได้ ซึ่งจะช่วยให้คุณค่าทางอาหารของพืชหมักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพืชตระกูลถั่วมีโปรตีนสูงกว่าพืช

2. เวลาในการตัดพืชมาทำพืชหมัก หมายถึง อายุของพืชที่เหมาะสมไม่แก่และไม่อ่อนจนเกินไปโดยตัดในช่วงที่พืชให้ผลผลิตสูง พร้อมทั้งยังมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอทั้งโปรตีน แร่ธาตุและวิตามิน ตัวอย่างเช่น ข้าวโพด ควรจะตัดทำพืชหมักในระยะเมล็ดกำลังเป็นน้ำนม และก่อนที่จะเริ่มแข็งตัวถ้าเป็นข้าวฟ่างควรตัดเมื่อใกล้จะมีดอกอายุประมาณ 10-11 สัปดาห์ จนถึงระยะติดเมล็ดอื่นๆ สำหรับพืชอื่นๆ ควรตัดในระยะเริ่มออก(ค่าไม่พึงประสงค์) ก อายุของพืชที่จะตัดทำพืชหมักไม่แน่นอนแต่ควรสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งต้องไม่ต่ำกว่า 25%และไม่สูงกว่า 35%

3. ความยาวของท่อนพืช เนื่องจากพืชหมักต้องอยู่ในสภาพสุญญากาศ ดังนั้นการตัดหรือสับพืชให้เป็นชิ้นจะมีผลต่อการอัดแน่นเพื่อให้อากาศออก ความยาวของท่อนพืชจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพืช เช่น ถ้าเป็นข้าวโพด ข้าวฟ่าง อาจจะตัดให้ยาวประมาณท่อนละ 1 นิ้ว หรือ 2-3 เซนติเมตร ถ้าเป็นพวกหญ้าก็ขึ้นอยู่กับลำต้นว่าอวบมากน้อยแค่ไหน หญ้าหรือพืชที่มีความชื้นน้อย ควรจะหั่นให้สั้นกว่าหญ้าหรือพืชที่มีความชื้นสูง การที่ต้องตัดพืชเป็นท่อนสั้นๆ นั้น ก็เพื่อที่จะช่วยในการอัดแน่นในถังหมักทำได้ง่ายและทำได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งเพื่อน้ำตาลถูกปล่อยออกมาได้เร็วซึ่งจะช่วยให้เกิดกรดแลคติกเร็วขึ้น เป็นผลดีต่อคุณภาพของพืชหมัก

4. ระดับความชื้นที่เหมาะสมในพีชโดยปกติแล้วพีชที่จะนำไปหมักมีความชื้นอยู่ระหว่าง 65-70 เปอร์เซ็นต์ ถ้าพีชแห้งเกินไปจะอัดให้แน่นได้ยาก ทำให้มีอากาศหลงเหลือค้างอยู่มาก เป็นผลให้เกิดเชื้อราได้ง่ายพีชหมักที่มีความชื้นต่ำจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดลดลงด้วยดังนั้นถ้าหากพีชแห้งมากไป อาจแก้ไขโดยพยายามตัดเป็นท่อนสั้น ๆ หรือใช้น้ำพรมก่อนบรรจุลงในหลุมหรือถังหมัก ในทางตรงข้ามถ้าพีชที่นำมาหมักมีความชื้นมากเกินไปโอกาสที่จะทำให้พีชหมักมีคุณภาพลดลงก็มีมากขึ้นอาจทำให้พีชหมักมีลักษณะเป็นเมือกหรือเปรี้ยวจัดเกินไป และจะดึงเอาธาตุอาหารในพีชหมักออกมาด้วย ทำให้สูญเสียกรดและธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์ ดังนั้นถ้าหากพีชมีความชื้นมากเกินไป จำเป็นต้องลดความชื้นลงไปบ้าง ทำได้โดยการตัดพีชแล้วผึ่งแดดไว้ในแปลงสัก 2-3 ชั่วโมง จะทำให้น้ำลดลงหรือที่ไ้หมัก เพื่อดูดซับความชื้นและเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารและความน่ากินของพีชหมักด้วย

5. การกำจัดอากาศออกจากหลุมหมัก ในการทำพีชหมักมีหลักสำคัญอยู่ที่จะต้องทำให้เกิดกรด แลคติกให้เร็วที่สุดและมากที่สุด เพราะเป็นกรดที่รักษาคุณภาพของพีชหมัก เป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญขยายจำนวนขึ้น ต้นพีชสดเมื่อตัดมาใหม่ ๆ เซลล์ของพีชในถังหมัก และกายคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและความร้อนออกมา ถ้ายังมีอากาศอยู่ภายหลังเซลล์พีชตายแล้ว พวกเชื้อราและยีสต์จะเจริญขึ้น ทำให้พีชหมักมีคุณภาพไม่ดี ด้วยเหตุนี้จึงต้องพยายามกำจัดอากาศให้ออกจากหลุมหมักมากที่สุด เพื่อที่เมื่อเซลล์พีชตาย เชื้อแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งเป็นพวกที่สร้าง กรดอินทรีย์ต่าง ๆ เจริญขยายจำนวนช่วยให้พีชอยู่ในรูปของพีชหมัก ฉะนั้น การอัดพีชให้แน่นและการปิดให้มีดซิคลจึงมีความจำเป็นในการทำพีชหมักอยู่มาก

6. สารช่วยหมัก เป็นพวกสารหรือวัตถุดิบที่ใส่เพิ่มคุณภาพของพีชหมักหรือรักษาพีชหมักให้อยู่ในสภาพหมัก(ค่าไม่พึงประสงค์) นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวแล้ว การที่จะทำให้เกิดกรดแลคติกเร็วและมากนั้นหญ้าหรือพีชที่จะนำมาทำพีชหมักจะต้องมีระดับน้ำตาลที่เพียงพอถ้าหากว่าพีชขาดคุณสมบัติข้อนี้ ควรเติมสารช่วยหมัก เช่น กากน้ำตาล เมล็ดพืชบด มันเส้นบด หรือกรดชนิดต่างๆ

7. กากน้ำตาล จะใช้ใส่ในพีชหมักที่จะทำจากพีชที่มีระดับน้ำตาลต่ำ เพราะน้ำตาลในกากน้ำตาลนี้แบคทีเรียสามารถใช้เป็นอาหารและเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติกได้ง่ายนอกจากนี้ กากน้ำตาลยังทำให้พีชหมักมีรสชาติน่ากิน และช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารของพีชหมักด้วยปริมาณ กากน้ำตาลที่จะใช้ผสมในพีชพีชหมักขึ้นอยู่กับชนิดของพีชที่ใช้ทำพีชหมัก ถ้าหากเป็นข้าวโพดข้าวฟ่างที่ตัดในระยะเวลาที่เหมาะสมจะมีจำนวนน้ำตาลเพียงพอไม่จำเป็นต้องเติม แต่ถ้าเป็นพีชพืชทั่วไป ควรใช้กากน้ำตาลประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยิ่งถ้าหากพีชหมักที่มีพีชตระกูลถั่วปอนอาจต้องใช้กากน้ำตาลถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับว่ามีพีชตระกูลถั่วผสมอยู่มากน้อยแค่ไหน

นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความอ่อนแก่ของพืช คือ พืชอ่อนตัวต้องใช้กากน้ำตาลมาก พืชแก่ใช้กากน้ำตาลน้อยลง

2.4.2 ขั้นตอนการทำพืชหมัก

สำหรับขั้นตอนการทำพืชหมักสามารถแบ่งได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตัดพืชหรือพืชสด ตัดพืชในระยะเวลาที่เหมาะสมและควรหั่นพืชให้มีขนาด 2-3 เซนติเมตร เพื่อที่จะช่วยให้การอัดพืชได้แน่น

