

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาที่ใช้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนหลายกลุ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และสลับซับซ้อนอันได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซซึ่งประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด โดยมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงโดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้โดยสามารถนำไปเผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีกระบวนการที่สลับซับซ้อนมาก โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นนับร้อยกระบวนการซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยาด้วย แม้ว่าการศึกษาเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีการศึกษากันมาอย่างยาวนานแต่ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านนี้ก็ยังไม่หยุดนิ่งยังคงมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทราบถึงกลไกและลักษณะการทำงานของแบคทีเรียในการสร้างก๊าซชีวภาพจากของเสียต่างๆ ซึ่งจะทำให้การออกแบบและควบคุมระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.1 แบคทีเรีย

การย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายชนิด ในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ก๊าซชีวภาพมีแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหลายกลุ่มเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยอาจแบ่งตามลักษณะสภาวะการดำรงชีพของแบคทีเรียได้เป็น 2 พวกคือ

-Facultative Anaerobic Bacteria หรือแบคทีเรียที่สามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน

-Obligate Anaerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้นซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะไม่สามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และดำรงชีพอยู่ได้หากระบบมีการละลายของออกซิเจนอิสระ

นอกจากการแบ่งตามสภาวะการดำรงชีพของแบคทีเรีย ยังสามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

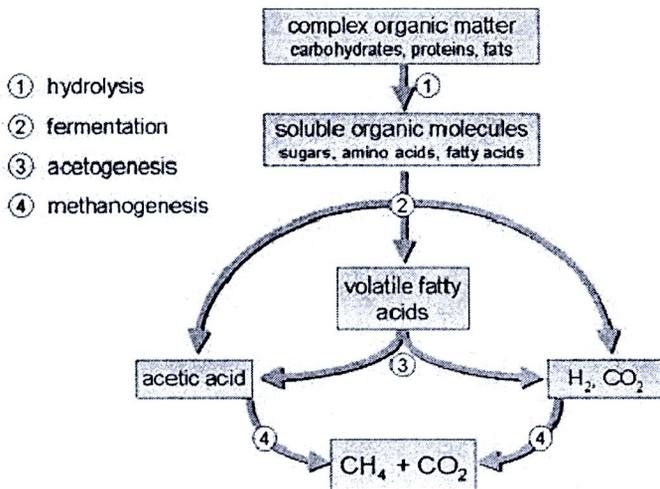
-แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acid Forming Bacteria) เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Facultative Anaerobic Bacteria และแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Pseudomonas*, *Flavobacteria*, *Aerobactor* และ *Escherichia* เป็นต้น

-แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Forming Bacteria) เป็นแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอย่างแท้จริงจะย่อยสลายพวกกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, *Methanococcus* และ *Methanobacillus* เป็นต้น โดยเป็นจีโนสในตระกูล *Methanobacteriaceae* ซึ่งมีการเจริญเติบโตได้ช้า โดยทั่วไปต้องการเวลาเก็บกักตะกอน (Solid Retention Time, SRT) มากกว่า 4 วัน ทั้งนี้แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทนจะต้องดำรงชีพแบบพึ่งพาซึ่งกันและกัน

-แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสีย โดยเป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนซัลเฟตในน้ำให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้แบคทีเรียชนิดดังกล่าวจะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (พีเอชประมาณ 5) แต่ในขณะที่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตทำงานได้ดีจะส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนลดการผลิตก๊าซมีเทนลง เนื่องจากช่วงพีเอชและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงจะต้องมีการปรับพีเอชให้เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่เสมอหรือต้องทำการกำจัดซัลเฟตออกก่อนที่จะจ่ายน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.2 กระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเกิดก๊าซชีวภาพ

สำหรับขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียซึ่งเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและสารละลายสามารถแบ่งออกได้ เป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเกิดกระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเกิดก๊าซชีวภาพ

(<http://www.eppo.go.th/tank/001-biomass.pdf>)

โดยในขั้นตอนที่ 1 (Hydrolysis) ขั้นตอนที่ 2 (Fermentation) และขั้นตอนที่ 3 (Acetogenesis) จะไม่เกิดการสร้างก๊าซมีเทนขึ้น กระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 4 (Methanogenesis) เท่านั้น

2.2.1 การย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน

ในกระบวนการสร้างมีเทนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลงจนถึงขั้นของกรดไขมันระเหยขนาดเล็ก เช่น กรดอะซิติก ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกรวมกันว่าเป็นขั้นตอนการสร้างกรด (Acid Formation Phase) โดยกลไกการสร้างกรดแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือกระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์แบคทีเรียและกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบคทีเรีย

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการ Solubilisation หรือกระบวนการ Hydrolysis โดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยวสำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคือแบคทีเรียจำพวกฟลอคคัลเททีฟแอนแอโรบิก

แบคทีเรียโดยกลุ่มของแบคทีเรียในขั้นตอนนี้แบ่งได้ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ Cellulytic, Lipolytic และ Proteolytic สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรียซึ่งเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจะเลือกชนิดของปฏิกิริยา ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น จากการศึกษากระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์จากของเสียหลายๆประเภทพบว่า การย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียเพียงชนิดเดียว (Diaz et al., 1993)

หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์ การย่อยสลายก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ในรูปที่ 2.1 โดยในขั้นตอนที่ 2 หรือการเกิดกระบวนการ Fermentation การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสำหรับแบคทีเรียประเภทสร้างกรดโดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก เป็นต้น โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีเป็นผลสืบเนื่องมาจากการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียหลายสปีชีส์ กรณีที่กลุ่มของแบคทีเรียสร้างกรดมีการสร้างกรดมากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวม โดยจะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนเนื่องจากกรดที่มากเกินไปทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) คือแบคทีเรียในกลุ่มของ Fermentative Bacteria หรือ Acidogens ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้อีกด้วย

การกำหนดชนิดของผลผลิตในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารตั้งต้นที่มาจากขั้นตอนที่ 1 และความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจน ยกตัวอย่างเช่น ในการย่อยสลายของกลูโคสในสภาวะที่ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าต่ำผลผลิตที่ได้คือกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าในสภาวะที่มีความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าสูงผลผลิตที่ได้จะอยู่ในรูปของกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือการเกิดกระบวนการ Acetogenesis เป็นผลอันเนื่องมาจากการที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงโดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก

ไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลามีน เป็นต้น แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก ไปเป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมแบคทีเรียสร้างมีเทนจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ การที่จะทำให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทนจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาค่าเนินต่อไปได้ แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะที่ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าต่ำ นอกจากการสร้างกรดด้วยกระบวนการทั้งสองชนิดแล้วยังพบว่ายังมีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน

2.2.2 กระบวนการย่อยสลายที่มีการสร้างมีเทน

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis โดยที่กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกคือเกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้มีสัดส่วนอยู่ที่ประมาณ 70 % ของก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ (Polprasert, 1996) และอีกส่วนหนึ่งจะเกิดจากการรีดิซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียประเภท Hydrogen-Utilizing Methane Bacteria

แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบโดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง พีเอชประมาณ 6.8-7.2 และแบคทีเรียในกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate) หรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่ต่อการสารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาของกลุ่มแบคทีเรียที่อยู่ร่วมกันในระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนพบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลักในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตช้าที่สุดและมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปัจจัยที่มีผลต่อระบบสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

-ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความเป็นด่าง สารพิษ สารยับยั้ง

ปฏิกิริยา และลักษณะของของเสีย

-ปัจจัยที่เกี่ยวข้องการกับเดินระบบ ได้แก่ การกวนผสม อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ และเวลาเก็บกัก

2.3.1 พีเอช

แบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 6.8–7.2 และพีเอชที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 7.0 (Diaz et al., 1993) ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียสร้างกรดสามารถอาศัยอยู่ในสภาพที่พีเอชระหว่าง 5.0–8.0 นอกจากนี้ค่าพีเอชยังส่งผลทางอ้อมต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยจะส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นหรืออิออนของสารต่างๆ เช่น กรดไขมัน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน ในการออกแบบระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนบางครั้งจึงทำการแยกขั้นตอนของการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกัน (Two Stage Anaerobic Reactor) เพื่อที่จะทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นไฟเบอร์บางส่วนก่อน เช่น การหมักขยะอินทรีย์ เป็นต้น

2.3.2 สภาพความเป็นกรด (Acidity) และความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นกรดและความเป็นด่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อการทำงานของแบคทีเรียในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียสองพวกทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ความเป็นกรดในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมาจากกรดคาร์บอนิกและกรดไขมันระเหย โดยกรดไขมันระเหยจะมีผลต่อระบบบำบัดมากกว่ากรดคาร์บอนิก ปกติปริมาณกรดไขมันระเหยในรูปของกรดอะซิติก (CH_3COOH) ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร หากปริมาณของกรดไขมันระเหยรูปของกรดอะซิติกมีค่ามากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพลดลง และถ้าระบบมีปริมาณกรดไขมันระเหยในรูปของกรดอะซิติกมีค่าตั้งแต่ 8,000-10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป จะมีผลทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบโดยตรง

ดังนั้นต้องมีการรักษาสมดุลของระบบให้มีปริมาณการสร้างกรดไขมันระเหยให้เท่ากับหรือต่ำกว่าอัตราการใช้ไปเพื่อสร้างก๊าซมีเทน แต่ถ้ามีการสร้างกรดไขมันระเหยมากเกินไปจะ

ส่งผลให้พีเอชของระบบต่ำ เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้บ่อยในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน การป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสร้างกรดมากเกินไปทำได้โดยการปรับให้ระบบมีบัฟเฟอร์ที่เพียงพอเพื่อป้องกันการลดลงอย่างรวดเร็วของพีเอชในระบบ ทั้งนี้สภาพความเป็นด่างในระบบจะเป็นตัวบังคับบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบ โดยสภาพความเป็นด่างในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตซึ่งทำหน้าที่ในการสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมันระเหยในระบบเพื่อให้พีเอชเป็นกลาง สำหรับสภาพความเป็นด่างน้อยที่สุดในการป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพีเอชอย่างรวดเร็วต้องมีค่าเท่ากับปริมาณด่างไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิครวมกับปริมาณด่างไบคาร์บอเนตเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหย

สำหรับปริมาณด่างที่ต้องการเพื่อใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิคขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายจะสอดคล้องกับความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หากถึงปฏิกิริยามีระบบระบายก๊าซที่ดีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไม่มาก ทำให้ความต้องการด่างเพื่อสะเทินกรดคาร์บอนิคมีค่าต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนปริมาณด่างเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหยจะมีค่าเท่ากับปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นเนื่องจากจำนวน โมลที่เข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยและด่างไบคาร์บอเนตเป็นแบบ 1 : 1

ในบางครั้งการหาปริมาณด่างที่ต้องการจากปริมาณกรดระเหยและกรดคาร์บอนิคในน้ำอาจทำให้การควบคุมระบบทำได้ล่าช้าทำให้การแก้ไขปัญหาได้ไม่ทันทั่วถึง ดังนั้นการประเมินปริมาณด่างที่ต้องเติมหาได้จากสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยและปริมาณด่างที่มีอยู่ในระบบ หากอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนต (VFA/ALK) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีค่าบัฟเฟอร์สูง แต่หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าค่าบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมากพีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว นอกจากการเปรียบเทียบในรูปของกรดไขมันระเหยกับความเป็นด่าง การควบคุมปริมาณบัฟเฟอร์ในระบบอาจใช้ในรูปของความเป็นด่างกับซีโอดีโดยสัดส่วนระหว่างความเป็นด่างกับซีโอดี (ALK/COD) ของน้ำเข้าไม่ควรต่ำกว่า 0.4 แต่การวัดในวิธีของสัดส่วนดังกล่าวไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่ากับในรูปแบบ VFA/ALK

สภาพความเป็นด่างภายในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาได้จากหลายแหล่ง ยกตัวอย่าง เช่น เกลือของแอมโมเนีย ได้แก่ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) และ แอมโมเนียอะซิเตด ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งกลไกดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เอง เนื่องจาก Alanine และ Glycine จะมีอยู่ในน้ำ ถ้ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นไปอย่างสมบูรณ์

แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอช โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ซึ่งจะลดสภาพความเป็นกรดอันเนื่องมาจากกรดไขมันระเหย ถ้า น้ำ ทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนอย่างเพียงพอและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์แล้วจะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันระเหยที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ และได้แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนต่อไป และได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับคืนมา แต่ถ้าปริมาณของไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันระเหยแล้ว จะทำให้ได้กรดไขมันระเหยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้พีเอชลดต่ำลงจนกระทั่งแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยสลายแอมโมเนียมอะซิเตตได้ และพบว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย

สำหรับปริมาณความเป็นด่างที่มีอยู่ในระบบนั้น McCarty (1964) ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและปริมาณไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม พบว่าความเป็นด่างไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของหินปูนเพื่อป้องกันไม่ให้พีเอชลดต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ ในกรณีที่ความเป็นด่างมีไม่เพียงพอ ก็จำเป็นต้องเติมสารเคมีลงไปโดยปริมาณสารเคมีที่เติมขึ้นอยู่กับขนาดของถังปฏิกิริยา โดยความเป็นด่างที่ต้องเติมลงไป ในน้ำเสีย มีวิธีการประเมินได้จากสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยและความเป็นด่างที่มีในระบบ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้เสนอแนะแนวทางในการคำนวณความเข้มข้นของด่าง โดยอาศัยความเข้มข้นของซีโอไซด์และความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำเสีย

สารเคมีที่เติมลงไปในระบบเพื่อเพิ่มความเป็นด่างมีด้วยกันหลายประเภท ได้แก่ สารจำพวกด่างแก่ (ไฮดรอกไซด์) เช่น โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH) ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต โดยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดในการควบคุมพีเอชเพราะสามารถละลายน้ำได้ดีและให้ค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตแก่ระบบโดยตรง แต่สารเคมีชนิดนี้จะมีราคาแพงกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การเติมสารเคมีจำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นพิษจากปริมาณไอออนบวก (Ca^{2+} , Na^+) ที่เติมลงไปด้วย

2.3.3 อุณหภูมิ

ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 50-65 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Thermophilic Bacteria ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วง



อุณหภูมินี้ว่า Mesophilic Bacteria ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 5-15 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Psychrophilic Bacteria

สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การทำงานของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าในช่วงเมโซฟิลิก โดยสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วงเมโซฟิลิกประมาณ 20-50% ดังนั้นสำหรับในต่างประเทศที่อยู่ในเขตกึ่งร้อนจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำทิ้ง แต่สำหรับประเทศไทยนั้นระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วงเมโซฟิลิกได้เองโดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย แม้ว่าประสิทธิภาพของระบบในช่วงเมโซฟิลิกจะดีกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบในเรื่องของค่าใช้จ่ายพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนจะแพงมาก ทำให้ผู้ออกแบบในประเทศไทยไม่นิยมที่จะออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิก อย่างไรก็ตามเนื่องจากการย่อยสลายภายในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิกสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม ดังนั้นสำหรับของเสียที่มีองค์ประกอบเป็นของแข็งมากสภาวะเทอร์โมฟิลิกอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นได้

นอกจากนี้แบคทีเรียยังมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการออกแบบระบบจึงควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก การรักษาอุณหภูมิของระบบให้มีความสม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าการควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในจุดที่ให้อัตราการย่อยสลายสูงสุด

2.3.4 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีส่วนที่เป็นพิษอยู่ซึ่งสารที่เป็นพิษอยู่ได้ทั้งในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ทั้งนี้ผลของสารพิษมีตั้งแต่พิษโดยตรงลงไปถึงแค่เพียงยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของสารพิษที่มีต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีความไวต่อสิ่งที่มารบกวน ความรุนแรงของพิษหรือการยับยั้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นๆ อย่างไรก็ตามในบางกรณีสารเหล่านั้นก็อาจกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้หากมีความเข้มข้นที่พอเหมาะ สารที่เป็นพิษหรือสารที่ยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็นกลุ่มๆ ดังต่อไปนี้

| |
|---------------------------------|
| สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ |
| ห้องสมุดงานวิจัย |
| วันที่..... 19 ตุลาคม 2555 |
| เลขทะเบียน..... 250319 |
| เลขเรียกหนังสือ..... |

อออนบวค

อออนบวคที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุเหล่านี้หากมีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปจนความจำเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอออนบวคที่มีวาเลนซ์สูง(มีประจุบวกสูง)จะมีความเป็นพิษมากกว่าอออนบวคที่มีวาเลนซ์ต่ำ ระดับความเป็นพิษของอออนบวคต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของอออนบวคที่กระตุ้นและยับยั้งปฏิกิริยา (McCarty, 1964)

| ชนิดของอออนบวค | ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|------------------|--------------------------------|----------------|------------|
| | 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 |

พิษของอออนบวคสามารถลดลงได้เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na^+ มีความเข้มข้น 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ลดลงได้ถ้าในระบบมี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางตรงกันข้ามอออนบางชนิดจะไปเพิ่มความเข้มข้นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน

โลหะหนัก

โลหะหนักที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) ซึ่งจะอยู่ในน้ำทิ้งในรูปของอออน ทั้งนี้โลหะหนักที่อาจพบในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงในตารางที่ 2.2 โดยทองแดง (Cu^{2+}) จะมีผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด ทั้งนี้ค่าความเป็นพิษของสารประกอบโลหะหรืออออนโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับระดับพลังศักย์ทางไฟฟ้า พีเอช และ Ionic Strength ของระบบ เนื่องจากโลหะหนักแต่ละชนิดสามารถที่จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมโมเนีย คาร์บอเนต ซัลไฟด์ และฟอสเฟตได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากในการประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด ในตารางที่ 2.3 แสดงถึงความเป็นพิษของโลหะหนัก แม้ว่าโลหะหนักจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนแต่โลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียโดยมีความต้องการใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย

เช่น นิกเกิล หรือ โคบอลต์ เป็นต้น ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์ (S^{2-}) ที่พอเหมาะเนื่องจากซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำได้ ยกเว้นในกรณีของโครเมียม เนื่องจากโครเมียมที่มีประจุบวกหก (Cr^{6+}) จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียมที่มีประจุบวกสาม (Cr^{3+}) ซึ่งปกติโครเมียมจะไม่ละลายน้ำในช่วงพีเอชของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ

ในการใช้ซัลไฟด์เพื่อลดความเป็นพิษของโลหะหนักจะใช้ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม ในการตกตะกอนโลหะหนัก 1.0 มิลลิกรัม แต่การเติมซัลไฟด์อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบเนื่องจากความเป็นพิษของซัลไฟด์เอง สำหรับการควบคุมไม่ให้เกิดพิษเนื่องจากการเติมซัลไฟด์ลงมากเกินไปทำได้สองวิธีด้วยกัน โดยวิธีแรกให้ทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่องและทำการหยุดเติมซัลไฟด์ทันทีเมื่อตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือใช้อิเลคโตรดแบบ Silver-Silver Sulfide วัดปริมาณของซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยจะวัดออกมาในรูปของ pS ($-\log [S^{2-}]$)

ตารางที่ 2.2 โลหะหนักที่พบในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (USEPA, 1981)

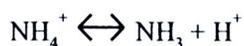
| โลหะหนัก | ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|------------------------|--------------------------------|
| Arsenic (As) | 0.5 to 1.0 |
| Cadmium (Cd) | 0.01 to 0.02 |
| Chromium (Cr^{6+}) | 1.0 to 1.5 |
| Copper (Cu) | 0.5 to 1.0 |
| Nickel (Ni) | 1.0 to 2.0 |
| Zinc (Zn) | 0.5 to 1.0 |

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถยับยั้งการทำงาน ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Mignone, 2005)

| พบมาก | พบบ่อย | ไม่ค่อยพบ |
|------------------------|----------------|-----------------|
| Cadmium (Cd^{2+}) | Arsenic (As) | Aluminum (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+}) | | |

แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ เช่น โปรตีน หรือปฏิกิริยาเป็นต้น ได้ผลผลิตในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของระบบดังสมการ



ปริมาณของแอมโมเนียมไอออนจะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช เมื่อพีเอชมีค่าประมาณ 7.0 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1% ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมากขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น สำหรับความเป็นพิษของแอมโมเนียนั้นพบว่าแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียมไอออน โดยพบว่าแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนได้สูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการรักษาพีเอชให้มีค่าประมาณ 7.0 หรือต่ำกว่า ทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ตารางที่ 2.4 แสดงระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

สำหรับการลดพิษของแอมโมเนียใน ไตรเจนทำได้โดยการเจือจางน้ำทิ้งหรือทำการกำจัดแอมโมเนียในไตรเจนในน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด เช่น ใช้กระบวนการ Ammonia Stripping เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียมไอออน (McCarty, 1964)

| แอมโมเนียมไนโตรเจน, NH_4^+ -N (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ผลต่อระบบ |
|---|--|
| 50-200 | ปริมาณพอเหมาะ |
| 200-1,000 | ยังไม่เกิดผลชัด |
| 1,500-3,000 | เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูงกว่า 7.0 |
| >3,000 | เป็นพิษโดยตรง |

ซัลเฟต (SO_4^{2-})

พิษของซัลไฟด์ต่อแบคทีเรียเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณซัลไฟด์สูง การย่อยสลายซัลเฟตหรือโปรตีนในน้ำทิ้งโดยซัลเฟตในน้ำเสีย มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับไอออนประจุบวกที่ซัลเฟตรวมอยู่โดยส่วนที่มีการรวมกับโลหะหนักจะตกตะกอน ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเมื่อละลายน้ำสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายน้ำที่แบคทีเรียสามารถทนได้อยู่

ระหว่าง 50-160 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะเกิดความเป็นพิษขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีซึ่งสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ลงได้โดยการทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอน การเจือจางน้ำทิ้งหรือการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณของซัลเฟตมาก เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น ปริมาณของซัลเฟตที่มากเกินไปจะทำให้แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ (Sulfate-Reducing Bacteria, SRB) เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* เจริญเติบโตได้ดีแบคทีเรียในกลุ่มของ SRB จะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ การที่น้ำเสียมีซัลเฟตมากส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้น้อยลง ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดน้อยลงแต่จะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่นเหม็นแทนที่

ความเป็นพิษของซัลไฟด์ที่มีต่อระบบมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช โดยที่พีเอช 6.4-7.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถยับยั้งการทำงานของระบบได้ 50 % เมื่อมีความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียง 90 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถส่งผลในการยับยั้งการทำงานของระบบได้เท่ากันเมื่อพีเอชมีค่า 7.8-8.0

สารอาหาร

สารอาหารในน้ำเสียมีความสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบรวมถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพบว่าสารอาหารที่ต่างชนิดกันมีผลต่ออัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกันโดยสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตจะให้อัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน

ในเซลล์แบคทีเรียทุกชนิดจะประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน และซัลเฟอร์ โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนต้องการปริมาณไนโตรเจนต่อน้ำหนักเซลล์เท่ากับ 9.4 (Cell Weight/N = 9.4) ในขณะที่แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนจะสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากได้เมื่อมีอัตราส่วนของธาตุไนโตรเจนต่อคาร์บอน (N/C) ในสารอาหารประมาณ 0.0620 และยังต้องการธาตุฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 ใน 7 ของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ประกอบในเซลล์ดังนั้นน้ำทิ้งควรมีสารอาหารที่เพียงพอแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปความต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะอยู่ในอัตราส่วน 11 ต่อ 2 ดังนั้นถ้าปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นมีประมาณ 0.1 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลกรัมบีโอดีที่ถูกย่อยสลายอัตราส่วน BOD:N:P จะเท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วนที่ใช้ในการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอิสระซึ่งมีค่าเท่ากับ 100:5:1 ดังนั้นในน้ำเสียที่มีสารอาหารต่ำแต่มีสารอินทรีย์หรือชีโอดีสูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำอ้อย จึงสามารถที่จะใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้โดยไม่ต้องมีการเติมสารอาหารเพิ่มเติม

สารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียไมโซออกซิเจนซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์ สารจำพวกเมทานอล และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long Chain Fatty Acid) การทำลายความเป็นพิษสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถทำได้โดยการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องซึ่งจะต้องเริ่มจากความเข้มข้นที่น้อยๆ แล้วจึงปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเพื่อให้แบคทีเรียมีความคุ้นเคยและปรับตัวได้หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษก่อนจะจ่ายน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

การกวน

การกวนเป็นการทำให้ของเหลวและส่วนผสมที่อยู่ในระบบมีการผสมและกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ช่วยให้ของเสียที่เข้ามาใหม่เข้าไปแทนที่ของเสียที่ถูกย่อยสลายแล้วทำให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันมิให้มีการแยกชั้นของของเสียซึ่งการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบโดยตะกอนลอยค้ำบนสุด (Scum) จะทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในระบบลดลง ในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดชั้นตะกอนลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบถ้าหากระบบมีสภาพความเข้มข้นของแฉ่งต่ำ (ความเข้มข้นของแฉ่งแขวนลอยน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีสารที่มีเส้นใยอยู่ไม่มาก สามารถใช้การหมุนเวียนของเหลวหรือก๊าซที่เกิดขึ้นในถังเพื่อกวนผสมน้ำเสียได้แต่หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของตะกอนลอยค่อนข้างสูงหรือของแฉ่งแขวนลอยในน้ำเสียมักจำเป็นต้องใช้การกวนโดยใช้เครื่องมือทางกล เช่น ใบกวน เป็นต้น

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบและเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดแบบไมโซออกซิเจนอีกด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนต้องมีความเข้มข้นของแบคทีเรียในปริมาณพอเหมาะกับความเข้มข้นสารอินทรีย์จึงจะทำให้แบคทีเรียมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงเนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้การใช้ถังหมักไม่เต็ม ประสิทธิภาพไม่คุ้มค่าในการลงทุนและยังส่งผลให้แบคทีเรียในระบบปรับตัวเข้ากับสภาพสารอินทรีย์ที่มีปริมาณต่ำผลที่ตามมาคือระบบอาจล้มเหลวได้เช่นกัน

อย่างไรก็ตามค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องปรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการเดินระบบให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ใช้ด้วย สำหรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบหาได้จากกราฟทดลองในระดับห้องปฏิบัติการหรือจากระบบจริงที่มีผู้เดินระบบสำเร็จมาแล้ว

เวลาเก็บกัก

เวลาเก็บกักในระบบของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในที่นี้มีหมายถึงเวลาเก็บกักแบบที่เรีย (Solid Retention Time, SRT) หรือเวลาเก็บกักของเหลว (Hydraulic Retention Time, HRT) อยู่ในระบบจนกระทั่งหลุดออกจากระบบ ซึ่งการควบคุมระบบนิยมใช้ค่าเวลาการเก็บกักของเหลว (HRT) เนื่องจากคำนวณได้ง่ายกว่า การควบคุมเวลาเก็บกักในการเดินระบบมีความสำคัญเนื่องจากถ้าเวลาเก็บกักยาวนานเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เพราะต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่ในทางตรงกันข้ามหากใช้เวลาเก็บกักสั้นเกินไป แบททีเรียก็จะเจริญเติบโตไม่ทันเกิดการหลุดออกจากระบบจำนวนมากซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง การควบคุมเวลาเก็บกักที่เหมาะสมจะช่วยให้แบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีปริมาณคงที่หรือมีปริมาณเพิ่มขึ้น ระยะเวลาเก็บกักเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในระบบและลักษณะของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบรวมไปถึงชนิดของแบคทีเรียในระบบเป็นสำคัญ

โลหะบางชนิด

ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากธาตุอาหารหลักอันได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส แบททีเรียสร้างมีเทนยังต้องการธาตุอาหารเสริมประเภทโลหะอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย สารที่มักทำการเติมลงไปในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ นิเกิลและโคบอลต์ ซึ่งพบว่าหากระบบมีธาตุโลหะเหล่านี้ในปริมาณที่น้อยเกินไปประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจะลดลงโดยการขาดธาตุโลหะเหล่านี้จะส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนเท่านั้น แต่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด

นอกจากนิเกิลและโคบอลต์ยังมีการศึกษาถึงการเติมธาตุโลหะอื่นๆลงไปในระบบ ได้แก่ โมลิบดีนัม ทังสแตน เซเลเนียม แต่ผลการศึกษายังไม่มีความชัดเจนสำหรับปริมาณการเติมนิเกิลและโคบอลต์ลงไปในระบบจะอยู่ที่ประมาณ 50 มิลลิกรัมในรูปของโลหะนั้นๆต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรของถังปฏิกรณ์

2.4 รูปแบบของถังปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

รูปแบบของถังปฏิกริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีทั้งแบบที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ (Low Rate) และระบบที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง (High Rate) โดยระบบที่มีอัตราการย่อยสลายต่ำจะต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบที่มากกว่าระบบที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง เนื่องจากระบบต้องการเวลาเก็บกักน้ำที่มากกว่าระบบที่มีอัตราการย่อยสลายสูง

ตัวอย่างของถังปฏิกริยาที่มีอัตราการย่อยสลายต่ำ เช่น ระบบ Covered Lagoon ซึ่งรูปแบบการทำงานจะเป็นบ่อที่มีการคลุมผ้าพลาสติกเพื่อทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน โดยระบบต้องการเวลากักน้ำประมาณ 45-60 วันซึ่งเวลากักน้ำจะขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของที่ตั้งระบบบำบัด อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของบ่อ และชนิดของน้ำเสีย

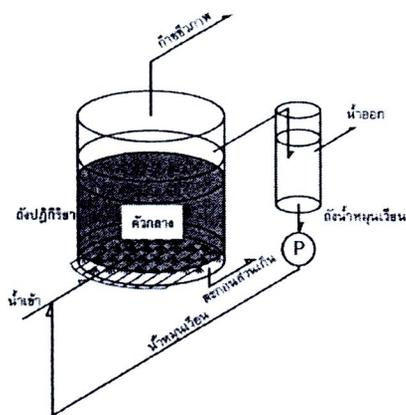
ส่วนถังหมักแบบอัตราการย่อยสลายสูงจะมีความเร็วในการย่อยสลายสูงขึ้น เนื่องจากมีการกวนผสมและการรักษาตะกอนแบคทีเรียให้อยู่ในระบบได้นานขึ้นและมีการคัดเลือกตะกอนที่มีประสิทธิภาพเก็บไว้ในระบบโดยใช้การหมุนเวียนตะกอนที่หลุดไปกับน้ำเสียดับเข้ามาในระบบ การยึดตรึงแบคทีเรียไว้กับตัวกลางหรือการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจะทำให้ตะกอนมีความสามารถในการย่อยสลายได้เร็วขึ้นเป็นต้น ซึ่งรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีอัตราการย่อยสลายสูงอาจแบ่งโดยอาศัยรูปแบบของการเลี้ยงแบคทีเรียภายในถังได้เป็นสามประเภทคือ

-แบบเชื้อแขวนลอย (Suspended Growth) เป็นระบบที่มีการกวนผสมเพื่อให้แบคทีเรียผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง โดยระบบประเภทนี้อาจจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากตะกอนเชื้อแบคทีเรียและหมุนเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังปฏิกริยา ตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ Completely Mixed Digester และ Anaerobic Contact

- ถังปฏิกริยาแบบ Completely Mixed Digester เป็นถังปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีการเลี้ยงเชื้อแขวนลอย โดยจะมีเครื่องกวนเพื่อให้แบคทีเรียและน้ำเสียที่เข้ามาผสมกันได้อย่างทั่วถึงเพื่อไม่ให้เกิดการไหลลัดทางหรือมีบริเวณที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ ถังปฏิกริยาแบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง การกวนผสมกันอย่างทั่วถึงทั้งถังจะช่วยลดความรุนแรงของสารพิษที่อาจหลุดเข้ามาในระบบได้เนื่องจากมีการเจือจางกับน้ำที่มีอยู่ในถัง นอกจากนี้ระบบถังกวนแบบ Completely Mixed ยังไม่ต้องให้ความสำคัญกับคุณสมบัติในการตกตะกอนของตะกอนภายในถัง แต่อย่างไรก็ตามการที่ระบบมีเวลาเก็บกักตะกอนเท่ากับเวลากักน้ำทำให้มีความสามารถในการรับสารอินทรีย์ได้ต่ำเมื่อเทียบกับระบบบำบัดชนิดที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงในแบบอื่นๆ ทั้งนี้หากต้องการเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจำเป็นต้องขยายถังปฏิกริยาให้ใหญ่ขึ้นหรือสร้าง

ระบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด (Attached Growth) เป็นการพัฒนาระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ให้มีความสามารถในการรักษาปริมาณของแบคทีเรียในระบบได้สูงขึ้น โดยการให้แบคทีเรียที่อยู่ในระบบยึดติดกับตัวกลางทำให้ตะกอนหลุดออกไปจากระบบได้น้อยลงส่งผลให้ระบบมีเวลาเก็บกักแบคทีเรียที่นานขึ้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นรวมทั้งอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดของระบบสูงขึ้นกว่าในระบบถังกวนผสม โดยตัวกลางในการเกาะติดอาจเป็น พลาสติก เซรามิกส์ หิน ไม้ไผ่ ตัวอย่างของถังปฏิกรณ์แบบเชื้อเกาะติดได้แก่ ถังกรองไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Filter, AF) และระบบ Fluidized Bed เป็นต้น

- ถังกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นถังที่ภายในบรรจุวัสดุตัวกลาง และให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวกลาง ทิศทางการไหลมีทั้งจากล่างขึ้นบน (Up flow) หรือจากบนลงล่าง (Down Flow) ถังกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้ได้ดีกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยต่ำโดยควรมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากหากสารแขวนลอยมีปริมาณมากจะเกิดการอุดตันตามช่องว่างของตัวกลางได้ สำหรับราคาในการก่อสร้างของระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนจะสูงกว่าระบบอื่นเล็กน้อยเนื่องจากราคาของวัสดุตัวกลาง โดยถ้าเป็นวัสดุตัวกลางที่มีน้ำหนักเบาและความพรุนสูงจะมีราคาแพง การทำงานของระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนแสดงดังรูปที่ 2.4

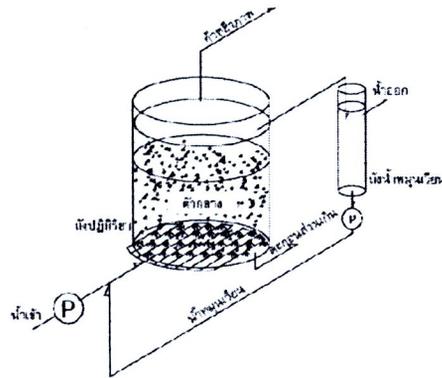


รูปที่ 2.4 ถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Filter

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

- ระบบ Fluidized Bed มีรูปแบบการทำงานคล้ายคลึงกับถังกรองไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนที่แตกต่างกับระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนคือตัวกลางในระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนจะถูกยึดให้อยู่กับที่แต่ในระบบถัง Fluidized Bed ตัวกลางจะสามารถฟุ้งกระจายและเคลื่อนที่ไปมาได้ นอกจากนี้ทิศทางการจ่ายน้ำเสียในระบบ Fluidized Bed เป็นแบบไหลขึ้นเท่านั้น โดยรูปแบบการทำงานของถัง Fluidized Bed แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่าการยกตัวและฟุ้งกระจายของตัวกลางจำเป็นต้องมีการใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงจนทำให้ชั้นตัวกลางเกิดการขยายตัวและฟุ้งกระจายขึ้นมา

ดังนั้นตัวกลางที่ดีจึงต้องเป็นตัวกลางที่มีน้ำหนักเบาเพื่อจะทำให้เกิดการยกตัวของตัวกลางได้ง่าย ข้อดีของระบบนี้เมื่อเทียบกับถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนที่เห็นได้ชัดคืออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของระบบจะสูงขึ้นเนื่องจากการที่ตัวกลางฟุ้งกระจายจะทำให้แบคทีเรียที่เกาะอยู่บนตัวกลางและสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานมากกว่าในระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำที่สูงกว่า

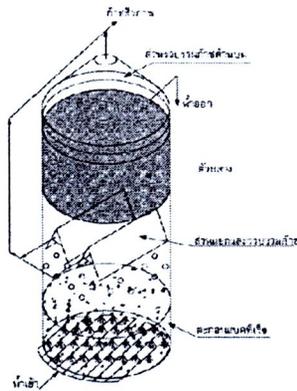


รูปที่ 2.5 ถังปฏิกิริยาแบบ Fluidized Bed

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

ระบบเลี้ยงเชื้อแบบผสม (Hybrid Growth) เป็นระบบที่มีการรวมเอาข้อดีของถังแบบต่างๆ เข้ามาไว้ด้วยกัน เช่น การผสมผสานกันระหว่างระบบเลี้ยงเชื้อแบบแขวนลอยและระบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด ตัวอย่างของระบบเลี้ยงเชื้อแบบผสมได้แก่ ระบบ Anaerobic Hybrid Reactor

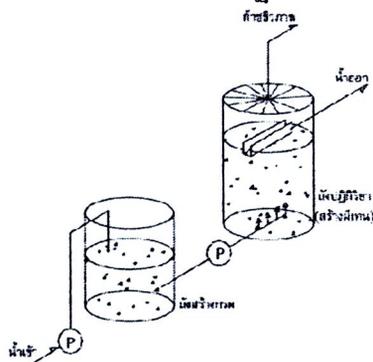
- Anaerobic Hybrid Reactor ที่ใช้กันค่อนข้างมากเป็นการผนวกเอาระบบยูเอเอสบีเข้ามา รวมกับระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจนโดยในบริเวณก้นถังจะพยายามปรับปรุงให้ระบบมีสถานะ เหมือนกับระบบยูเอเอสบีคือมีการสร้างชั้นตะกอน ในขณะที่ส่วนบนของถังจะทำการติดตั้ง ตัวกลางเหมือนในระบบถังกรองไม่ใช้ออกซิเจน ลักษณะของถัง Anaerobic Hybrid Reactor แสดง ได้ดังรูปที่ 2.6 นอกจากระบบถังปฏิกิริยาแบบถังเดียวที่มีการเกิดปฏิกิริยาสร้างกรดและสร้างมีเทน ในถังเดียวกัน



รูปที่ 2.6 ถังปฏิกิริยาแบบ Anaerobic Hybrid Reactor
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.5 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์แบบ 2 ชั้นตอน

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่มีการแยกถังหมักออกเป็น 2 ส่วนหรือ 2 ถังตามลักษณะการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อทำการแยกระบบสร้างกรดและระบบสร้างมีเทนออกจากกัน ทำให้ระบบแต่ละชั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากการที่แบคทีเรียทั้งสองชนิดอยู่ในถังปฏิกิริยาใบเดียวแม้ว่าจะสะดวกในการก่อสร้างแต่ในการเดินระบบอาจเกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมกับแบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์แบบสองเฟสที่ใช้ความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวกำหนดและควบคุมชนิดของแบคทีเรีย โดยถังใบแรกจะควบคุมค่าให้อยู่ในช่วงพีเอช 4.5-5.5 ซึ่งจะเป็นการควบคุมให้แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด (Acid forming bacteria) เจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่ถังปฏิกรณ์ใบที่ 2 จะควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดและควบคุมให้แบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methane producing bacteria) เจริญเติบโตได้ดีและผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังอาจควบคุมการทำงานของถังปฏิกรณ์ทั้งสองโดยควบคุมอายุตะกอน (Sludge age หรือ Solid retention time : SRT) ในถังปฏิกรณ์ทั้งสองก็ได้ เพื่อคัดเลือกและควบคุมชนิดของแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ตามต้องการ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ถังปฏิกิริยาแบบ Two Stage Anaerobic Reactor
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moonil et al. (2001) ศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการและประสิทธิภาพของการหมักเศษอาหารด้วยถังปฏิกรณ์ไร้อากาศชนิดกวนสมบูรณ์ที่สภาวะเมโซฟิลิก (35 องศาเซลเซียส) และที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก (55 องศาเซลเซียส) ซึ่งหาค่าความแตกต่างของปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เมื่อแต่ละถังปฏิกรณ์มีการเติมน้ำเสียแตกต่างกัน 4 แบบ ดังนี้ เติมน้ำเสียวันละ 1 ครั้ง, เติมน้ำเสียต่อเนื่อง, เติมน้ำเสียวันละ 1 ครั้ง 2 สภาวะ คือ ที่สภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก โดยแต่น้ำเสียที่เติมในแต่ละสภาวะมีปริมาณเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบต่อวัน และเติมน้ำเสีย 1 ครั้งแต่ไม่มีการกวน โดยใช้ปริมาณของแข็ง 4% ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่าไม่ว่าจะเติมน้ำเสียด้วยวิธีใดก็ตามถึงชนิดไหนก็ตาม การทดลองที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่าการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสในทุกๆ การทดลอง

Ahn et al. (2002) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกฟิลเตอร์แบบสองขั้นตอนที่ใช้บำบัดน้ำเสียเยื่อกระดาษ ทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ ที่สภาวะเมโซฟิลิกทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิห้อง (18-24 องศาเซลเซียส), 45 องศาเซลเซียส, 55 องศาเซลเซียสและที่ 35 องศาเซลเซียส สำหรับที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกทดลองที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส, 45 องศาเซลเซียส, 35 องศาเซลเซียส, 55 องศาเซลเซียสและที่ 65 องศาเซลเซียส ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 1.95 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ที่สภาวะเมโซฟิลิกเริ่มจาก 35 องศาเซลเซียสและเดินระบบที่ระดับอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 11 วันแล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 35 องศาเซลเซียสเช่นเดิม ที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกเริ่มจาก 55 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิต่ำลงเพื่อเดินระบบที่ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 11 วันตามด้วยการเดินระบบที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 วันแล้วจึงเดินระบบที่ 55 องศาเซลเซียส 5 วันและเดินระบบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอีก 11 วัน โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่สภาวะเมโซฟิลิกพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ และเมื่อปรับอุณหภูมิที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกให้เท่ากับ 55 องศาเซลเซียสพบว่าการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยมีปริมาณต่ำกว่าอุณหภูมิอื่นๆที่สภาวะเดียวกันซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อระบบ กล่าวได้ว่า การเพิ่มและลดของอุณหภูมิกระทันหันอาจส่งผลให้ระบบเกิดการชะงักเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดต่ำลงด้วย ผลิตภัณฑ์ชีวภาพได้น้อยลงและมีการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยในระบบอีกด้วยโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อสภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก คือ 35 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Anunpuittikul and Rodthong (2004) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและมีมูลค่าต่ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของหัวมันสำปะหลังที่เก็บมาจากแหล่งปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา พบว่าส่วนประกอบหลักของหัวมันสำปะหลังสดโดยเฉลี่ยมีความชื้น 65% แป้ง 18% ปริมาณคาร์บอน 17% ไนโตรเจน 0.20% และ ของแข็งทั้งหมด 35% ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังใช้กระบวนการหมักแบบขั้นตอนเดียว โดยเตรียมหัวมันสำปะหลังดิบในลักษณะแห้ง (ความชื้น 18.65% ปริมาณคาร์บอน 39.56% ไนโตรเจน 0.46% และของแข็งทั้งหมด 81.35%) ซึ่งเตรียมโดยการนำหัวมันสำปะหลังสดมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆแล้วทำการตากแดดเป็นเวลา 2 วันหลังจากนั้นนำมาทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กลงขนาด เล็กกว่า 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ blender ทำการหมักหัวมันสำปะหลังในถังหมักย่อยขนาดปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใช้ปริมาณหัวมันแห้งดิบที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดต่างกันพร้อมทั้งทดลองเติมแหล่งไนโตรเจน (ยูเรีย) ในปริมาณต่างกัน และเติมหัวเชื้อที่เตรียมจากมูลสัตว์และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าที่ 1.00% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ของของแข็งทั้งหมดและการเติมยูเรีย 0.04% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ผลผลิตของก๊าซเท่ากับ 1.95 ลิตรต่อวันโดยมีปริมาณมีเทนสูงสุดคือ 67.92% โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน ปริมาณของวัสดุหมักเป็น 20 ลิตร พบว่าเกิดผลผลิตของก๊าซเท่ากับ 5.50 ลิตรต่อวันโดยมีปริมาณมีเทนสูงสุดคือ 55.70% ที่ระยะเวลาหมักย่อยเท่ากัน และที่ระยะเวลาเก็บกัก 14 วัน ผลผลิตของก๊าซมีค่าลดลงโดยให้ผลผลิตของก๊าซ 3.88 ลิตรต่อวันและมีปริมาณมีเทนสูงสุด 67.57% อาจกล่าวได้ว่าเมื่อทำการหมักย่อยด้วยหัวมันสำปะหลังดิบ (ความชื้น 18.65%) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบขั้นตอนเดียวสามารถผลิตก๊าซที่มีปริมาณมีเทนสูงสุดเท่ากับ 67%

Khurshed et al. (2005) ศึกษาผลของการกวนที่มีต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการทดลองจะใช้ถึงปฏิบัติการแบบกวนสมบูรณ์ขนาด 3.73 ลิตร และใช้มูลวัวที่เป็นของเหลวผสมกับมูลวัวที่เป็นของแข็งเป็นวัตถุดิบ อัตราส่วนการผสมระหว่างมูลวัวที่เป็นของแข็งต่อมูลวัวที่เป็นของเหลวจะแบ่งออกเป็น 3 อัตราส่วนคือ 50, 100 และ 150 กรัมต่อลิตร (ใช้มูลวัวที่เป็นของแข็งเท่ากับ 5%, 10% และ 15% ของวัตถุดิบทั้งหมด) การทดลองนี้ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเก็บกัก 16.2 วัน การหมักมูลสัตว์ในกรณีของการใช้มูลวัว 5% สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในอัตราวันละ 0.84-0.94 ลิตรต่อลิตรของปริมาตรถัง ซึ่งก๊าซมีเทนที่ได้ อยู่ที่ 0.26-0.28 ลิตรของก๊าซมีเทนต่อกรัม โดยการหมักมูลสัตว์ในกรณีของการใช้มูลวัว 10% และ 15% โดยมีการกวนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการหมักที่ไม่มีการกวนประมาณ 10-30%

กล่าวได้ว่าผลของการกวนมีความสำคัญในกระบวนการหมักอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีวัตถุดิบที่ใช้มีส่วนผสมของของแข็งในปริมาณมาก

Gannan et al. (2007) พบว่าจากการศึกษาการหมักย่อยวัสดุหมักร่วมระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก (OMW) กับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ (AW) โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบอัพโฟลว์แอนโรบิกฟิลเตอร์ (UAF) เติมน้ำเสียที่ 2 สภาวะคือ สภาวะเมโซฟิลิก (35 องศาเซลเซียส) และสภาวะเทอร์โมฟิลิก (55 องศาเซลเซียส) ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีสารประกอบของฟีนอลปนอยู่ มีลักษณะเป็นของแข็งแขวนลอยและย่อยสลายได้ยากจึงมีการนำน้ำเสียดังกล่าวมาผสมกับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เพื่อลดความเป็นพิษของสารประกอบฟีนอลและยังสามารถปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เหมาะสมได้อีกด้วย ถังปฏิกรณ์ที่ใช้มีปริมาตร 2 ลิตร เชื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบนำมาจากเชื้อในถังหมักย่อย OMW ที่สภาวะเมโซฟิลิก ซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 6.93 และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 4.15% โดยใช้ตัวกลางแบบ Floccor และมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับพีเอช โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนต่างๆ ระหว่าง OMW:AW (โดยปริมาตร) ดังนี้ 10:90 20:80 40:60 และ 60:40 พบว่าที่อัตราส่วน 40:60 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นอัตราส่วนผสมวัสดุหมักร่วมเข้าสู่ระบบ UAF ที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกสามารถกำจัดซีโอดีได้มากถึง 80% และได้ค่า Yield ของการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.52 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงถึง 12 กรัมซีโอดีต่อลิตร-วัน นอกจากนี้ยังสามารถนำเชื้อแบคทีเรียชนิดฟิโคลโคลิฟอร์มได้มากกว่าสภาวะเมโซฟิลิกอีกด้วย จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสภาวะเทอร์โมฟิลิกเป็นสภาวะที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าสภาวะเมโซฟิลิกสังเกตได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่มากกว่าและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สูงกว่า

Xie et al. (2008) ศึกษาการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง โดยระบบกวนสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีสารอินทรีย์แขวนลอย (SS) ในปริมาณที่สูงถึง 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากว่าเป็นของแข็งที่มีความหนืดสูง จึงไม่เหมาะกับระบบบำบัดแบบยูเอสบีและยังส่งผลให้ลดประสิทธิภาพการใช้งานของระบบอีกด้วย ระบบกวนสมบูรณ์เป็นระบบที่สามารถใช้บำบัดได้ดีกับของเสียที่มีค่าของแข็งในปริมาณสูง เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ของเสียจากเศษอาหาร อีกทั้งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่าพีเอชเท่ากับ 4 และมีค่าอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการหมักย่อยโดยระบบกวนสมบูรณ์ที่สภาวะอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมดเท่ากับ 80 วัน โดยในช่วงของการเริ่มต้นเดินระบบได้ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด Mesophilic granular sludge เป็นระยะเวลา

40 วัน หลังจากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์สูงสุดที่สามารถเดินระบบได้คือ 14 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีมีค่าคงที่ตลอดการทดลองคือสามารถกำจัดได้ 90% และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 18 ลิตรต่อวัน โดยมีสัดส่วนของมีเทนเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษา ยังพบว่าไม่มีความจำเป็นสำหรับการปรับพีเอชของของเสียให้มีค่าเท่ากับ 7 ก่อนที่จะเข้าระบบบำบัดแบบกวนผสม

Goberna et al. (2009) พบว่าเมื่อทำการศึกษากการหมักย่อยโดยใช้วัสดุหมักร่วมระหว่างมูลสัตว์จากการทำปศุสัตว์กับน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกโดยใช้ถังปฏิกรณ์กวนผสมในสภาวะไร้อากาศ มูลสัตว์ที่นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นสารจำพวกลิกโนเซลลูโลสซึ่งย่อยสลายได้ยาก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำและมีความชื้นสูง โดยมูลสัตว์ดังกล่าวจะถูกทำให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรเพื่อป้องกันการอุดตันในเส้นท่อ โดยทำการทดลองที่ 2 คือ สภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก ทดลองที่อัตราส่วนต่างๆ (โดยปริมาตร) คือ 3:1 (มูลสัตว์ : น้ำ) และ 3:1 (น้ำ : มูลสัตว์ + น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก) โดยที่สภาวะเมโซฟิลิกตัวอย่างที่ผสมระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกกับมูลสัตว์ที่การระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5.5 กรัมชีโอดีต่อลิตร-วัน เกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1096 มิลลิลิตรของก๊าซชีวภาพต่อลิตรของสลัดจ์-วัน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดจากมูลสัตว์เพียงอย่างเดียวถึง 33.7% โดยมีค่า Yield ของการเกิดก๊าซมีเทนจากการหมักย่อยวัสดุรวมเท่ากับ 179 ลิตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมของเชื้อที่เวลาเก็บกัก 21.4 วัน ที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกพบว่า yield ของการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าสูงกว่าสภาวะเมโซฟิลิกถึง 17.3% และเมื่อทำการหมักย่อยโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวที่การระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กรัมชีโอดีต่อลิตร-วัน และอัตราส่วนกรดไขมันระเหย/ความเป็นค่ามีค่าเท่ากับ 0.8 เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน ซึ่งเป็นสภาวะที่เป็นกรดที่สามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเดินระบบ แสดงให้เห็นว่าการปรับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนในของเสียที่ป้อนเข้าระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการปรับอัตราส่วนดังกล่าว และนอกจากนี้ในสภาวะเทอร์โมฟิลิกยังช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้มากขึ้น ได้มากกว่าที่สภาวะเมโซฟิลิกอีกด้วย

Parawira et al. (2010) ทำการศึกษากการหมักย่อยเศษมันสำปะหลังโดยดั่งหมักย่อยแบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนเดินระบบที่สภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก ซึ่งเศษมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้จะถูกบดสับให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดอาหาร ถังหมักที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยถังสร้างกรดซึ่งมีขนาด 2 ลิตรและถังสร้างก๊าซมีเทนซึ่งมีขนาด 0.84 ลิตร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกัน 3 ชุดการทดลองในการสร้างกรดและสร้างมีเทน คือ ชุดที่ 1 เมโซฟิลิ

ลิก/เมโซฟิลิก, ชุดที่ 2 เมโซฟิลิก/เทอร์โมฟิลิก และชุดที่ 3 เทอร์โมฟิลิก/เทอร์โมฟิลิก พบว่าค่า yield ของก๊าซมีเทนที่สภาวะเมโซ ฟิลิกมีค่าสูงกว่าสภาวะเทอร์โมฟิลิกเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 3 (เทอร์โมฟิลิก/เทอร์โมฟิลิก) สามารถรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ได้สูงกว่าชุด 1 มาก แต่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูงมากระบบอาจมีปัญหาได้ เนื่องจากกรดไขมันระเหย มีปริมาณสูงเกินไปจนทำให้สภาวะในถังสร้างมีเทนไม่เหมาะสมกับแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน โดยชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ใช้เวลาในการทดลองน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกจะช่วยให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วปฏิกิริยาจึงสิ้นสุดเร็วขึ้น กล่าวได้ว่าในกรณีที่ต้องการใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่สั้นกว่าสภาวะที่เป็นเทอร์โมฟิลิกจะมีความเหมาะสมมากกว่าเมโซฟิลิก

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2551) พบว่าเมื่อทำการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษากการย่อยสลายของกากมันที่เหมาะสมและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยความร้อนและการใช้เอนไซม์ร่วมระหว่างเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์เพคตินเนส จากผลการศึกษาพบว่าร้อยละของกากมันที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบคือ 2-3% ซึ่งให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 0.33-0.47 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากเปียก การให้ความร้อนกับกากมันที่อุณหภูมิ 80, 95 และ 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือการใช้เอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์เพคตินเนสในปริมาณ 5-20 NCU/g และ 50-125 PUG/g กากแห้ง ในระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาทีก่อนนำมาหมักย่อยไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนกากมันสำปะหลังเป็นก๊าซชีวภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการศึกษาระบบต้นแบบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน โดยมีบ่อหมักกรดขนาด 12.5 ลูกบาศก์เมตรและบ่อหมักมีเทนขนาด 12.5 ลูกบาศก์เมตร การเดินระบบบ่อหมักกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วันจะสามารถผลิตกรดอินทรีย์ได้ประมาณ 8,000-10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถเทียบเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักกากมันสำปะหลังได้เท่ากับ 50-70 ลูกบาศก์เมตรต่อตันกากสด และจากผลการศึกษา พบว่ามีปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเดินระบบที่เสถียร คือ การรักษาธาตุอาหารหลักและค่าให้เพียงพอ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยและขั้นตอนการนำกรดไปใช้ผลิตก๊าซ เมื่อระบบขาดธาตุอาหารจะทำให้อัตราการผลิตกรดลดลงพร้อมไปกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลงด้วย

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553) ศึกษาวิธีบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถจัดเก็บมันสำปะหลังและต้นข้าวโพด โดยปราศจากการสูญเสียสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยวิธีบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย คือ การกองเก็บวัสดุในรูปของพืชหมัก (Silage) โดยศึกษาประสิทธิภาพของการ

เปลี่ยนมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดไปเป็นพืชหมัก เริ่มต้นการทดลองทางจุลชีววิทยาเพื่อหาเชื้อจุลินทรีย์และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพืชหมักจากวัตถุดิบดังกล่าว ซึ่งผลการศึกษาคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ได้แก่ เศษใบไม้ผุ ดิน มูลโค หญ้าจากกระเพาะของรูเมนโค เปลือกมันสำปะหลัง และต้นข้าวโพดหมัก แล้วจึงคัดเลือกเชื้อที่มีความเหมาะสมในการหมักซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส 8 ไอโซเลทมาเป็นตัวแทนในการศึกษาทำพืชหมักมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดในระยะยาว ได้แก่ เชื้อ RM1, CS2, S2, C7.1, E8.2, RM2, RM3 และ CN2 โดยจากผลการศึกษาพบว่าเชื้อไอโซเลท CS2 และ CN2 มีความเหมาะสมในการทำต้นข้าวโพดหมัก สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมในการทำมันสำปะหลังหมัก ได้แก่ เชื้อไอโซเลท C7.1 และ RM3 ทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆลงไป มันสำปะหลังและต้นข้าวโพดที่ถูกบดสับแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอช, %Lost, %DM, COD_t, VFA, ปริมาณกรดแลกติก, กรดบิวทีริก, กรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิก, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรูปของwater soluble carbohydrate (WSC) และปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ พบว่า พีเอชของต้นข้าวโพดและมันสำปะหลังลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกของการทดลอง และเริ่มมีค่าคงที่จนถึงระยะเวลาการหมักที่ 30 วัน โดยมีค่าพีเอชประมาณ 3.7-3.8 ปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกหลังจากนั้นมีค่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาในการหมัก โดยในพืชหมักนี้มีปริมาณกรดแลกติกมากที่สุดรองลงมาคือกรดอะซิติก ส่วนปริมาณกรดโพรไพโอนิกนั้นจะมีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรก และเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 12 วันไม่พบปริมาณของกรดชนิดนี้ และไม่พบการผลิตกรดบิวทีริกในพืชหมักทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวโพดมีปริมาณมากกว่ามันสำปะหลังและน้ำตาลรีดิวิซ์ของมันสำปะหลังมีปริมาณมากกว่าต้นข้าวโพด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักรวมและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของพืชหมักในชุดทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างน้อยซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์รวมที่วิเคราะห์ได้เนื่องจากมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชหมักที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์กับพืชหมักที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแม้ว่าเมื่อทำพืชหมักเป็นระยะเวลานานขึ้นก็ไม่มีผลต่อการสูญเสียของสารอินทรีย์ ดังนั้นการทำพืชหมักโดยไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆนั้นเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยวิธีการเตรียมพืชหมักมันสำปะหลังเริ่มต้นจากการปอกเปลือกและล้างให้สะอาด นำมาบดด้วยเครื่องบดสับ (Hammer mill) แล้วนำไปทำพืชหมักโดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องเติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีดังกล่าวในการเตรียมมันสำปะหลังสำหรับป้อนเข้าระบบ



สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553) ศึกษาการทำ Biomethane Production (BMP) test ของมันสำปะหลังและศึกษาการปรับสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน โดยใช้มันสำปะหลังที่มีปริมาณของแข็ง 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 2% (เดิมต่าง), 4% (เดิมต่าง) พบว่าที่ปริมาณของแข็ง 2% ของตัวอย่างมันสำปะหลังที่ปรับสัดส่วนและไม่ปรับสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนนั้นให้ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อของแข็งระเหยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างมันสำปะหลังที่มีปริมาณของแข็ง 2% ที่มีการปรับสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนนั้นใช้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซมีเทนที่นานกว่า และเมื่อพิจารณาตัวอย่างมันสำปะหลังที่มีปริมาณของแข็ง 2% และ 4% ซึ่งมีการเดิมต่างตัวอย่างดังกล่าวสามารถเดิมต่างในรูปแบบโซเดียมไบคาร์บอเนตเพียงชนิดเดียวก็เพียงพอต่อการผลิตก๊าซมีเทน แต่ที่ปริมาณของแข็งที่มากกว่า 4% (ที่ปริมาณของแข็ง = 6%, 8%, 10%) จะต้องเดิมต่างถึง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนตและแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตจึงจะเพียงพอ จึงอาจกล่าวได้ว่ามันสำปะหลังที่มีปริมาณของแข็งที่ 4% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากให้ปริมาณก๊าซสูงที่สุดโดยไม่ต้องเดิมต่าง และจากผลการศึกษา BMP ได้ทำการศึกษาต่อถึงสถานะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายและปฏิกิริยาการสร้างกรดโดยเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระเหยและค่าพีเอช โดยใช้ น้ำ 2 ชนิด คือ น้ำทิ้งของระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร (Effluent swine wastewater from Biogas) และน้ำเสียชุมชน (Blacked water) นำมาผสมกับมันสำปะหลังและใช้ปริมาณของแข็งที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง BMP ซึ่งมีค่าที่ 4% พารามิเตอร์ที่บ่งชี้สำหรับปฏิกิริยานี้ คือ กรดไขมันระเหย และพีเอชและใช้ตะกอนจุลชีพเริ่มต้นจากน้ำเสียฟาร์มสุกรระบบบ่อหมักแบบรางตามด้วยถังยูเอเอสบี (Channel Digester + UASB) ของภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริมาณ 30% และไม่มีการเพิ่มความเข้มข้นให้แก่ชุดการทดลอง พบว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำทิ้งของระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่นำมาผสมกับมันสำปะหลังที่มีปริมาณของแข็ง 4% สามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงกว่าและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สั้นกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำเสียชุมชน