

บทที่ 2

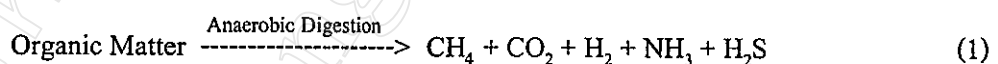
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

การย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนอิสระเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนให้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้สารที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์มีสภาพคงตัวและลดมวลของของแข็งอินทรีย์ ดังนั้นเพื่อให้ระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพจึงต้องศึกษาให้เข้าใจถึงปฏิกิริยาการทำงานของจุลินทรีย์และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 จุลชีววิทยาและชีวเคมี

จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนส่วนใหญ่เป็นพวกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้สองกลุ่ม คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ในแต่ละขั้นตอนยังแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกดังแสดงดังรูป 2.1 โดยจุลินทรีย์จะมีการทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่องในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจนได้ผลิตผลสุดท้ายคือก๊าซมีเทนและก๊าซอื่น ๆ ซึ่งเป็นสมการรวมอย่างง่ายดังแสดงสมการที่ 1

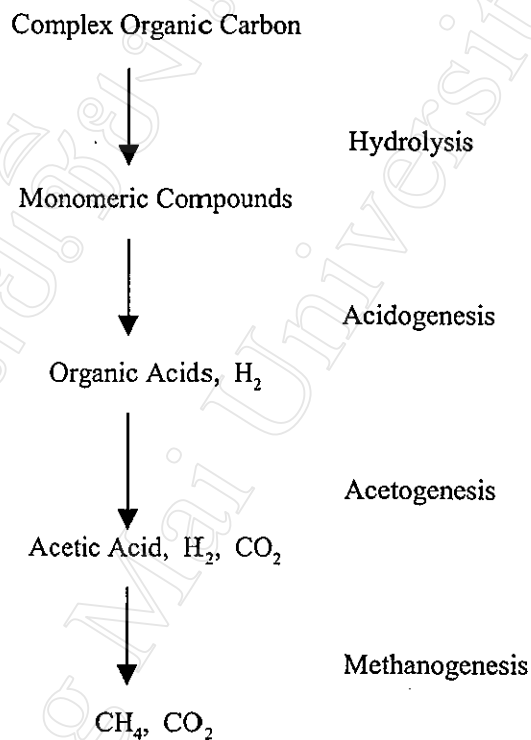


โดยแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายได้ 3 ขั้นตอนดังนี้คือ

ก) กระบวนการไฮโดรไลซิส

กลุ่มของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนจะย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Compound) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส เป็นต้น ซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะทำให้ถูกแตกสลายโดยเปลี่ยนรูปของโมเลกุลให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการย่อยสลาย หรือละลายน้ำได้โดยจุลินทรีย์กลุ่ม ไฮโดรไลติกแบคทีเรีย (Hydrolytic Bacteria) จะขับเอนไซม์ชนิดเอ็กแทรกเซลลูลาร์ (Extracellular Enzyme) ออกมานอกเซลล์ ผลของการแตกสลายโมเลกุลที่ขั้นตอนนี้จะได้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อน เช่น กรดอะมิโน กรดไขมันที่มีโมเลกุลต่อกันเป็น

สาขยาว คาร์โบไฮเดรตในรูปน้ำตาล เป็นต้น Polprasert (1989) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมากซึ่งจะรู้ได้จากขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนของการสร้างกรด (Acid-forming Stage) เพราะว่ามีบางโมเลกุลเกิดการดูดซับไฮโดรเจนทำให้เกิดการแตกสลายภายในโมเลกุลได้และปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์จำนวนจุลินทรีย์เช่นเดียวกันก็ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของระบบด้วย เช่น พีเอช และอุณหภูมิ เป็นต้น



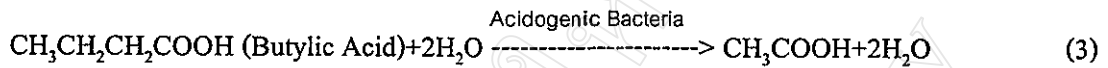
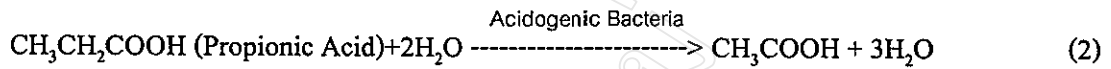
รูป 2.1 การทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ที่มา : Archer and Kirsop, 1991

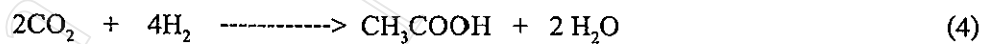
ข) กระบวนการสร้างกรด

สารประกอบอินทรีย์ที่ถูกแตกสลายจากขั้นตอนแรกจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดโดยจะทำการเปลี่ยนสารดังกล่าวข้างต้นให้เป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปกรดที่มีโมเลกุลสั้น เช่น กรดอะซิติก กรดโฟลิก กรดแลคติก กรดบิวทิริก และจุลินทรีย์กลุ่มอะซิโตเจนนิค จะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นกรดอะซิติกในขั้นตอนสุดท้าย ดังสมการที่ 2, 3 ซึ่งรวมเรียกว่ากรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids) รวมทั้งยังเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซ

ไฮโดรเจน ในระหว่างการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และเกิดเมทานอลแอลกอฮอล์ในรูปร่างง่ายซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากปฏิกิริยาการแตกสลายสารอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรต



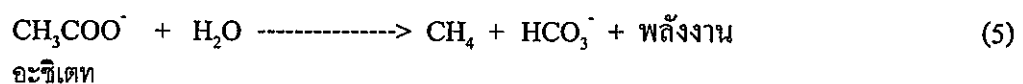
นอกจากนี้ในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์กลุ่มโปรตีนและกรดอะมิโน ทำให้มีแอมโมเนียถูกปลดปล่อยออกมาด้วยซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าไม่มากจนเป็นพิษต่อการยับยั้งปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อป้อนมูลฝอยที่มีสารประเภทไนโตรเจนอยู่มากการยับยั้งโดยแอมโมเนียจะเกิดขึ้นได้ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ที่มีอยู่ในระบบ สารประเภทกลูโคสจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (Glycolysis) กรดไขมันจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเบต้าออกซิเดชัน (Beta-Oxidation) และสารประเภทกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาคืออะมิเนชัน (Deamination) และยังพบว่ากรดอะซิติกบางส่วนอาจเกิดจากการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจนในระบบ โดยจุลินทรีย์ชนิดคลอสตริเดียมอะเซติกัม (Clostridium Aceticum) ดังสมการที่ 4



ทั้งนี้อัตราของปฏิกิริยาการย่อยสลายโมเลกุลในขั้นตอนการสร้างกรดและและความสะดวกต่างของผลผลิตที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับลักษณะของสารที่ป้อนเข้าสู่ระบบรวมทั้งสภาวะแวดล้อมของระบบ

ค) กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน

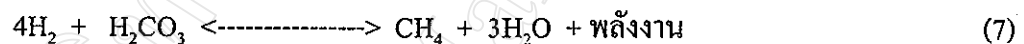
ผลผลิตจากขั้นตอนการสร้างกรด คือ กรดอะซิติก เมทานอล ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนในขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน โดยทั่วไปก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากกรดอะซิติกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ Polprasert (1989) ดังสมการที่ 5



ซึ่งเป็นการผลิตก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนชนิด Acetoclastic Bacteria ก๊าซมีเทนที่เหลือเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มชนิดไฮโดรเจนยูทิลไลซิ่งมีเทน (Hydrogen-utilizing Methane Bacteria) โดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายในขั้นตอนการสร้างกรด จะไม่ค่อยแพร่กระจายออกนอกระบบเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีลักษณะสมบัติที่ละลายน้ำได้ง่าย ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในระบบซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของแอมโมเนียจากการย่อยสลายโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ไฮดรอกไซด์ไอออนซึ่งเป็นแหล่งไฮดรอกไซด์ไอออนที่สำคัญ ดังสมการที่ 6

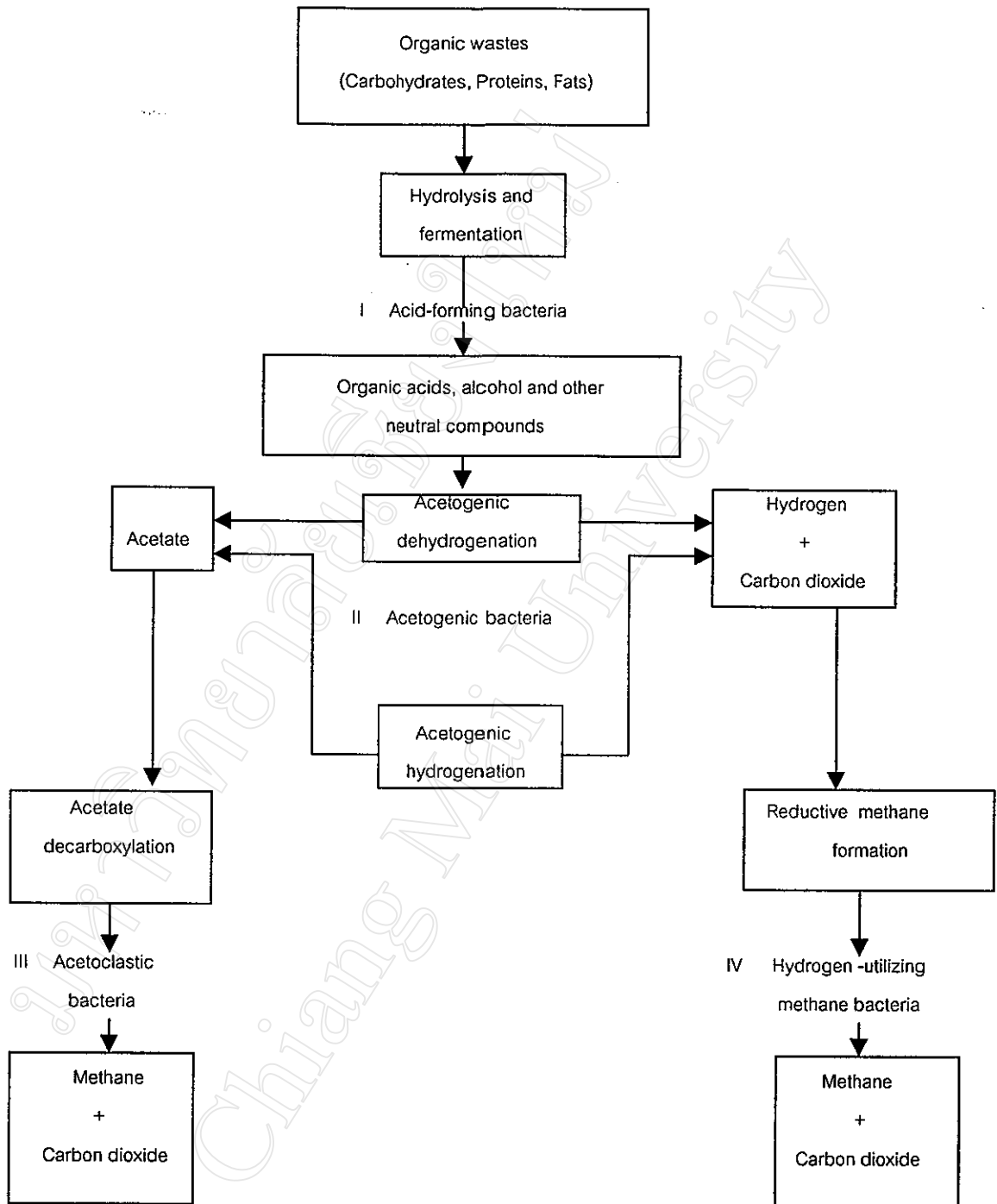


การทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮดรอกไซด์ไอออนในระบบจะเกิดไบคาร์บอเนตซึ่งจะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนโดยจุลินทรีย์ชนิดไฮโดรเจนยูทิลไลซิ่งมีเทนเกิดเป็นก๊าซมีเทนดังสมการที่ 7

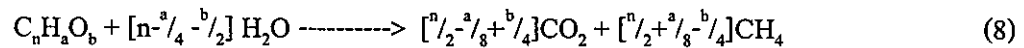


ปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนดังแสดงในรูป 2.2 Polprasert (1989)

ในขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนนี้เป็นขั้นตอนที่ไวต่อการถูกยับยั้งเนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจนและโดยทั่วไปจะเติบโตค่อนข้างช้าและทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของระบบเช่น พีเอช อุณหภูมิ ต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดมาก ความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตนี้รวมทั้งความไวต่อปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมทำให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนเป็นตัวการหลักในการควบคุมปฏิกิริยาทั้งหมดในถังหมัก จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนจะทนค่าพีเอช ได้ในช่วง 6.5-7.5 Diaz (1993) การย่อยสลายสารในขั้นตอนสุดท้ายนี้ผลผลิตที่ได้จะเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชนิดอื่น ๆ อีกเล็กน้อยเช่น ก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้นและในขั้นตอนนี้สารอาหารจะถูกทำให้คงตัวอย่างสมบูรณ์ สมการทั่วไปของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเพื่อคำนวณหาปริมาณของก๊าซมีเทนจากสมการทางเคมี ดังสมการที่ 8



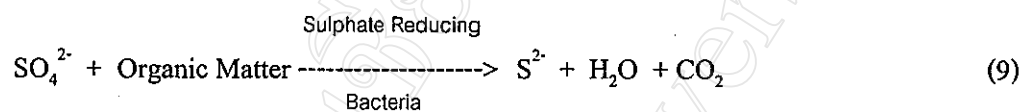
รูป 2.2 แสดงการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เกิดก๊าซมีเทน
ที่มา : Polprasert, 1989



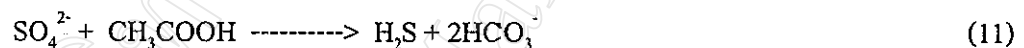
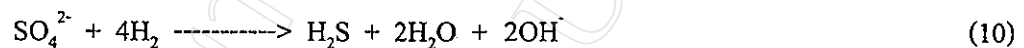
โดยที่ 90 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนหรือประมาณ 1 กิโลกรัมของค่าซีไอดีที่ถูกกำจัด จะให้ก๊าซมีเทนในช่วง 0.31-0.44 ลูกบาศก์เมตร

2.1.2 ปฏิกริยาชีวเคมีการรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reduction)

ในสภาพไร้ออกซิเจนอิสระซัลเฟตในน้ำเสียนั้นมีความสามารถถูกนำไปใช้เป็นแหล่งให้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า จุลินทรีย์รีดิวซ์ซัลเฟตโดยใช้พลังงานปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างซัลเฟตกับสารอินทรีย์ ดังสมการที่ 9



เช่นจุลินทรีย์พวก Desulfovibrio ได้พลังงานจากปฏิกิริยาดังสมการที่ 10 และ 11



จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาชีวเคมีของการรีดิวซ์ซัลเฟตโดยจุลินทรีย์ดังกล่าวนี้จะได้ก๊าซไข่เน่าซึ่งมักจะเกิดในท่อระบายน้ำเสียโดยทั่วไปและในบ่อหมัก จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชและอุณหภูมิได้ดี ดังนั้นการเกิดกลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่านี้จะเกิดขึ้นได้ไม่ว่าระบบหมักจะอยู่ในสถานะใดก็ตาม ความรุนแรงของกลิ่นเหม็นจากก๊าซไข่เน่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชของน้ำเสีย ดังสมการที่ 12 และ 13

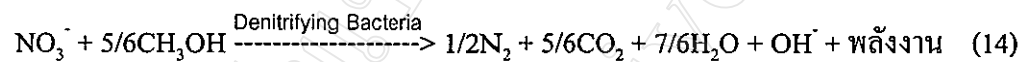


จะเห็นได้ว่าภายใต้สภาวะที่เป็นกรดระบบจะมีกลิ่นรุนแรงขึ้น สำหรับระบบหมักโดยทั่วไปที่อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางจะเกิดปฏิกิริยารวมตัวระหว่างโลหะไอออนกับซัลไฟด์เป็นตะกอนค้ำของโลหะซัลไฟด์จึงทำให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเป็นสีดำและปัญหาของกลิ่นเหม็นจะลดลงแต่ถ้า

ระบบหมักนั้นมีสภาวะเป็นกรดรุนแรง จะไม่เกิดตะกอนของโลหะซัลไฟด์ ดังนั้นตะกอนของจุลินทรีย์จะมีสีเนื้อสีน้ำตาลอ่อนและมีกลิ่นที่รุนแรง

2.1.3 ปฏิกริยาชีวเคมีดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

น้ำเสียที่มีสารไนเตรทและอยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอิสระจะมีจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยปฏิกริยาชีวเคมีระหว่างไนเตรทกับสารอินทรีย์เรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า ดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ ซูโดโมนาส (Pseudomonas) อะโครโมแบคเตอร์ (Achromobacter) บาซิลลัส (Bacillus) และไมโครคอคคัส (Micrococcus) ตัวอย่างเช่น สารอินทรีย์เป็นเมทานอล ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังสมการที่ 14



2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

การดำเนินการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนั้นเป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ดังนั้นลักษณะทางจุลชีววิทยาจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากโดยทำให้มีปริมาณมากพอและคงที่ เพื่อให้การดำเนินการของระบบเป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้ระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพสูงสุด ปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่อการดำเนินระบบให้สามารถทำงานได้ดีต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ประการคือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางด้านการทำงานของระบบ

2.2.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

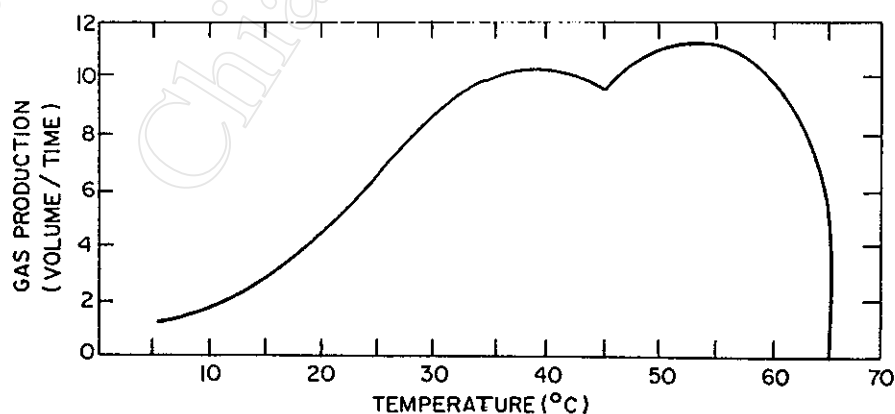
ก) สารอาหาร

ในการที่จะดำเนินระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน สารอาหาร คือ คาร์บอน และไนโตรเจนต้องมีอย่างเพียงพอเพื่อให้การทำงานของจุลินทรีย์เกิดความเหมาะสมโดยมีการผลิตก๊าซมีเทนอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญโดยทั่วไปแล้วระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจุลินทรีย์ต้องการสารอาหารโดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 25:1-30:1 Polprasert (1989) เมื่ออัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงจะก่อให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายได้ในระบบเนื่องจากการขาดไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในการสร้างมีเทน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดลง และเมื่ออัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าต่ำปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปจำเป็นต่อความต้องการของจุลินทรีย์จะถูกเปลี่ยนในรูป แอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของระบบได้เนื่องจากเกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โดยที่ปริมาณไนโตรเจนในระบบมา

จากการย่อยสลายของสารจำพวกโปรตีนและกรดอะมิโน ปริมาณที่ต่ำของแอมโมเนียไอออนสามารถลดปัญหาในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชได้ ซึ่งในเครทจะสามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไอออนได้ในระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนขึ้นอยู่กับพีเอชภายในถังปฏิกริยา ถ้าพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่าแอมโมเนียทั้งหมดจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน McCarty (1964a)

ข) อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่ออัตราการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนซึ่งแสดงได้โดยอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและการเปลี่ยนแปลงของของแข็งระเหยง่าย Diaz (1993) โดยทั่วไปอุณหภูมิที่พิจารณาในการดำเนินการของระบบในการผลิตก๊าซมีเทนและการย่อยสลายกรดโวลไทล์จะเริ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงระดับ 38-42 °ซ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่านี้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนและการย่อยสลายจะลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งระดับอุณหภูมิสูงถึง 45 °ซ หลังจากนั้นอัตราการเกิดก๊าซมีเทนและอัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่ามีโซฟิลลิก (Mesophillic) คือช่วง 38-42 °ซ และระบบจะปรับตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกประมาณ 50 °ซ และมีแนวโน้มดีขึ้นจนถึงระดับ 55 °ซ ส่วนอัตราการผลิตมีเทนและการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้งหลังจากอุณหภูมิถึง 65 °ซ และเรียกช่วงอุณหภูมิของการย่อยสลายนี้ว่าเทอร์โมฟิลลิก (Thermophillic) คือช่วง 50-60 °ซ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 แต่ในการดำเนินการเพื่อให้เกิดการย่อยสลายในช่วงเทอร์โมฟิลลิกจะต้องทำการให้ความร้อนแก่ระบบซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการของการทำความร้อนขึ้นด้วย ดังนั้นจึงแนะนำว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายอย่างเหมาะสมควรเป็นช่วงมีโซฟิลลิก แม้ว่าจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายเกิดต่ำกว่าอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลลิก แต่ก็ไม่ได้ต่ำมากนัก แต่ในช่วงหน้าหนาวการให้ความร้อนอาจเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน



รูป 2.3 ผลของอุณหภูมิในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ที่มา : Polprasert, 1989

ค) พีเอช

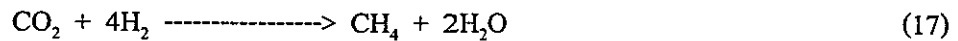
การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนพีเอชก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับระบบโดยทั่วไปค่าพีเอชของระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะอยู่ในช่วง 6.6-7.6 แต่ในช่วงที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 7-7.2 Polprasert (1989) แม้ว่าจุลินทรีย์สร้างกรดสามารถทนต่อค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 5.5 ได้ แต่จุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้งเมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดต่ำลง ค่าพีเอชที่ลดต่ำลงกว่า 6.6 เกิดจากการสะสมของกรดระเหยง่าย

การสะสมของกรดระเหยง่ายเกิดจากการที่มีภาวะบรรทุกของสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป มีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน โดยทั่วไปแล้วการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบควรจะหยุดเมื่อมีการสะสมของกรดระเหยง่ายและไฮโดรเจน เพื่อให้จุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนได้ทำงานเมื่ออัตราการผลิตก๊าซเริ่มเหมาะสมจึงค่อยมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบได้ปกติ จากการศึกษาของ Dague, Hopkins and Tonn (1970) พบว่าที่ปริมาณกรดระเหยง่าย 5,400 มิลลิกรัมต่อลิตรพีเอชมีค่าเท่ากับ 6.5 การผลิตก๊าซมีเทนจะเป็นศูนย์แต่ที่ พีเอชเท่ากับ 7 จะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 2,240 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดระเหยง่ายได้เป็น 7,200 มิลลิกรัมต่อลิตร การผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 3,080 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่กรดระเหยง่ายสามารถเกิดปฏิกิริยากับบัฟเฟอร์ในระบบทำให้พีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.5 ได้ แสดงให้เห็นว่าถ้าบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบไม่เพียงพอที่จะสามารถควบคุมค่าการลดลงของค่าพีเอชแล้วจากนั้นพีเอชก็จะค่อย ๆ ลดลงและยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทนได้ ดังนั้นการรักษาสภาพของระบบต้องมีการปรับให้มีค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยการเติมด่างไปคาร์บอเนต โซดาไฟ (NaOH) ปูนขาว (CaO) โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มบัฟเฟอร์ของระบบโดยทั่วไปจะควบคุมให้มีสภาพด่าง (Alkalinity) ประมาณ 2,500-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Polprasert (1989)

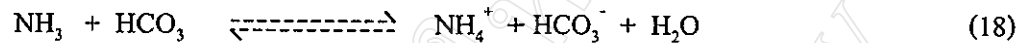
ง) สภาพด่าง

สภาพความเป็นด่างมีความสำคัญ คือ เป็นบัฟเฟอร์ช่วยควบคุมค่าพีเอชให้แก่ระบบในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน สภาพด่างทั้งหมดจะมีความสำคัญน้อยกว่าสภาพด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพด่างทั้งหมดจะน้อยกว่าสภาพด่างไบคาร์บอเนตเมื่อมีปริมาณของกรดเพิ่มขึ้น โดยสภาพด่างไบคาร์บอเนตจะถูกทำลาย ดังสมการที่ 15, 16 และ 17





สภาพต่างไบคาร์บอเนตเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (Ammonium Bicarbonate) ดังสมการที่ 18



แต่สภาพต่างเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถชี้ถึงปัญหาของระบบทั้งหมดได้ต้องเปรียบเทียบกับปริมาณกรดระเหยง่ายโดยที่อัตราส่วนของปริมาณกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่มีค่าน้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูงแต่อัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 0.8 แล้วระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว

จ) สารพิษ

ในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของสารอินทรีย์การสะสมตัวของปริมาณกรดระเหยง่าย ไฮโดรเจน และแอมโมเนียที่ไม่ละลายน้ำ โดยปกติเป็นตัวทำให้การทำงานของระบบ ล้มเหลวได้อยู่แล้วแต่ก็ยังมียาบางอย่างมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของระบบเมื่อมีความเข้มข้นสูงเกินไป โดยที่สารพิษจะไปทำให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายไม่สามารถทนอยู่ได้เมื่อมีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่ง ซึ่งระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อจุลินทรีย์ก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษและกลุ่มของจุลินทรีย์ การที่สารพิษมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของระบบหรือไม่เราจะสังเกตได้จากการผลิตก๊าซมีเทนที่ลดลง แม้ว่าสารพิษจะมีผลตั้งแต่ขั้นตอนการไฮโดรไลซ์ และขั้นตอนการสร้างกรดแล้วก็ตาม สารพิษที่มีผลต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน เช่น ก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โซลไฟด์ที่ละลายน้ำ และเกลือของโลหะต่าง ๆ เช่น ทองแดง แคดเมียม ชิงค์และนิเกิล เป็นต้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มีผลต่อจุลินทรีย์คือ 1500-3000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแอมโมเนียในโตรเจนทั้งหมดจะทำให้มีค่าพีเอชสูงเกินกว่า 7.4 ส่วนความเข้มข้นของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลยับยั้งระบบคือมีค่ามากกว่า 3000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแอมโมเนียในโตรเจนทั้งหมดที่ทุกๆค่าพีเอชแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถอยู่ในสมดุลระหว่างก๊าซ-แอมโมเนียที่ละลายน้ำได้ดังสมการที่ 19



ที่ระดับพีเอชต่างๆจะเป็นตัวชี้ถึงความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนได้เพราะว่าค่าพีเอชมีผลต่อสมดุลระหว่างแอมโมเนียสองรูปนี้ ดังนั้นถ้าระบบมีค่าพีเอชต่ำสมดุลจะทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออนสูงขึ้นและจะเริ่มค้นหัยยังการทำงานของระบบที่ความเข้มข้น 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชมีค่าสูงสมดุลก็จะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียมากขึ้นและจะเริ่มเป็นพิษที่ความเข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าก๊าซแอมโมเนียจะสามารถมีผลยับยั้งการทำงานของระบบได้แต่แอมโมเนียในโตรเจนก็เป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์อย่างหนึ่งเช่นกัน ความเป็นพิษของสารต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่มีอยู่ในระบบซึ่ง Polprasert (1989) อ้างจาก EPA 1979 แสดงไว้ในตาราง 2.1

สำหรับโลหะหนักเราสามารถลดความเป็นพิษลงได้ด้วยการเติมสารประกอบซัลไฟด์ที่ละลายลงไปในระบบเพื่อให้ซัลไฟด์ไปจับกับโลหะต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปโลหะซัลไฟด์เป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำทำให้ความเป็นพิษหมดไปได้ นอกจากสารพิษที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในมูลฝอยชุมชนน่าจะพบสารพิษชนิดที่เป็นสารปราบศัตรูพืชอีกด้วย ซึ่งการปนเปื้อนของสารพิษกลุ่มนี้อาจเกิดจากการใช้ในการกำจัดศัตรูพืชในพืชผักต่างๆและที่ใช้ฆ่าแมลงตามบ้านเรือนต่างๆ

2.2.2 ปัจจัยด้านการดำเนินการ

ก) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์

อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ นิยมใช้หน่วยเป็น กก.VS/(ม³-วัน) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนก็เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการย่อยสลายของระบบ

ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนนั้นความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต้องมีอยู่เพียงพอเหมาะกับปริมาณสารอินทรีย์รวมทั้งต้องมีเวลาพอเพียงสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์โดยที่ไม่ออกไปจากระบบก่อนเวลา ผลจากการที่ป้อนอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปท้ายที่สุดทำให้การทำงานของจุลินทรีย์หยุดลงเนื่องมาจากการทำลายจำนวนของจุลินทรีย์ให้ลดลงนั่นเอง ในทางตรงกันข้ามถ้าเราป้อนอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปความสามารถของถังหมักจะถูกใช้ได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อกล่าวถึงด้านการลงทุนแล้วก็จะไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของถังหมักที่ใหญ่เกินไป ไรก็ดีอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารและเกี่ยวกับสภาวะการดำเนินการย่อยสลายอย่างเหมาะสม ส่วนใหญ่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์จะแสดงในรูปของของแข็งระเหยซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อปริมาตรถึงต่อวัน (กก.VS/(ม³-วัน)) ซึ่งเป็นสากลเพราะว่าเปอร์เซ็นต์ของของแข็งระเหยจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของมูลฝอยในแต่ละแหล่ง

ตาราง 2.1 สารพิษที่ยับยั้งการทำงานของระบบชีววิทยาในการสร้างก๊าซมีเทน

สาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Volatile Acid	> 2,000 (ในรูปกรดอะซิติก) ^a
Ammonia Nitrogen	1,500-3,000 (ที่พีเอชมีค่ามากกว่า 7.6)
Sulfide (Soluble) ^b	> 200; > 3,000 เป็นพิษ
Calcium	2,500-4,500; 8,000 ยับยั้งอย่างรุนแรง
Magnesium	1,000-1,500; 3,000 ยับยั้งอย่างรุนแรง
Potassium	2,500-4,500; 12,000 ยับยั้งอย่างรุนแรง
Sodium	3,500-5,500; 8,000 ยับยั้งอย่างรุนแรง
Copper	0.5 (ในรูปที่ละลายน้ำ)
Cadmium	150 ^c
Iron	1,710 ^c
Chromium ⁺⁶	3
Chromium ⁺³	500
Nickel ^d	2

^a ที่พีเอชช่วง 6.6-7.4 และมีบีฟเฟอร้อย่างเพียงพอ ระบบสามารถทนต่อความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายถึง 6,000-8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

^b ระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษคือ 6 เปอร์เซ็นต์

^c หน่วยมิลลิโมลของโลหะต่อกรัมของแข็งแห้ง

^d ที่ความเข้มข้นต่ำนี้เกิดจะช่วยในการสร้างมีเทน เนื่องจากเป็นโลหะที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์

ที่มา : Polprasert, 1989 อ้างจาก EPA, 1979

การที่เราป้อนอัตราสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปเป็นผลทำให้เกิดผลผลิตกรดระเหยง่ายสูงขึ้นทำให้มีค่าพีเอชต่ำลงตามมาและจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนในที่สุด Barnet (1978), Brown and Tata (1985) ได้อธิบายถึงลักษณะสองชนิดคือ Dispersed-growth Digester ค่าอัตราสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 1-4 กก.VS/(ม³.-วัน) สำหรับถังหมักแบบ

Attached-growth Digestion เช่น Anaerobic Filter และ Up-flow Sludge Blanket Digester ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 1-15 กก.VS/(ม²·วัน) สำหรับระยะเวลาเก็บกักของสารจะมีผลต่อการทำงานของระบบเท่า ๆ กัน กล่าวคือในระบบจำเป็นต้องมีเวลาเพียงพอเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์สร้างมีเทน แต่ถ้ามีระยะเวลาเก็บกักนานเกินไปจะทำให้มีผลต่อการก่อสร้างถังหมักซึ่งจะมีขนาดใหญ่เกินไป เช่นเดียวกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบที่น้อยเกินไป ซึ่งระยะเวลาเก็บกักของสารที่เหมาะสมจะขึ้นกับลักษณะของสารที่ป้อนเข้าสู่ระบบและสภาวะแวดล้อมของถังหมักด้วย

Brown and Tata (1985) กล่าวว่าถังหมักแบบ Dispersed-growth Digester ค่าเวลาเก็บกักที่เหมาะสมคือ 10-60 วัน ขณะที่ถังหมักแบบ Attached-growth Digester จะมีค่าเวลาเก็บกักของสารที่เหมาะสมคือ 1-10 และ 0.5-6 วัน สำหรับถังหมักแบบ Anaerobic Filter และ Up-flow Sludge Blanket Digester ตามลำดับ ทั้งนี้เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้ค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาออกแบบระบบต้องขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และชนิดของถังหมักเพื่อให้การดำเนินการของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ข) ลักษณะสารอาหาร

สารอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อระบบจุลินทรีย์ในถังหมัก โดยจุลินทรีย์จะทำการปรับตัวให้เข้ากับลักษณะของสารอาหารและสภาพแวดล้อมภายในถังหมักเพื่อให้สามารถดำรงชีพอยู่ได้ โดยทั่วไปแล้วของเสียที่จะนำมาบำบัดโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้เป็นหลักได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) กรดอะมิโน โปรตีน กรดไขมัน และกลุ่มของสารประกอบไนโตรเจน รวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ยังต้องใช้สารอาหารในกลุ่มอนินทรีย์แต่ความต้องการสารอาหารกลุ่มนี้จะน้อย สารอาหารอาจจะพิจารณาได้จากลักษณะทางกายภาพดังนี้คือ ขนาดของอนุภาค และความชื้น

ขนาดของอนุภาค โดยที่อัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์จะเป็นส่วนหนึ่งของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อมวลของสาร ซึ่งอัตราส่วนที่สูงอัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นเร็ว อัตราส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการย่อยสลายสารจากมูลฝอยโดยที่มูลฝอยจากพวกผลผลิตทางการเกษตรที่มีขนาดใหญ่ในการดำเนินงานจำเป็นต้องมีการเตรียมมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะทำการป้อนเข้าสู่ระบบ

ความชื้น ในการหมักโดยทั่วไปความชื้นจะเป็นตัวทำให้มูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่ระบบอยู่ในรูปกึ่งเหลวกึ่งแข็ง (Slurry) โดยจะทำให้มีปริมาณของแข็งรวมอยู่ในช่วง 5-8 เปอร์เซ็นต์โดยมีปริมาณความชื้นในช่วง 92-95 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าทำให้ของแข็งมีปริมาณสูงๆ (High Solids) คือมี

ปริมาณของแข็งรวมอยู่ในช่วง 10-15 เปอร์เซ็นต์แต่จะทำให้การกวนไม่ทั่วถึงแต่ถ้ามีปริมาณของแข็งอยู่น้อยจะทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่ขึ้น การที่จะเพิ่มอัตราการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ระบบสามารถทำได้โดยให้มีระยะเวลาเก็บกักเร็วขึ้นหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ แต่อาจเกิดปัญหาต่อระบบภายหลังคือ จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายสูง ซึ่งทำให้อัตราการผลิตก๊าซลดลง และการเจือจางของสารอาหารยังมีความจำเป็นเพื่อช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของก๊าซในถังหมักซึ่งก๊าซบางตัวเป็นพิษต่อบุคคลได้เช่น ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้นและการเจือจางยังช่วยในการสัมผัสระหว่างแบคทีเรียกับสารเพิ่มมากขึ้น

ค) การกวน

การผสมของสารภายในถังหมักเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายเพื่อให้เกิดการหมักเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการกระจายการสัมผัสระหว่างตะกอนกับจุลินทรีย์มากขึ้น วิธีการผสมทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เครื่องกวนแบบใบพัด การกวนด้วยก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหมักและการใช้ปั๊มหมุนวนสารอาหารในถังหมัก

2.3 รูปแบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน

รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ วีรพันธุ์ เกียรติภักดิ์ (2537), สมยศ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ (2536)

2.3.1 ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า

ระบบถังหมักแบบนี้จะไม่มีการกวนหรือให้ความร้อนแก่ถังหมัก ประสิทธิภาพของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในถังหมักแบบนี้จะอยู่ในช่วง 60-80 เปอร์เซ็นต์ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักของสาร แต่เป็นระบบที่ง่ายและสะดวกต่อการควบคุมดูแล ลักษณะรูปแบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าที่มีใช้ในประเทศไทยโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

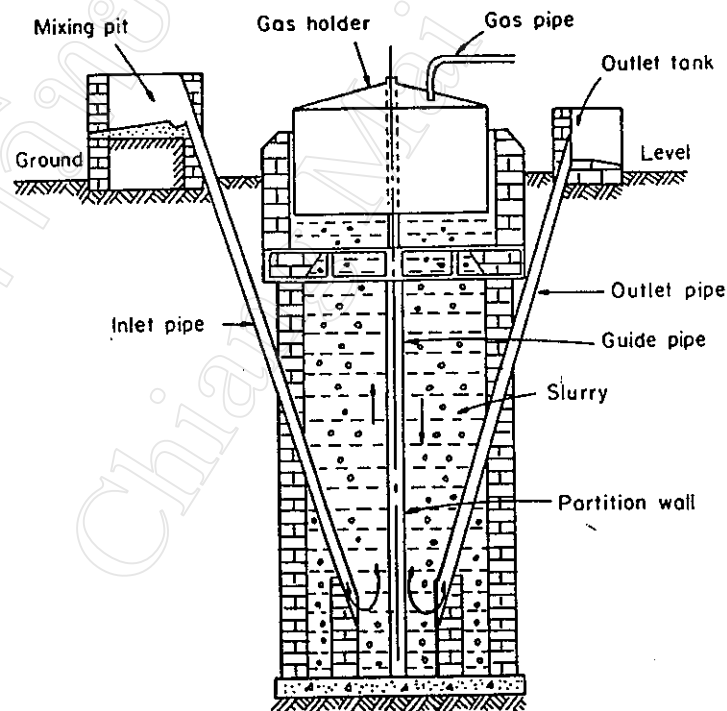
- ถังหมักช้าแบบลูกลอย

ถังหมักช้าแบบนี้เป็นรูปแบบมาจากประเทศอินเดีย ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นรูปทรงกระบอกที่สร้างด้วยคอนกรีตหรือโลหะและติดตั้งอยู่ใต้ดินหรือผิวดินซึ่งถังหมักแบบนี้จะมีท่อเติมน้ำเสียและท่อล้นออกแบบง่าย ๆ การติดตั้งจะให้ปลายท่อเติมน้ำเสียจมอยู่ทางด้านบนของถังหมัก และปลายของท่อน้ำล้นจมอยู่ทางด้านล่างของถังหมักส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อเป็นทางเดินสำหรับส่วนที่ผ่านการหมักแล้ว สำหรับส่วนที่ใช้เป็นที่เก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะมีฝาครอบซึ่งลอยน้ำอยู่และมีน้ำหนักกดทับบนฝาครอบเพื่อสร้างแรงดันของก๊าซชีวภาพให้มีค่าสูงเพื่อ

สามารถส่งไปตามท่อต่อไปใช้งานต่อไป ผ่ากรอบแบบลอยนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังหมักดังรูป 2.4

- ถังหมักข้าวแบบโดมคงที่

ถังหมักข้าวแบบโดมคงที่เป็นรูปแบบมาจากประเทศจีน ลักษณะของถังหมักและที่เก็บก๊าซจะเป็นรูปครึ่งวงกลมฝังอยู่ใต้ดินการก่อสร้างจะใช้วิธีเทคอนกรีตและก่ออิฐ ถังหมักแบบนี้จะมีท่อเติมจมอยู่ด้านบนของถังหมักในส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อใช้สำหรับเติมน้ำเสีย และปลายท่อดันจมอยู่ทางด้านล่างของถังหมักโดยที่ปลายท่อดันส่วนบนจะติดอยู่กับถังด้านบนเพื่อให้น้ำหนักของถังดันเป็นตัวกดให้ก๊าซชีวภาพในส่วนบนของถังหมักมีแรงดันส่งไปตามท่อส่งก๊าซ เพื่อใช้งานและยังใช้เป็นทางออกของน้ำที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วยปัจจุบันถังหมักแบบโดมคงที่นิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก ดังรูป 2.5

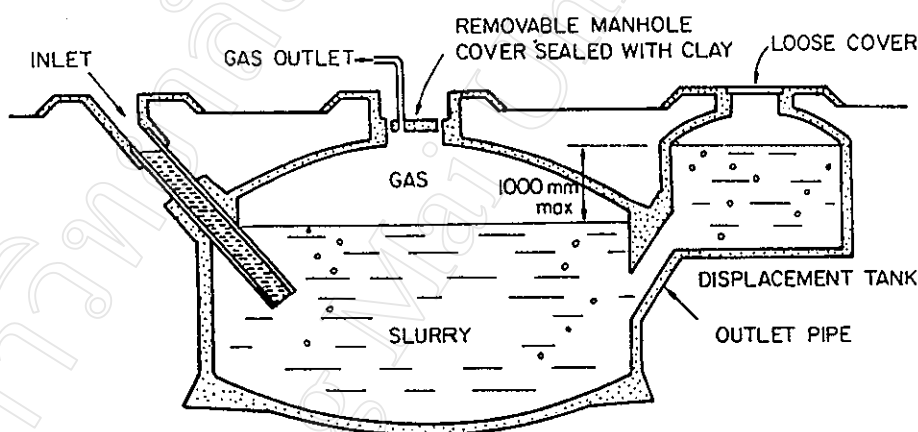


รูป 2.4 ถังหมักข้าวแบบลูกลอย

ที่มา : Polprasert, 1989

- ถังหมักช้าแบบราง

เป็นถังหมักซึ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้มีลักษณะยาวคล้ายราง โดยความยาวของรางจะมากกว่าความกว้างไม่น้อยกว่า 4-5 เท่า จะมีท่อเติมและท่อล้นออกอยู่ส่วนหัวและส่วนท้ายของถังหมักตามลำดับ ปลายท่อเติมและท่อล้นจะจมอยู่ในของเหลว ส่วนบนของถังหมักจะมีพลาสติกคลุมอยู่เพื่อใช้เป็นที่เก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยปลายของพลาสติกจะจมอยู่ในของเหลวเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของก๊าซออกนอกระบบ ส่วนของถังหมักจะจมอยู่ใต้ดินและมีส่วนเก็บก๊าซอยู่บนผิวดิน ถังหมักแบบรางนิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ แต่ก๊าซชีวภาพที่เก็บภายในพลาสติกจะมีความดันน้อยมากดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้ก๊าซที่มีความดันสูงจำเป็นต้องมีเครื่องส่งก๊าซที่เพิ่มความดัน ดังรูป 2.6



รูป 2.5 ถังหมักช้าแบบโดมคงที่

ที่มา : Polprasert, 1989

2.3.2 ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว

ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วนี้เป็นการพัฒนาเพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูงและน้ำบดตะกอน โดยระยะเวลาเก็บกักค่อนข้างสั้นซึ่งก็ขึ้นกับชนิดและลักษณะของน้ำเสียที่เข้าระบบซึ่งระบบนี้พัฒนาเพื่อให้ขนาดของถังหมักมีขนาดเล็กลงและมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ซึ่งวิธีการก็คือ หาตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวสูงให้จุลินทรีย์เกาะ

รูป 2.6 ถึงหมักข้าวแบบบราจ
ที่มา: วีรพันธุ์ เกียรติภักดิ์, 2537

คิดเป็นเมื่อกหรืออาจตกตะกอนจุลินทรีย์ที่มากับน้ำล้น แล้วสูบตะกอนหมุนเวียนเข้าถังหมักอีกครั้ง หรือทำการควบคุมความเร็วของน้ำเสียที่ไหลเข้าถังหมักอย่างเหมาะสม จนเกิดเม็ดเงินขนาดใหญ่ขึ้น ของจุลินทรีย์ที่เกาะกันแน่น รูปแบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกได้ดังนี้คือ

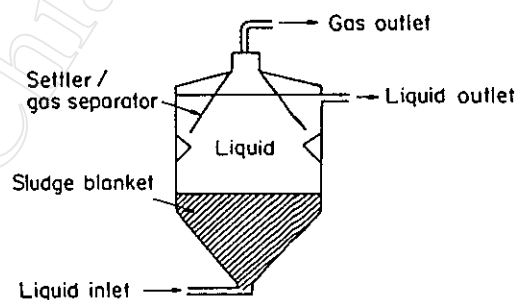
-ระบบแอนาโรบิคคอนแทค (Anaerobic Contact Process)

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลายประเภทสามารถทำให้คงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ระบบนี้ ระบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบเอเอส (Activated Sludge) แต่แตกต่างกันตรงที่ ระบบนี้เป็นระบบปิดเพื่อให้เกิดภาวะไร้ออกซิเจน โดยน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจะถูกทำให้เกิด การผสมกันอย่างสมบูรณ์และภายหลังการย่อยสลายน้ำล้นจะถูกส่งลงไปยังถังตกตะกอนจากนั้น กากของตะกอนจุลินทรีย์จะถูกสูบกลับเข้าถังหมักรวมกับน้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง

-ระบบยูเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process, UASB)

เป็นถังหมักที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะแต่อาศัยการพัฒนาโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์ในถังหมัก น้ำเสียจะถูกสูบเข้าทางด้านล่างของถังหมักโดยควบคุมอัตราการ ไหลให้เหมาะสมที่จะไม่ทำให้กลุ่มก้อนของจุลินทรีย์แตกออก น้ำเสียไหลผ่านชั้นของกลุ่มก้อน จุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ก้นถังจากนั้นจุลินทรีย์ดังกล่าวก็จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ระบบถังหมักแบบยูเอสบีนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับแยกของแข็ง-น้ำ-ก๊าซ ในส่วนบนของถัง หมักเพื่อทำหน้าที่แยกก๊าซออกจากกลุ่มของจุลินทรีย์ซึ่งลอยขึ้นมาหลังจากผ่านการบำบัดแล้วเพื่อ ไม่ให้ตะกอนของจุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำล้นซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลาย ดัง

รูป 2.7

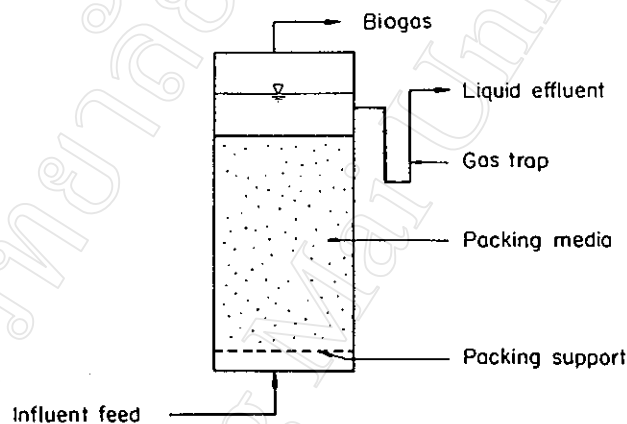


รูป 2.7 ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบยูเอสบี

ที่มา : Polprasert, 1989

- ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

ระบบถังหมักชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกภายในบรรจุด้วยตัวกลาง เช่น หิน กรวด หรือตัวกลางที่เป็นพลาสติก เพื่อให้ตัวกลางภายในถังหมักเป็นตัวให้อินทรีย์เกาะยึด โดยที่ตัวกลางที่บรรจุในถังหมักต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ๆ เพื่อให้มีปริมาณจุลินทรีย์มากพอต่อการย่อยสลาย น้ำเสียจะถูกทำให้ไหลผ่านชั้นตัวกลางที่มีเมือกของแบคทีเรียเกาะอยู่เป็นชั้นและสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดังกล่าว การป้อนสารอาหารหรือน้ำเสียเข้าสู่ระบบถังหมักส่วนใหญ่จะใช้วิธีปล่อยให้ไหลขึ้น โดยการเติมเข้าทางด้านล่างของถังหมักและให้ไหลขึ้นออกทางด้านบน ดังรูป 2.8



รูป 2.8 ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบถังกรองไร้อากาศ

ที่มา : Polprasert, 1989

2.3.3 การหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน

ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้ได้ก๊าซมีเทนนั้น เป็นการทำงานของจุลินทรีย์สองกลุ่มใหญ่ที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแตกต่างกันการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน จะทำให้ระบบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการแยกจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มออกจากกันโดยวิธีการแยกถังหมักและจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่ม ถึงแรกจะถูกควบคุมให้สภาพ

แวดล้อมเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์สร้างกรด ขณะเดียวกันถึงที่สองรับผลผลิตที่เกิดขึ้นจากถังแรกก็
จะจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน การแยกขั้นตอนการ
ทำงานของจุลินทรีย์ออกจากกันนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

ก. ข้อดีของการหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน

- สามารถรักษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มได้
- ช่วยลดขนาดของถังหมักได้ ทำให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการก่อสร้างและ
ในการเดินระบบ

- มีอัตราการทำให้ของแข็งคงสภาพสูง เพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและมี
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนสูง

- ลดความต้องการความร้อน และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนอีกด้วย
- เหมาะสำหรับติดตั้งร่วมกับระบบบำบัดที่มีอยู่แล้ว โดยเสียค่าใช้จ่ายในการลง
ทุนต่ำ

- ลดองค์ประกอบของไนโตรเจนที่ออกจากระบบ โดยการย่อยสลายได้เป็นสาร
ละลาย และเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังสร้างกรด

ข. ข้อเสียของการหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน

- ต้องมีการควบคุมสถานะของระบบอย่างใกล้ชิด และต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ
ในการดูแลระบบ

- ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มในการติดตาม ตรวจสอบและควบคุมระบบ

2.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานเชื้อเพลิงซึ่งได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์กลุ่ม
สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์จะเป็นตัวชี้ให้ทราบ
ถึงประสิทธิภาพของระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยก๊าซ
มีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่โดยที่จะมีก๊าซมีเทนอยู่ประมาณ 55-65
เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 33-44 เปอร์เซ็นต์ Diaz (1993) ทั้งยังมีก๊าซชนิด
อื่นเกิดขึ้นอีกเล็กน้อยเช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย
 เป็นต้น ลักษณะทางเคมีของก๊าซมีเทนคือ มีความเสถียร ละลายน้ำ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส
 ลักษณะสำคัญทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงใน ตาราง 2.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดเป็นตัวชี้ถึง
ประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ปริมาณก๊าซมีเทนในส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพก็
เป็นตัวชี้ที่สำคัญมาก การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเป็นสิ่งที่บ่งบอก

ถึงความเสถียรของระบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า 24-29 เปอร์เซนต์ของก๊าซมีเทนจะมาจากการเปลี่ยนรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการที่ระบบจะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติ อาจจะสันนิษฐานขึ้นต้นได้ว่าการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนถูกยับยั้งเพราะคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตขึ้นมาไม่ถูกนำไปใช้ในการสร้างมีเทน

ตาราง 2.2 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน

สูตรเคมี	CH ₄
มวล โมเลกุล	16.042
จุดเดือดที่ 14.696 psia (760 มม.)	-161.49 °ซ
จุดเยือกแข็งที่ 14.696 psia (760 มม.)	-182.48 °ซ
ความดันวิกฤต	47.363 กิโลกรัม/ซม ²
อุณหภูมิวิกฤต	-82.5 °ซ
ความถ่วงจำเพาะ	
สถานะของเหลว: -164 °ซ	0.415
สถานะก๊าซ: 25 °ซ และ 770 มม.	0.000658
ปริมาตรจำเพาะ: 15.5 °ซ และ 760 มม.	1.47 ลิตร/กรัม
ค่าความร้อน: 15.5 °ซ และ 760 มม.	38,130.71 กิโลจูล/ม ³
ความต้องการอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ม ³ /ม ³	0.27 ม ³
Flammability Limits	5 to 15 % โดยปริมาตร
Octane Rating	130
อุณหภูมิในการติดไฟ	650 °ซ
สมการการเผาไหม้	CH ₄ + 2O ₂ -----> CO ₂ + 2H ₂ O
O ₂ /CH ₄ สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	3.98 โดยน้ำหนัก
O ₂ /CH ₄ สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.0 โดยปริมาตร
CO ₂ /CH ₄ สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.74 โดยน้ำหนัก
CO ₂ /CH ₄ สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	1.00 โดยปริมาตร

ที่มา : Diaz , 1993

ถึงอย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของระบบด้วย โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเกลือ-

ไบคาร์บอเนตของแอมโมเนียไปจับกับอนุพลของกรดอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ แต่สำหรับการลดลงของเปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างกระทันหันเกิดขึ้นได้จากการป้อนสารเคมีเพื่อปรับพีเอชของระบบ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น สารประกอบพวกนี้จะไปจับกับคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็น เชื้อเพลิงให้แสงสว่าง ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ โดยที่ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน 500-700 บีทียู/ฟุต³ Diaz (1993) หรือ 4,500-6,300 กิโลแคลอรี/ม³ ซึ่งก๊าซชีวภาพปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ 1 แรงม้า ได้นาน 2 ชั่วโมง หรือเพียงพอต่อการปั่นไฟฟ้าได้ 1.25 กิโลวัตต์-ชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถให้แสงสว่างจากตะเกียงก๊าซที่มีความสว่าง 60-100 วัตต์ได้นาน 6 ชั่วโมง เป็นต้น Polprasert (1989) ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเสียและชนิดของเสีย ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตออกมาได้จากสารอินทรีย์ของของเสียต่าง ๆ

ชนิดของเสีย	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ล./กก.ของสารอินทรีย์ตากแห้ง)
1. กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน	600
2. มูลฝอยจากชุมชน	300
3. น้ำเสียจากโรงงานเบียร์	440
4. เปลือกกล้วย	450
5. อุจจาระหมู	405
6. เปลือกของต้นอ้อย	500
7. หญ้า	550

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539

2.5 สัญญาณเตือนถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

เมื่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเกิดการเสียสมดุลขึ้นจะต้องมีการแก้ไขทันที มิฉะนั้นแล้วการแก้ไขภายหลังจะกระทำได้ยากและต้องอาศัยเวลา การเสียสมดุลจะเกิดขึ้นโดยมีสัญญาณเตือนเหตุหลายอย่างดังต่อไปนี้

2.5.1 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์

โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ประมาณ 200-400 มก./ล ในรูปของกรดอะซิติก อาจถือเป็นสัญญาณที่แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนทำงานได้ดี อย่างไรก็ตาม ปริมาณของกรดยังไม่สำคัญเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรด ดังหมักอาจทำงานได้

ดีแม้มีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงกว่า 1000 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสียสมดุลเกิดขึ้นกับถังหมัก การเพิ่มอย่างรวดเร็วและทันทีของความเข้มข้นกรดอินทรีย์ แสดงว่ามีบางอย่างเกิดขึ้นทำให้เกิดการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้สร้างก๊าซมีเทน หรือทำให้การเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

2.5.2 ระดับความเป็นด่างไบคาร์บอเนต

สภาพด่างบอกให้ทราบถึงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์เหลืออยู่เท่าใด ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็อาจจะทำให้พีเอชลดลงอย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1500-2000 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ปัจจัยที่สำคัญกว่าระดับของสภาพความเป็นด่างก็คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดโวลาทิล (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก) ต่อระดับของความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) ทรายไคที่อัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีกำลังบัฟเฟอร์สูง การเพิ่มของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณของการเสียสมดุลของระบบ และแสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลง และไม่เพียงพอถ้าอัตราส่วนนี้มากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบไร้ออกซิเจนกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยของ กรดระเหยง่าย

2.5.3 ระดับพีเอช

พีเอชไม่ใช่สัญญาณที่เร็วพอจะบอกถึงการทำงานของระบบได้ทันทั่วทั้งนี้เพราะความเสียหายจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชของระบบจะลดลง อย่างไรก็ตามข้อมูลของพีเอชยังมีความสำคัญ เพราะว่าจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด โดยเฉพาะชนิดที่สร้างก๊าซมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงแคบ ๆ ของพีเอชเท่านั้น ถ้าไม่มีการควบคุมให้พีเอชมีค่าเป็นกลางการเติบโตของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนก็จะถูกยับยั้งทำให้ระบบล้มเหลวได้

2.5.4 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic Activity ของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนและถือเป็นเครื่องมีอวินิจฉัยสมรรถนะของระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่มีความสำคัญมากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิตเพราะเป็นสัญญาณที่บอกว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

2.5.5 สัญญาณอื่น

สัญญาณที่อาจบอกถึงการเสียสมดุลของระบบไร้ออกซิเจนอีก 2 ชนิด ได้แก่ องค์ประกอบของก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซ เนื่องจากสัญญาณทั้งสองชนิดเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาร่วม

กันอย่างซับซ้อนของจุลินทรีย์ทั้งสองประเภท การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยมักไม่เป็นเครื่องชี้สมรรถนะของระบบที่น่าเชื่อถือได้ การเสียดสมมูลย์ของจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทมักทำให้อัตราการสร้างก๊าซมีเทนลดลงและการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซนี้มักเกิดก่อนมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้

2.6 มูลฝอยชุมชนและการแบ่งประเภทของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน (ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541)

มูลฝอยชุมชน หมายถึง วัสดุที่เหลือใช้และไม่เป็นที่ต้องการของมนุษย์ ปัจจุบันปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ มูลฝอยชุมชนได้แก่ มูลฝอยจากอาคารบ้านเรือนที่พักอาศัยเช่น เศษอาหาร เศษพลาสติก เศษกระดาษที่เหลือทิ้งจากการใช้งาน เศษใบไม้ เป็นต้น ซึ่งปริมาณลักษณะและส่วนประกอบของมูลฝอยจะแตกต่างกันไปทั้งนี้จะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ เช่น ฐานะทางเศรษฐกิจ วัฒนธรรม ความเป็นอยู่ ของแต่ละถิ่นที่เกิดมูลฝอย จากการศึกษาปริมาณและลักษณะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ รพีสรร ศาสน์ส (2532) พบว่ามูลฝอยในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่มีความหนาแน่นปกติอยู่ในช่วง 0.14-0.38 ตัน/ลบ.ม ความชื้นอยู่ในช่วง 42-70 เปอร์เซ็นต์และมีปริมาณของแข็งรวม 30-58 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวก ผัก เศษอาหาร กระดาษ และเศษพลาสติก การแบ่งประเภทของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนมีการแบ่งดังนี้

2.6.1 การแบ่งเป็นระบบเปียกและแห้งดังนี้

- ก) ระบบเปียก มูลฝอยอินทรีย์จะถูกป้อนในรูป Slurry ซึ่งมีของแข็งอยู่ร้อยละ 10-15
- ข) ระบบแห้ง มูลฝอยอินทรีย์จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบโดยมีของแข็งอยู่ร้อยละ 20-24

2.6.2 การแบ่งเป็นการเติมครั้งเดียวหรือระบบต่อเนื่อง การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

- ก) ระบบการเติมครั้งเดียวมูลฝอยจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบและถูกหมักในช่วงเวลาระยะเวลาหนึ่งแล้วถูกนำออกมา มูลฝอยสดก็จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบใหม่
- ข) ระบบการเติมต่อเนื่อง มูลฝอยจะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ถังหมัก มูลฝอยจะถูกหมักในถังช่วงเวลาหนึ่งแล้วจะถูกนำออกจากถังหมักอย่างต่อเนื่อง

2.6.3 ระบบถังหมักเดียวและหลายถัง การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

- ก) ระบบถังหมักถังเดียว การหมักมูลฝอยจะใช้ถังหมักมูลฝอยถังเดียว

ข) ระบบถังหมักหลายถัง การหมักมูลฝอยจะใช้ถังหมักหลายถัง เช่น ระบบถังหมัก 2 ถัง โดยถังแรกเป็นถังสร้างกรดและถังที่ 2 เป็นถังสร้างก๊าซมีเทน

2.6.4 ระบบหมักที่ใช้ถังหมักร่วมกับสารอินทรีย์อื่นหรือหมักมูลฝอยอย่างเดียว การแบ่งแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ก) ระบบหมักมูลฝอยร่วมกับสารอินทรีย์อื่น วัสดุที่ใช้หมักรวมมักใช้เป็นมูลสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารทำให้การหมักเกิดขึ้นได้ดี

ข) ระบบหมักมูลฝอยอย่างเดียว การหมักจะใช้มูลฝอยเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว แต่เดิมมีการใช้มูลฝอยอินทรีย์เท่านั้นปัจจุบันเริ่มมีการหมักมูลฝอยอื่น ๆ บ้างแล้ว

2.6.5 ข้อดีของการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจน (ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541)

ก) ธรรมชาติของมูลฝอยอินทรีย์จะแปรเปลี่ยนไปตาม ที่ตั้งและเวลา ในหน้าฝนจะมีปริมาณการปลูกผักและผลไม้ มากกว่าในหน้าแล้ง ซึ่งจะทำให้มีความหลากหลายในด้านอัตราส่วนของ C:N และมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

ข) การกวนของมูลฝอยไม่พอเพียงจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

ค) มูลฝอยที่มีชื้นใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการอุดตัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในระบบที่มีการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ถังหมักอย่างต่อเนื่อง

2.6.6 ข้อดีของการใช้มูลฝอยชุมชนในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ก) ในกรณีที่มีการนำกากตะกอนที่ได้จาก ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนไปฝังกลบ ทำให้สามารถทำการฝังกลบได้ง่ายขึ้นเนื่องจากกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะไม่ก่อให้เกิดก๊าซและน้ำชะมูลฝอยออกมาเมื่อนำไปฝังกลบ

ข) สามารถเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นก๊าซต้นเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

ค) ของแข็งหรือตะกอนที่เหลือจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้

2.7 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

De Laclos et. al. (1997) ทำการศึกษาระบบกำจัดมูลฝอยจากโรงงานหมักมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจนของโรงงาน Valorga ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเป็นโรงงานขนาดกำลังผลิต 52,000 ตันต่อปี โดยใช้มูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดแยกแล้ว การป้อนสารเข้าสู่ระบบเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง แห้ง และการย่อยสลายเป็นแบบขั้นตอนเดียวโรง

งานประกอบด้วย ถังหมักแบบไร้ออกซิเจน 2 ถัง มีปริมาตรรวม 3,300 ม³ โดยที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง มีโซฟิลิก ที่ 40 °ซ มุลฝอยที่ใช้ในการย่อยสลายประกอบด้วยเศษอาหาร และเศษใบไม้ เป็นหลัก ซึ่งลักษณะมุลฝอยโดยทั่วไปคือปริมาณและคุณภาพจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและทำการบดผสม ให้มีค่าของแข็งรวมเท่ากับ 30 เปอร์เซนต์โดยผสมกับน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนก่อนป้อนเข้าสู่ระบบและมีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วง 10.4-15.2 กก.VS/(ม³.-วัน) ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ อยู่ในช่วง 210-290 ม³/(ตัน.VS) ในช่วงฤดูหนาวจะเป็นมุลฝอยจำพวกเศษอาหารมากกว่าพวกเศษ ใบไม้ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าพวกเซลลูโลสจากเศษใบไม้ การศึกษาความเสถียร ของระบบจะใช้กระดาษเย็บง่าย สภาพต่างและแอมโมเนีย เป็นตัวติดตามและตรวจสอบระบบ ส่วน ของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกนำไปตกตะกอนจากนั้นกากตะกอนที่ได้จะนำไปรีดน้ำออก แล้ว เก็บเข้าสู่ที่เก็บที่มีอากาศถ่ายเทได้เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินต่อไป

Kayhanian and Rich (1995) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสารอาหารหลัก (Macro-nutrient) และสารอาหารรอง (Micro-nutrient) ในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในสภาพแห้ง (เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดสูงคือในช่วง 23-30 เปอร์เซนต์) และมีอุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิก ที่ 53-60 °ซ ซึ่งใช้ถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ (Complete-mixed) มีปริมาตร 2,250 ลิตร มีอัตราการ บรรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าถังหมักในช่วง 8.9-12 กก.VS/(ม³.-วัน) โดยใช้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย ได้จากมุลฝอยชุมชน ซึ่งมีปริมาณสารอาหารขาดแคลนสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ โดยการผสมสาร อินทรีย์จากแหล่งอื่นที่มีปริมาณสารอาหารเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์เข้าไปในกระบวนการย่อย สลายมุลฝอยชุมชน ดังนั้นจึงเหมือนกับว่าเป็นการเติมปริมาณสารอาหารให้แก่ระบบ สารอินทรีย์ที่ เติมเข้าไปในระบบได้แก่ สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย มูลสัตว์ สารละลายเคมีที่เป็นสารอาหาร พบว่าการเติมสารอินทรีย์เข้าไปอีก 2 อย่าง คือ สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียกับมูลสัตว์ทำให้อัตรา การเกิดก๊าซมีเทนสูงขึ้นและระบบมีความคงตัวสูงขึ้นอีกด้วย

สมยศ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ (2536) ทำการศึกษาเรื่องการจัดมุลฝอยจากตลาดสดโดย กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการย่อย สลาย และหาอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ที่ระยะเวลาเก็บกักในถังสร้างก๊าซเท่ากับ 10.2 15.1 และ 19.7 วัน โดยมีค่าอัตราการบรรทุกของสารอินทรีย์เท่ากับ 0.55 0.43 0.31 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตรต่อวันและมีเวลาเก็บกักในถังสร้างกรดเท่ากับ 0.89 วัน จากการทดลองพบว่า การกำจัดมุลฝอย จากตลาดสด ในรูปชีโอดีทั้งหมดจะเกิดสูงสุดในถังสร้างก๊าซ โดยมีค่าการกำจัด 82.49-89.32 เปอร์เซนต์ และที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 10.2 วันจะมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 20.7 ลิตรต่อ วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีทั้งหมดที่เติมเท่ากับ 0.28 ลิตรต่อกรัม ปริมาณก๊าซมีเทน

วัดได้มีค่าเท่ากับ 61.2-63.4 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 24.0-26.7 เปอร์เซ็นต์

Mtz.-Viturtia et. al. (1995) ได้ทำการทดลองศึกษาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของมูลฝอยชุมชนจากผักและผลไม้ ชนิดสองขั้นตอนโดยมีการป้อนสารเข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่อง ซึ่งถังสร้างกรดมียขนาดเท่ากับ 1.3 ลิตร และถังสร้างก๊าซมีเทนชนิด Hybrid มีปริมาตรเท่ากับ 0.5 ลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ได้ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์คือ 3.1 6.3 9.4 12.6 กก.VS/(ม³-วัน) ผลปรากฏว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยง่าย คือ 72.4 53.1 37.5 27.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลผลิตของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นคือ 1.96 2.88 2.91 2.52 ม³/(ม³-วัน) ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ๆ จะมีผลต่อขั้นตอนการสร้างกรดมามากกว่าที่ขั้นตอนการสร้างมีเทน เพราะถ้ามีกรดระเหยง่ายต่ำ ๆ การแยกสองขั้นตอนจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการย่อยสลายชนิดสองขั้นตอนจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมสภาวะของระบบอย่างมากเช่น ควบคุมพีเอช อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็นต้นในทั้งสองถังเพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบ

Pavan et. al. (1999) ทำการศึกษาการทำงานภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันของระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน ทำการทดลองโดยใช้มูลฝอยที่ผ่านการแยกเอาส่วนที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากมูลฝอยชุมชน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษผักผลไม้จากตลาดสด ลักษณะของถังหมักประกอบด้วยถังสร้างกรดปริมาตร 0.8 ลูกบาศก์เมตรและถังสร้างก๊าซมีเทนปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของถังสร้างกรดให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลลิก (35°C) และถังสร้างก๊าซควบคุมอุณหภูมิในช่วง เทอร์โมฟิลลิก (55°C) ทำการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบไม่ต่อเนื่องคือ 4 ครั้งต่อวัน โดยที่ให้อายุเก็บกักของสารในถังสร้างกรดเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1-6.6 วัน ส่วนถังสร้างก๊าซมีเทนให้อายุเก็บกักเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 7.7-18.4 วัน ซึ่งเทียบเป็นค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4.1-36.2 กก.VS/(ม³-วัน) ในถังสร้างกรดและเท่ากับ 4.1-9.5 กก.VS/(ม³-วัน) ในถังสร้างก๊าซ จากการทดลองพบว่าที่อายุเก็บกักรวมของระบบเท่ากับ 12 วัน จะให้อัตราการผลิตก๊าซประมาณ 0.6 ม³/(กก.VS) และช่วงอายุเก็บกักของสารที่อยู่ในระบบที่สามารถทำงานได้ดี คือ 2-3 วันในถังสร้างกรดและ 8-9 วัน ในถังสร้างก๊าซมีเทน นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนกับขั้นตอนเดียวในสภาพเทอร์โม-ฟิลลิกพบว่าระบบย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอนจะให้ผลดีกว่าการย่อยสลายแบบขั้นตอนเดียว

Cecchi et. al. (1989) ทำการศึกษาการทำงานของระบบย่อยสลายมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ถังหมักจำลองมีขนาด 3 ลูกบาศก์เมตรทำงานภายใต้อุณหภูมิช่วงมีโซฟิลลิก

($37^{\circ}\text{ซ} \pm 5^{\circ}\text{ซ}$) โดยใช้มูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกแล้วจากโรงงาน S. Giorgio di Nogoro ประเทศอิตาลี ซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งสูงสุดคือ 20 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งรวมและทำการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ คือ 4.1 3.4 และ 6.8 กก.VS/(ม³·วัน) พบว่าการบำบัดของแข็งระเหยง่ายเป็น 25 30 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเป็น 0.9 0.88 และ 1.58 ม³/(ม³·วัน) จากการศึกษาปฏิกิริยาของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นปฏิกิริยา 1st-order โดยมีค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์ (k) เท่ากับ 0.0003 วินาที⁻¹

Cecchi et. al. (1993) ทำการศึกษาการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนส่วนที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 5 เดือนเริ่มตั้งแต่ 18 พฤษภาคม 1992 ไปจนถึง 27 กันยายน 1992 โดยแบบจำลองเป็นถังย่อยสลายขนาด 3 ลูกบาศก์เมตรโดยทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลลิก (37°ซ) ไปจนถึงเทอร์โมฟิลลิก (55°ซ) และมีการกวนภายในถัง ความดันของก๊าซภายในถังถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 180-200 มม. มูลฝอยชุมชนที่ใช้ทำการทดลองมีการผสมด้วยน้ำเพื่อให้มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาและทำการป้อนมูลฝอยเข้าถัง 2 ครั้งต่อวัน จากการศึกษาพบว่าภายในถังปฏิกิริยา มีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่วัน และระบบทำการปรับตัวอย่างช้า ๆ โดยใช้เวลาประมาณ 1 เดือนจึงเข้าสู่ระยะสภาวะคงตัวครั้งที่ 1 ซึ่งมีอุณหภูมิ พีเอชและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนคงที่ หลังจากนั้นประมาณ 7 เดือน อุณหภูมิ พีเอช และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มไม่คงที่และเข้าสู่สภาวะคงตัวครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 8 เดือน พบว่าการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของมลสารในพารามิเตอร์ ของแข็งระเหยง่าย ซีไอดี และทีไอซี ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็สูงกว่าเช่นกัน

Jukka and Kimmo (1996) ทำการศึกษาลักษณะของก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของมูลฝอยชุมชนและตะกอนที่อุณหภูมิช่วงมีโซฟิลลิก (37°ซ) ซึ่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 2 ปี เริ่มจาก 26 กุมภาพันธ์ 1993 ถึงกุมภาพันธ์ 1996 โดยระบบที่ใช้งานจริงตั้งอยู่ที่ประเทศฟินแลนด์ ถึงปฏิกิริยามีขนาด 1500 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของของเสียประมาณ 1400 ลูกบาศก์เมตร มีการกวนภายในถังโดยใช้ก๊าซหมุนเวียนซึ่งมูลฝอยที่นำมาใช้เป็นมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดแยกเอาส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ออกแล้วนำมาผสมกับตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นแล้วเก็บไว้ในถังเก็บเป็นเวลา 3 วัน ระหว่างสัปดาห์ก่อนสูบเข้าถังปฏิกิริยาด้วยอัตรา 2.5-4.1 กก.VS/(ม³·วัน) จากผลการทดลองพบว่า การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนระหว่างมูลฝอยชุมชนและตะกอนให้ก๊าซมีเทนสูงถึงร้อยละ 50 โดยปริมาตรต่อปริมาตรมูลฝอยชุมชนและตะกอน อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะแปรเปลี่ยนไปตามรูปแบบและปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยา พบว่าการย่อยสลายที่มีการผสมตะกอนจะสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าการย่อยมูลฝอยชุมชนเพียงอย่างเดียว

Hans and Rita (1999) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายสารอินทรีย์ของมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิและเวลาเก็บกักต่างกันเป็นระยะเวลา 7 เดือน โดยแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ถัง ซึ่งแต่ละถังจะป้อนมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการบดแล้วด้วยอัตรา 7-8 กก./(ม.³-วัน) โดยถังแรกและถังที่สองควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลลิก (37 °ซ) ซึ่งถังใบแรกจะให้มีเวลาเก็บกัก 14 วัน ถังที่ 2 ลดเวลาลงเหลือ 12 9 และ 7 วันตามลำดับ ถังที่สามทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลลิก (55 °ซ) ที่เวลาเก็บกัก 12 9 และ 7 วันตามลำดับจากการศึกษาพบว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงจะให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ดีกว่าอุณหภูมิต่ำและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าเช่นกัน และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักสารทำให้การย่อยสลายและการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มตามเช่นกัน

Oleszkiewicz (1997) ได้ทำการศึกษากการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแบบไร้ออกซิเจนโดยให้มีความเข้มข้นสูง ถึงปฏิกิริยาที่ใช้มีจำนวน 3 ถัง โดยถังใบแรกมีขนาด 100 ลิตรมีการกวนภายในถัง ส่วนอีก 2 ถังมีขนาด 40 ลิตร ไม่มีการกวนภายในถัง มูลฝอยที่ใช้ประกอบไปด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 2.25 กก. กระดาษอย่างดี 2.25 กก. ซึ่งถูกบดตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปผสมกับตะกอนจากระบบบำบัดมูลฝอยชุมชน 9 กก. และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่เปลือกและเศษมันฝรั่งจากอุตสาหกรรมผลิตมันฝรั่ง 4.5 กก. เศษอาหาร 6 กก. และน้ำ 5 กก. เพื่อปรับให้ของเสียรวมมีความเข้มข้นทั้งหมดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาด้วยอัตรา 9 กก./VS/(ม.³-วัน) โดยที่ควบคุมอุณหภูมิให้ถังปฏิกิริยามีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลลิก (55 °ซ) พบว่าการย่อยสลาย มูลฝอยและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม่มีประสิทธิภาพดี เมื่อมีเวลาในการย่อยสลาย 21-28 วันและใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบประมาณ 3 สัปดาห์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่า 200-300 ล./กก.VS นอกจากนั้นยังพบว่าการย่อยสลายของเศษอาหาร เศษกระดาษและตะกอนได้ผลดีที่สุดเมื่อมีปริมาณของแข็งรวมอยู่ในช่วง 30-35 เปอร์เซ็นต์ การย่อยสลายในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพในการลดลงของของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่ประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนลดลงเมื่อเวลาเก็บกักน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามตะกอนและน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนยังไม่เสถียรพอต้องนำไปทำการบำบัดต่อไป