ขั้นตอนที่ 2 การบรรจุลงหลุม หรือภาชนะสำหรับหมัก การบรรจุพืชลงหลุมหรือภาชนะจำเป็นต้องอัดพืชให้แน่น โดยใช้คนจิ้งเหยียบย่ำให้แน่น หรือถ้าเป็นหลุมขนาดใหญ่ใช้รถแทรกเตอร์วิ่งทับไปมาหลายครั้งจนแน่นเป็นรูปหลังเต่า ในกรณีที่มีการเติมสารช่วยกันหมักเสริม เช่น กากน้ำตาล เมล็ดธัญพืช หรือกรดต่างๆ จะต้องคลุกเคล้ากันให้ทั่วหรือผสมทำเป็นชั้นๆ สลับกับพืชจนเต็มหลุม และถ้าหากพืชที่นำมาใช้หมักแห้งเกินไปต้องพรมน้ำให้มีความชุ่มชื้นที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 การกลบหลุม หรือการปิดภาชนะบรรจุ เมื่อบรรจุพืชเต็มหลุม หรือเติมภาชนะที่บรรจุ และอัดพืชแน่นแล้วจะต้องปิดหลุม หรือ ปิดภาชนะที่บรรจุให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศซึมเข้าและฝนชะล้าง ในกรณีที่เป็นหลุมขนาดใหญ่ควรใช้ผ้าพลาสติกคลุมก่อนแล้วจึงใช้วัสดุต่างๆ กดทับบนผ้าพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 4 การเก็บและเปิดใช้พืชหมัก ภายหลังจากการกลบหลุมหรือปิดภาชนะแล้วเก็บทิ้งไว้ 3-4 สัปดาห์ ก็จะทำได้พืชหมักที่สมบูรณ์ สามารถเปิดและนำไปใช้ได้ ถ้าเปิดหลุมหมักทิ้งไว้นานๆ พืชหมักที่ไม่ได้นำออกมาใช้จะเกิดการสูญเสีย

ข้อดีของพืชหมัก

1. สามารถทำได้ทุกฤดูกาล
2. สามารถใช้ทุกส่วนของต้นพืชให้เป็นประโยชน์ ส่วนของลำต้นที่แข็ง เมื่อหมักแล้วจะอ่อนนุ่มสัตว์ชอบกิน
3. ใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย
4. พืชหมักมีลักษณะอวบน้ำ
5. การสูญเสียโดยการร่วงหล่นของใบพืช จากการทำพืชหมักมีน้อย จึงสามารถรักษาธาตุอาหารต่างๆ ไว้ได้สูงกว่าพืชแห้ง
6. ลดอันตรายจากอหิวาต์ ในการเก็บเมื่อเทียบกับพืชแห้ง

7. สามารถรักษาได้นานเป็นปีๆ โดยคุณค่าทางอาหารไม่ลดลง ถ้าหากมีการปฏิบัติอย่างดี

ข้อเสียของพีชหมัก

1. ต้องมีความรู้ความชำนาญในการทำพีชหมัก
2. เปลืองแรงงานและลงทุนมากกว่าการทำพีชแห้ง
3. ขาดวิตามินดี
4. เป็นราเสียหายง่าย เมื่อเปิดหลุมแล้ว
5. เนื่องจากพีชหมักมีฤทธิ์เป็นกรดจึงทำลายภาชนะที่เป็นโลหะได้.

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Burak et al, 2009 ศึกษาผลการผลิตก๊าซชีวภาพในระยะยาวด้วยวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นกรดสูง โดยในการทดลองได้ใช้ต้น Sugar Beet ที่ทำเป็นพีชหมัก แล้วมาเป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีค่าพีเอช อยู่ที่ 3.3-3.4 โดยไม่ต้องเติมมูลสัตว์ใดๆ ทำการทดลองในสภาวะ Mesophilic ใช้ถึงปฏิกรณ์ปริมาตรรวม 6 ลิตร ทำจากแก้ว มีปริมาตรใช้งาน 5.7 ลิตร ทำการป้อนของเสียวันละครั้ง โดยระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 15 วัน กำหนดให้มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 6.33 ถึง 10 g/VS.d. พบว่าก๊าซที่เกิดขึ้นมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ 74% แต่ในระยะยาวจะพบความไม่เสถียรเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบขาด Macro Nutrient และ Micro Nutrient และ Buffering Capacity ดังนั้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในระยะยาวจึงต้องคำนึงถึงสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ และสภาวะที่เหมาะสมด้วย

Plochl et al, 2009 ทำการทดลองเติมสารเสริมทางเคมี และชีวภาพลงในพีชหมักเพื่อเพิ่มคุณภาพและลดการสูญเสียที่เกิดจากการสัมผัสอากาศ และทำการเปรียบเทียบผลทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งเขาได้นำต้น alfalfa, หญ้า และต้นข้าวโพด โดยต้น alfalfa และหญ้านั้นทำการลดขนาดลงอยู่ที่ 30-40 mm และต้นข้าวโพดอยู่ที่ 8 mm โดยเฉลี่ย ทำการเติมสารเสริมต่างๆ ลงในพีชหมักดังกล่าว หลังจากนั้นจึงบรรจุพีชหมักลงในขวดแก้วขนาด 1.5 ลิตร ทำการปิดด้วยฝาโลหะมีแผ่นยางรองที่ปากขวด และทำการถือค้ำให้แน่น นำตัวอย่างไปเก็บไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน แล้วจึงนำออกมาวิเคราะห์ผล จากการศึกษาพบว่าการเติมสารเสริมสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของรา ยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ แต่เมื่อทำการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเติมสารเสริมนั้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ขึ้นมา แต่หากเป็นการทำพีชหมักในไซโล ที่มีการสัมผัสอากาศจะพบว่าการเติมสารจะทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการไม่เติมสาร

Vasileios et al. (2009) ทำการศึกษาดังหมักระบบ UASB ระดับห้องปฏิบัติการ แบบสองขั้นตอน โดยดำเนินการที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสโดยใช้น้ำเสียจากอาหารที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ที่มีค่า COD 3,000 มก./ล. ทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย ในช่วงระหว่าง 5 –25 ชั่วโมง พบว่า ความสามารถในการกำจัด COD แบบสองขั้นตอนนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่า 95% ค่า COD ของน้ำออกมีค่าต่ำกว่า 75 มก./ล. และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเป็นไปตามทฤษฎี มีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์สูง มีค่าระหว่าง 6 และ 30 ก./ล-วัน และตะกอนมีลักษณะเป็นโคลโลนิจของจุลินทรีย์แบบแน่น ซึ่งมีองค์ประกอบของของแข็งแขวนลอยระเหย(VSS)สูง และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารตั้งต้นสูง จึงสรุปได้ว่าการออกแบบกระบวนการแบบสองขั้นตอนนี้ บรรลุตามวัตถุประสงค์ คือสามารถย่อยสารตั้งต้นได้อย่างสมบูรณ์และมีเสถียรภาพ โดยมีอัตราการบรรทุกอยู่ที่ 10-15 ก./ล-วัน

วัฒนา (2546) ศึกษาผลของการใช้ความร้อนจากการเผาก๊าซชีวภาพโดยตรง และความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่บ่อหมักในระบบก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 2,000 และ 5,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่าใช้เวลาในการให้ความร้อนประมาณ 15-20 วัน เพื่อให้อุณหภูมิกึ่งที่ ซึ่งการใช้ความร้อนจากการเผาก๊าซชีวภาพโดยตรงจะเพิ่มอุณหภูมิได้ 40-43 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวจะเพิ่มอุณหภูมิได้ 37-38 องศาเซลเซียส และกรณีที่ใช้ความร้อนทั้งสองร่วมกันจะเพิ่มอุณหภูมิได้ 38-43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิของบ่อหมักทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ปริมาณก๊าซสูงต่อวันเพิ่มขึ้น และสามารถรองรับน้ำเสียได้เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้สามารถเลี้ยงสุกรได้มากขึ้น โดยการใช้ความร้อนจากการเผาก๊าซชีวภาพโดยตรงจะทำให้สามารถเลี้ยงสุกรได้เพิ่มขึ้น 10-27% การใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวจะเลี้ยงสุกรได้เพิ่มขึ้น 5-10% และการใช้ความร้อนร่วมจะเพิ่มได้ 2-5%

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553)

— ศึกษาวิธีบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถจัดเก็บมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดโดยปราศจากการสูญเสียสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการกองเก็บวัสดุในรูปของพีชหมัก โดยศึกษาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดไปเป็นพีชหมัก เริ่มต้นการทดลองทางจุลชีววิทยาเพื่อหาเชื้อจุลินทรีย์และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพีชหมักจากวัตถุดิบดังกล่าว แล้วจึงคัดเลือกเชื้อที่มีความเหมาะสมในการหมักซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส 8 ไอโซเลทมาเป็นตัวแทนในการศึกษาทำพีชหมักมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดในระยะยาว ได้แก่ เชื้อ RM1, CS2, S2, C7.1, E8.2, RM2, RM3 และ

CN2 โดยจากผลการศึกษาพบว่าเชื้อ ไอโซเลทCS2 และCN2 มีความเหมาะสมในการทำต้นข้าวโพดหมัก สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมในการทำมันสำปะหลังหมัก ได้แก่ เชื้อ ไอโซเลท C7.1 และ RM3 ทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆไปในมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดที่ถูกบดสับแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอช, %การสูญเสียน้ำหนัก, %DM, CODt, VFA, ปริมาณกรดแลกติก, กรดบิวทีริก, กรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิก, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรูปของwater soluble carbohydrate(WSC)และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า พีเอชของต้นข้าวโพดและมันสำปะหลังลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกของการทดลองและเริ่มมีค่าคงที่จนถึงระยะเวลาการหมักที่ 30 วันโดยมีค่า พีเอชประมาณ 3.7-3.8 ปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกหลังจากนั้นมีค่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาในการหมัก โดยในพืชหมักนี้มีปริมาณกรดแลกติกมากที่สุด รองลงมาคือกรดอะซิติก ส่วนปริมาณกรดโพรไพโอนิกนั้นจะมีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรก และเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 12 วันไม่พบปริมาณของกรดชนิดนี้ และไม่พบการผลิตกรดบิวทีริกในพืชหมักทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวโพดมีปริมาณมากกว่ามันสำปะหลังและน้ำตาลรีดิวซ์ของมันสำปะหลังมีปริมาณมากกว่าต้นข้าวโพด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของพืชหมักในชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างน้อยซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์รวมทั้งวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชหมักที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์กับพืชหมักที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแม้ว่าเมื่อทำพืชหมักเป็นระยะเวลานานขึ้นก็ไม่มีผลต่อการสูญเสียของสารอินทรีย์ ดังนั้นการทำพืชหมักโดยไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆนั้นเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมที่สุด

— ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพืช 2 ชนิด คือ มันสำปะหลังและข้าวโพด โดยใช้ น้ำเสียฟาร์มสุกรระบบบ่อหมักแบบรางตามด้วยถังยูเอสบี (Channel Digester + UASB) ของ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ น้ำเสียชุมชน ผสมกับพืชแต่ละชนิดซึ่งกำหนดให้ปริมาณพืชที่ใช้ทำการผสมนั้นมีปริมาณของแข็งคือ 2% 4% 6% 8% และ 10% รวมทั้งหมด 10 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างทั้งหมดไปทำการทดสอบ BMP (Biochemical Methane Potential) ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สำหรับปฏิกริยานี้ คือ กรดไขมันระเหย และพีเอช และไม่มีการเพิ่มความเป็นด่างให้แก่ชุดการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า

สำหรับมันสำปะหลังนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis and Acidification ได้ในระยะเวลาการหมัก 3 วัน สำหรับข้าวโพดใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis and Acidification น้อยกว่ามันสำปะหลัง คือ ใช้ระยะเวลาเพียง 1 วัน สามารถสรุปได้ว่าข้าวโพดสามารถเกิดการหมักย่อยได้ดีกว่ามันสำปะหลัง และตัวอย่างที่ใช้ น้ำทิ้งของระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่นำมาผสมกับต้นข้าวโพดที่ปริมาณของแข็ง 4.5% สามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงกว่าและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สั้นกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำเสียชุมชน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved