บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 การบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment)

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นอาศัยกลไกในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (CHONPS) ของจุลินทรีย์หลายชนิด โดยมีปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอน เมื่อทำการย่อยสลายแล้วเกิดเป็นเซลล์ใหม่ และก๊าซชนิดต่างๆ ดังสมการที่ 2.1

$$CHONPS \xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}} \text{New Cell} + CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \text{Energy} + \text{Other} \qquad (2.1)$$

2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปก๊าซมีเทนนั้น จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.2.1 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-Methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียประเภทนี้ประกอบด้วย แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) และพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้าง (Facultative Anaerobes) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการย่อยสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหย แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ Pseudomonas, Flavobacteria Aerobactor และEscherichia

2.2.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจน เจริญเติบโตช้ามาก ต้องการสารอาหารที่เฉพาะเจาะจง โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติก หรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก (Obligate acetoclastic methanogen) และกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Obligate hydrogenotrophic methanogen) แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ Methanobacteria, Methanosarcina และ Methanobacillus

จะเห็นได้ว่าการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้น ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มที่กล่าวข้างต้น คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอินทรีย์และกลุ่มที่ผลิตมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถสร้างกรดอะซิติก หรือก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ ต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากแบคทีเรียที่ผลิตกรดอินทรีย์เพื่อนำมาสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้จึงต้องทำงานสัมพันธ์กัน

2.3 กระบวนการในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศนั้น อาศัยกลไกในการย่อยสลายของจุลินทรีย์หลายประเภท โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

2.3.1 กระบวนการ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้เป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กเช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ดังสมการที่ 2.2 ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรีย โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยดังกล่าว

$$\begin{aligned} &\text{คาร์โบไฮเดรต} \longrightarrow \text{กลูโคลส} + \text{น้ำ} \\ &\text{โปรตีน} \longrightarrow \text{กรดอะมิโน} + \text{น้ำ} \\ &\text{ไขมัน} \longrightarrow \text{กรดไขมัน} + \text{น้ำ} \end{aligned} \qquad (2.2)$$

2.3.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

กระบวนการสร้างกรด เป็นการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดเล็ก โดยจะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นอาหาร และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่น กรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิค และกรดบิวทิริค เป็นต้น แล้วผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสาร ดังสมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} &C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2 \\ &C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2 \\ &C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2\,CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2 \end{aligned} \qquad (2.3)$$

2.3.3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยง่ายอื่นๆ (Acetoogenesis)

กระบวนการสร้างกรดอะซีติก เป็นการย่อยสลารกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นกรดอะซีติก โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซีโตเจนิก ดังสมการที่ 2.4 นอกจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้ยังทำหน้าที่ย่อยสลายกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้ ให้เป็นกรดอะซีติกอีกด้วย

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3CH_2\,CH_2C + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2\,H_2 \qquad (2.4)$$

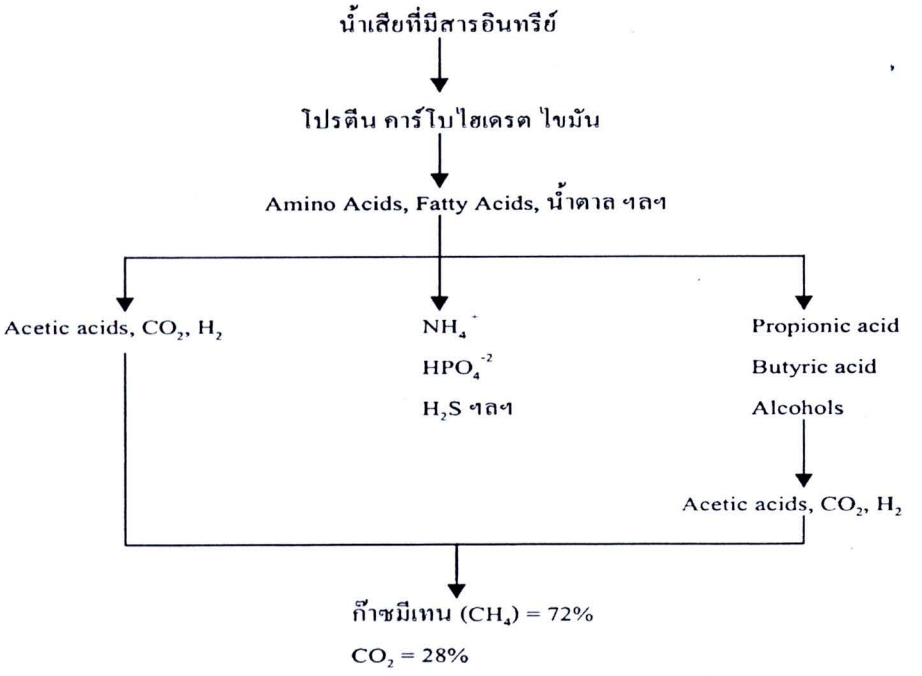
2.3.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน เป็นการเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้อากาศ อย่างเด็ดขาด ดังสมการที่ 2.5 ส่วนกรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้

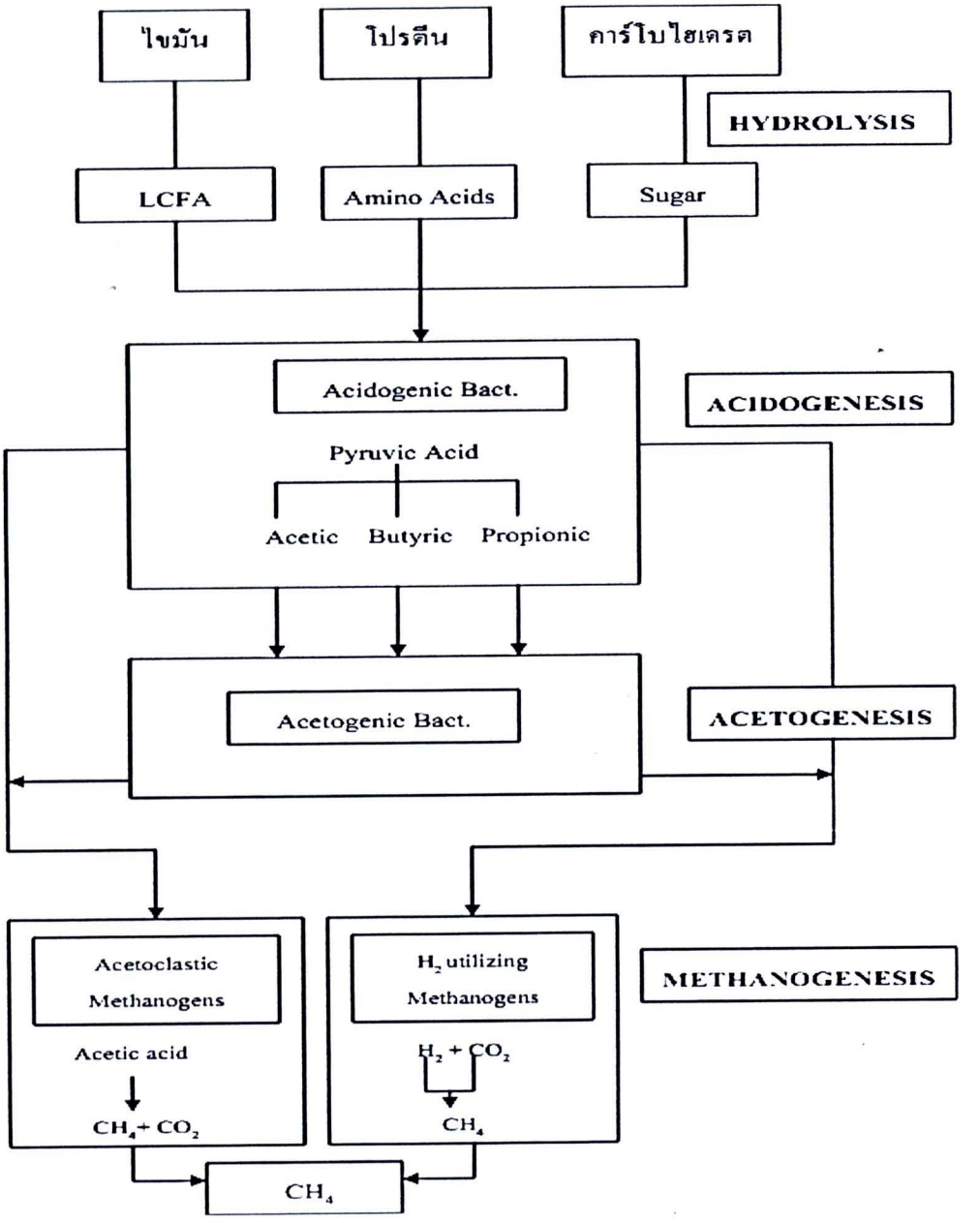
$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

$$CO_2 + 4H_4 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (2.5)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงผลของปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้ดังรูปที่ 2.1 และแสดงแผนภาพการเกิดกระบวนการทั้ง 3 ขั้นตอนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ผลของปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]



รูปที่ 2.2 กระบวนการต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [2]

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศนั้นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นการรักษาสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์มีความสำคัญมากต่อการดำเนินระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจนอาจทำให้ระบบล้มเหลว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างดี ปัจจัยดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

2.4.1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading)

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับอัตราการป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่ การเปลี่ยนภาระบรรทุกสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี โดย วิธีแรกเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสารอาหาร ซึ่งมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการกักเก็บของเหลวภายในปฏิกรณ์โดยตรง และอีกวิธีหนึ่ง คือ เปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบภายในน้ำเสียซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะ น้ำทิ้งจากโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบต่างกัน หรือแม้แต่ในโรงงานเดียวกันน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแต่ละช่วงก็ยังมีองค์ประกอบต่างกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียขาเข้าทำได้ง่ายกว่า โดยต้องควบคุมให้อัตราการไหลของน้ำเสียสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสอาหารของจุลินทรีย์

2.4.2 ความเป็นกรด-เป็นด่าง

ผลของความเป็นกรด-เป็นด่างแสดงที่ค่าพีเอช โดยความเป็นกรดในระบบได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และกรดระเหยง่าย ส่วนความเป็นด่างจะได้มาจากแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเกิดมาจากการย่อยสลายโปรตีน และไบคาร์บอเนตในระบบ ความมีเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขึ้นกับการรักษาค่าพีเอชของระบบ โดยการขจัดโปรตรอนส่วนเกิน ซึ่งจะเปลี่ยนไปในรูปของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนได้ โดยทั่วไปพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-8.0 และพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7

2.4.3 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างภายในระบบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต และเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer)ให้แก่ระบบ โดยใช้ค่าความเป็นด่างสำหรับแสดงความเป็นด่าง และค่ากรดระเหยง่ายสำหรับแสดงค่าความเป็นกรด ถ้าอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตน้อยกว่า 0.4 ระบบไร้อากาศจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลงและไม่เพียงพอ ทำให้พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในบางครั้งถ้าในระบบมีปริมาณความเป็นด่างไม่เพียงพอที่จะควบคุมพีเอช ต้องเติมสารเคมีเข้าไปเพื่อให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer) สูงขึ้น สารเคมีที่ใช้มีหลายประเภท เช่น ด่างแก่ ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต ความเป็นด่างที่เหมาะสมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มก./ล.ของแคลเซียมคาร์บอเนต (as $CaCO_3$)

2.4.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายนี้เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงและสามารถละลายน้ำได้เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้น แต่ถ้าระบบไม่อยู่ในสภาวะสมดุล คือ แบคทีเรียที่ใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายไม่สามารถใช้ได้ทันกับการผลิต จะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ส่งผลให้ค่าความเป็นด่างลดลงเกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนเกิดได้น้อยลง ดังนั้นในการติดตามควบคุมการทำงานของถังปฏิกรณ์จำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและวัดค่าพีเอชควบคู่กันไปด้วยเสมอ เมื่อตรวจพบว่าการทำงานของระบบมีแนวโน้มจะเสียสมดุล กล่าวคือมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงมาก ค่าความเป็นด่างต่ำ และค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 จำเป็นต้องมีการแก้ไขระบบให้กลับคืนสู่สภาพสมดุล ซึ่งอาจทำได้ดังนี้

- ปรับพีเอชให้เป็นกลาง โดยการเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้แก่ระบบ วิธีนี้เป็นการแก้ไขที่ได้ผลเร็ว แต่เสียค่าใช้จ่ายสูง และมีข้อเสียที่สำคัญ คือ ก่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะต่อการทำงานของระบบ เช่น ในกรณีใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอช มักเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตในระบบ
- ลดปริมาณการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้น้อยลง เป็นวิธีที่ให้ผลดีมากกว่า ไม่เปลืองค่าใช้จ่าย และไม่เกิดผลแทรกซ้อนเกี่ยวกับตะกอนในภายหลัง

โดยทั่วไปกรดอินทรีย์ที่พบในถังปฏิกรณ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอะซิติค กรดบิวทีริค และกรดโพรพิโอนิค ในสภาวะปกตินั้นปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มก./ล. แต่ในบางกรณีอาจทนได้ถึง 5,000 มก./ล.ในรูปของกรดอะซีติก

2.4.5 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายกลุ่ม ซึ่งมีความสามารถในการเจริญเติบโตและเกิดเมตาบอลิซึมได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยได้มีการแบ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับความเจริญของแบคทีเรีย ไว้เป็น 3 ช่วง คือ

- ช่วงเทอร์โมฟีลิค (Thermophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 50-65 องศาเซลเซียส
- ช่วงเมโซฟีลิค (Mesophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบจะเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
- ช่วงไซโคฟีลิค (Phychrophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส

แม้ว่าช่วงเทอร์โมฟีลิคจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงเมโซฟีลิค แต่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงเมโซฟีลิคในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เนื่องจากว่าช่วงเทอร์โมฟีลิคจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแบ่งลงอุณหภูมิมาก และต้องมีการควบคุมระบบโดยให้ความร้อนด้วยเครื่องทำความร้อนทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเสียค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นการควบคุมระบบให้อยู่ในช่วงที่พอรับได้จึงเหมาะสมกว่าการใช้เครื่องทำความร้อน ส่วนช่วงไซโคฟีลิคก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมาก และการย่อยสลายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

2.4.6 สารอาหาร

เพื่อให้การสร้างเซลล์แบคทีเรียเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอจึงควรควบคุมให้มีอัตราส่วน บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ประมาณ 100:1.1:0.2 หรือ ซีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ประมาณ 150:1:0.2 นอกจากสารอาหารเหล่านี้แล้ว ยังมีธาตุอื่นๆที่จำเป็นต่อการบำบัดแบบไร้อากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารอาหารเสริมรองที่มีความจำเป็นสำหรับระบบบำบัดไร้อากาศ [1]

สารอาหาร	ปริมาณความเข้มข้นที่จำเป็น
แคลเซียม, ไมโครกรัม Ca/ลิตร	10 – 40
แมกนีเซียม, ไมโครกรัม Mg/ลิตร	10 – 20
โคบอลต์, ไมโครกรัม Co/ลิตร	3 - 60
นิกเกิล, ไมโครกรัม Ni/ลิตร	6
ซิลีเนียม, ไมโครกรัม Se/ลิตร	8
แมงกานีส, ไมโครกรัม Mn/ลิตร	> 5
โครเมียม, ไมโครกรัม Cr/ลิตร	5

2.4.7 สารพิษ

ภายในถังปฏิกรณ์ถ้ามีสารบางอย่างสะสมอยู่ในปริมาณมากเกินไปจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด การผลิตก๊าซมีเทน การเพิ่มขึ้นของกรดระเหยง่ายของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ รวมทั้งเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารนั้นๆ ระดับความเข้มข้นของสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ และระดับความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อระบบโดยตรงมีค่าดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ [3]

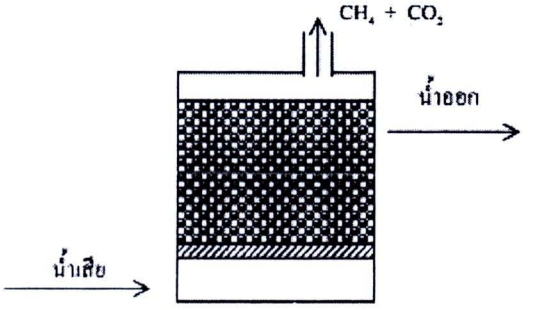
สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย (มก./ล.)
CU	1.0
Zn	5.0
Cr^{6+}	5.0
Total Chromium	5.0
Ni	2.0
Cd	0.02
S^{2-}	100.0
SO_4^{2-}	500.0
Ammonia	1500.0
Na^{+}	3500.0
K^{+}	2500.0
Ca^{2+}	2500.0
Mg^{2+}	1000.0
Acrylonitrite	5.0
Benzene	50.0
CCl_4	10.0
Chloroform	0.1
Pentachlorophenol	0.4
Cyanide	1.0

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อระบบบำบัดโดยตรง [3]

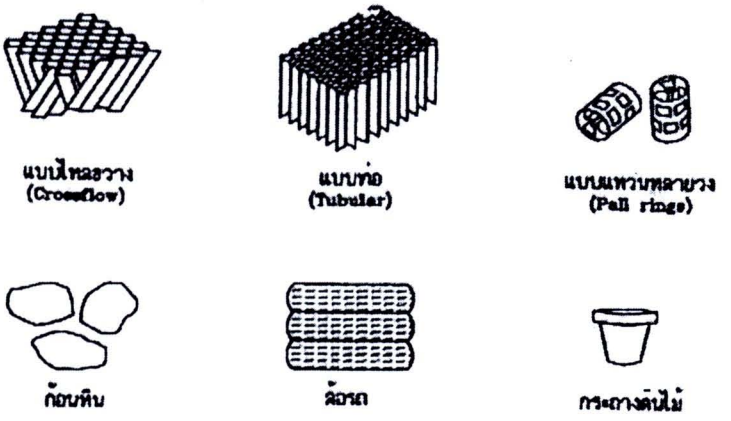
อิออนและโลหะหนักที่เป็นพิษ	ความเข้มข้น		ผลที่มีต่อระบบ
	โมล/ลบ.ดม.	มก./ลิตร	
Na+	0.2	4,600	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.4	9,200	หยุดการทำงาน
K+	0.05-0.10	1,900-3,900	ไม่มีผลยับยั้ง
	> 0.1	> 3,900	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.35	13,650	หยุดการทำงาน
Mg2+	> 0.05	1,200	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.2	4,800	หยุดการทำงาน
Ca2+	0.075	3,000	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	> 0.2	> 8,000	หยุดการทำงาน
S2-	-	150-250	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
		800	หยุดการทำงาน
Cu	-	397	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 24 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
Zn	-	> 500	
	-	350-400	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
		1,000	แบคทีเรียถูกทำลายจนหมด
Ni	-	200	แบคทีเรียเริ่มถูกทำลาย
	-	367	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 23 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
	-	500-1,000	แบคทีเรียถูกทำลายอย่างรุนแรง
	-	> 1,000	แบคทีเรียถูกทำลายจนหมด
Cr	-	200	แบคทีเรียเริ่มถูกทำลาย
	-	2,000	แบคทีเรียถูกทำลายจนหมด

2.5 ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter)

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น มีลักษณะดังรูปที่ 2.3 เป็นระบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้อากาศที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอาศัยจุลินทรีย์ในระบบที่เกาะบริเวณผิวตัวกลาง และที่อาศัยอยู่ในช่องว่างระว่างตัวกลาง รวมถึงจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบ ทำให้ระบบไม่ต้องมีการกวนน้ำเสียภายใน การกำจัดสารอินทรีย์ของระบบนี้จะใช้กระบวนการต่างๆ ได้แก่ การดูดซับ (Adsorption) การกรอง และปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวเคมี ระบบนี้ใช้เวลากักเก็บน้ำเสีย 1 – 10 วัน โดยสามารถรับ COD ของน้ำเสียได้ตั้งแต่ 4 – 16 กก.COD/ม^3-วัน ตัวกลางที่นำมาใช้ได้ คือ พวกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ ได้แก่ ก้อนหิน อิฐ กระเบื้อง ดินเผา ยาง และพลาสติก เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4 ตัวกลางที่ใช้ไม่ควรมีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป เนื่องจากตัวกลางที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ระบบเกิดการอุดตันได้ง่าย และทำให้เกิดการไหลลัดวงจร ส่วนในตัวกลางที่มีขนาดใหญ่เกินไปนั้นจะมีพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของจุลินทรีย์น้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบไม่ดี



รูปที่ 2.3 ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น [4]



รูปที่ 2.4 ตัวกลางแบบต่างๆ ที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ [1]

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นมีข้อดี-ข้อเสีย ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดี-ข้อเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ก่อสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน	1. อาจเกิดการไหลรัดวงจรได้ง่าย โดยเฉพาะจะไหลไปด้วยกับช่องทางก๊าซลอยขึ้น
2. การดำเนินการและบำรุงรักษาระบบง่าย ไม่ยุ่งยาก	2. ตะกอนในระบบจะมีการกวนผสมกันน้อยมาก
3. สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายไปเป็น CH_4 และ CO_2 เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีตะกอนชีวภาพเกิดขึ้นน้อย ช่วยลดภาระจัดการตะกอน	3. การจัดเรียงตัวกลางที่ไม่ดีอาจไปแทนที่น้ำมากเกินไปจนมีความจุน้ำจริงน้อยกว่าที่คำนวณออกแบบไว้ และอาจมีพวกตะกอนทับถมแทนที่น้ำด้วย
4. มีค่าสูญเสียความดันต่ำ โดยปกติจะน้อยกว่า 0.15 ม.	4. ต้องการเวลาในการเดินระบบช่วงเริ่มต้นจนถึงสภาวะคงที่นาน
5. มีความต้องการสารอาหารน้อย	5. อาจเกิดการอุดตันเนื่องจาก TSS ในน้ำเสีย
6. น้ำทิ้งมีกลิ่นน้อย และมีTSSไม่มากนัก พอยอมรับได้	6. โดยปกติระบบบำบัดจะได้น้ำทิ้งที่มี BOD% มากกว่า 30 มก./ล.
7. สามารถรับน้ำเสียที่มีอัตราไหลแปรเปลี่ยนมากได้	7. เนื่องจากระบบมีอายุตะกอนนาน ทำให้เวลาปรับสภาพใหม่นาน เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป
8. ในระบบมีตัวกลางที่สามรถช่วยป้องกันการไหลทิ้งของของแข็งแขวนลอย	8. การล้างย้อนถังยุ่งยากเนื่องจากเป็นถังขนาดใหญ่ต้องอาศัยเทคนิคที่ซับซ้อน
9. สามารถนำไปเสริมประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำทิ้งจากอาคารที่มีถังเกรอะ	
10. มีการล้างถังนานๆครั้ง	
11. อาจใช้ในการกำจัดไนโตรเจนน้ำทิ้งให้เป็นก๊าซไนโตรเจน	
12. ไม่จำเป็นต้องมีเวลากักเก็บนาน	
13. สามารถฟื้นคืนสภาพการบำบัดได้อย่างเร็ว	

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 12 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 249517
เลขเรียกหนังสือ

2.6 ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการดำเนินระบบของถังกรองไร้อากาศ

ในการออกแบบและดำเนินระบบถังกรองไร้อากาศให้มีประสิทธิภาพสูงคุ้มค่าต่อการลงทุนนอกจากปัจจัยทางชีวภาพแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยทางกายภาพร่วมด้วย ปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญต่อระบบมีดังต่อไปนี้

2.6.1 โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ (Reactor Configuration)

ผลของโครงสร้างถังปฏิกรณ์ต่อการดำเนินระบบมักพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปฏิกรณ์

2.6.2 ตัวกลาง (Supporting Material)

ใช้ในการรักษาปริมาณจุลินทรีย์ไว้ในถังปฏิกรณ์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเพื่อสร้างฟิลม์ชีวภาพ (Attached) และกักเก็บจุลินทรีที่แขวนลอยในของเหลวไว้ในช่องว่างระหว่างวัสดุรองรับ (Entrapped) ในการสร้างถังปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ตัวกลางที่จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะตัวได้ในปริมาณมาก ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการไหลของสารอาหาร เช่น การอุดตัน หรือเกิดการไหลลัดวงจร ดังนั้นชนิดและวัสดุของตัวกลางจึงมีความสำคัญอย่างมาก เพื่อให้ถังปฏิกรณ์มีประสิทธิภาพสูง คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงควรเลือกตัวกลางที่เหมาะสม โดยพิจารณาจาก

ก. พื้นที่ผิวของวัสดุ ตัวกรองที่มีพื้นที่ผิวหยาบช่วยให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้เร็ว และสม่ำเสมอกว่าตัวกรองที่มีพื้นผิวเรียบ

ข. ความพรุน (Porosity) และขนาดของรูพรุน (Pore Size) ถ้าตัวกลางมีรูพรุนพอเหมาะ (ประมาณ 1-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์จุลินทรีย์) รูพรุนจะทำหน้าที่เสมือนเป็นเปลือกหุ้มเซลล์ไว้ป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับเซลล์จากการไหลของของเหลวที่ไหลด้วยอัตราเร็วสูงๆ และทำหน้าที่ดักจับจุลินทรีย์ ลักษณะของตัวกลางดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยแรกที่มีผลต่อการยึดเกาะและสร้างฟิล์มชีวภาพของจุลินทรีย์ทั้งในแง่ความเร็ว ความสม่ำเสมอ และคงทน

ค. ลักษณะรูปทรง และการเรียงตัวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์ รูปทรงของตัวกลางมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียงตัวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์ เช่น ในกรณีถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มตัวกลางจะถูกเรียงตัวเป็นช่องยาวตลอดแนวตั้งของถังปฏิกรณ์ จึงไม่มีส่วนที่ขัดขวางการไหลของของเหลวหรือสารแขวนลอยส่วนในถังกรองตัวกลางต้องสามารถบรรจุภายในถังปฏิกรณ์ให้ได้ในปริมาณมาก และมีช่องว่างระหว่างวัสดุรองรับ เพื่อกักเก็บจุลินทรีย์ให้ได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

ง. ความลึกของชั้นตัวกลาง ถ้าชั้นตัวกลางลึกมากจะทำให้ประสิทธิภาพของถังกรองเพิ่มขึ้น และยังรักษาประสิทธิภาพการบำบัดให้ดีได้ในสภาวะที่น้ำเสียไหลเข้าถังกรองไม่สม่ำเสมอ หรือภาระบรรทุกเพิ่มอย่างรวดเร็ว (Shock Load) เนื่องจากมีบริเวณยึดเกาะมากขึ้น ซึ่งจะสามารถเพิ่มปริมาณ

จุลินทรีย์ได้มากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มความลึกของตัวกลางมากขึ้นจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ในเรื่องปริมาณตัวกลางและถังกรอง รวมทั้งเพิ่มแรงดันสูญเสียภายในตัวกลาง อย่างไรก็ตาม พบว่าความลึก 50 ซม. เป็นความลึกที่เพียงพอในการบำบัด

จ. ปริมาตรช่องว่างในถังกรอง นอกจากจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะอยู่บนตัวกลางแล้ว ยังมีจุลินทรีย์อีกส่วนหนึ่งถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลาง ดังนั้นการมีช่องว่างระหว่างตัวกลางต่อปริมาตรสูง จะมีผลเช่นเดียวกับการที่ตัวกลางมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก แต่ถ้าจุลินทรีย์ที่อยู่ตามช่องว่างของตัวกลางมีมากเกินไป อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันและเกิดการไหลลัดวงจรทำให้ปริมาตรที่ใช้งานได้จริงของถังปฏิกรณ์ลดลง

2.6.3 ทิศทางการป้อนสารอาหาร

ทิศทางการป้อนสารอาหารถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของถังกรอง เนื่องจากทิศทางการป้อนสารอาหารแต่ละแบบมีผลต่อการเริ่มต้นระบบ (Start-up) และการเดินระบบให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารอาหาร และการกระจายตัวของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ อย่างไรก็ตามในการพิจารณาผลของทิศทางการป้อนสารอาหารต่อการทำงานของถังกรองควรพิจารณาผลจากปัจจัยอื่นๆที่มีอยู่ในถังร่วมด้วย เช่น ผลจากตัวกลาง ชนิดของน้ำเสีย และอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ เป็นต้น

ก. การป้อนสารอาหารทางด้านบน (Downflow) การกระจายตัวของสารอาหารและจุลินทรีย์บริเวณด้านบนจะมาก มีโอกาสที่จุลินทรีย์อุดตันระหว่างช่องว่างของตัวกลางมากกว่าการป้อนทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากการป้อนสารอาหารด้านบนทิศทางการไหลของน้ำมีทิศทางเดียวกับการตกตะกอนของจุลินทรีย์ ดังนั้นการป้อนทางด้านล่างจะช่วยทำให้การกระจายตัวของจุลินทรีย์ภายในตัวถังปฏิกรณ์มากกว่าแบบทางด้านบน

ข. การป้อนสารอาหารจากทางด้านล่าง (Upflow) การป้อนสารอาหารจากทางด้านล่างใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบสั้นกว่าการป้อนจากด้านบน เนื่องจากสารอาหารไหลวนอย่างทั่วถึงแบะอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ได้นานกว่า ส่งผลให้จุลินทรีย์ได้รับสารอาหารเป็นเวลานานในปริมาณที่มากขึ้น จุลินทรีย์จึงเจริญเติบโตได้เร็วยิ่งขึ้น แต่เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะปกติ การเดินระบบด้วยอัตราการรับสารอินทรีย์สูงขึ้นแต่ HRT สั้นลง การกระจายตัวของสารอาหารภายในถังปฏิกรณ์ไม่ทั่วถึง เนื่องจากการจัดเรียงตัวเป็นแบบสุ่มและมีจุลินทรีย์ยึดเกาะในปริมาณที่มากขึ้น ช่องว่างระหว่างตัวกรองน้อยลง มีผลทำให้สาอาหารที่ไหลผ่านเข้ามาถูกกักไว้แต่ช่วงต้นๆ ดังนั้นการกระจายตัวของสารอาหารและจุลินทรีย์แขวนลอยในถังปฏิกรณ์จึงมีลักษณะเป็นแบบ Plug Flow คือสารอาหารและจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะพบในบริเวณใกล้กับทางเข้าของสารอาหาร

2.6.4 อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสีย (Organic Loading Rate, OLR)

อัตราการไหลของน้ำเสียเป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราภาระสารอินทรีย์ ระยะเวลาการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time, HRT) และระยะเวลาการกักเก็บของแข็งหรือชีวมวล (Solids Resident Time, SRT) ภายในถังปฏิกรณ์ในระบบที่ดีควรมี OLR HRT และ SRT ที่เหมาะสม เพื่อให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวถังปฏิกรณ์ สารอาหารมีโอกาสสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง โดยไม่ให้จุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนถูกพัดออกจากถังปฏิกรณ์ (Wash-Out) เมื่อเดินระบบด้วย HRT สั้นๆจุลินทรีย์ที่แขวนลอยภายในของเหลวจะถูกพัดพาออกไปพร้อม Effuent มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่จึงขึ้นกับการทำงานของจุลินทรีย์บนตัวกลาง แต่เนื่องจากตัวกลางมีขีดจำกัดในการกักเก็บจุลินทรีย์ ประกอบกับจุลลินทรีย์บนตัวกลางก็ไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ทัน ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบจึงขึ้นอยู่กับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์เป็นหลัก

สำหรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีบทบาทสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบมีตัวกรองนี้ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในน้ำเสียนั้นเป็นสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ภายในระบบ การที่สารอินทรีย์มีความเข้มข้นต่ำหรือสูงจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งในลักษณะส่งเสริมและยับยั้ง เช่น น้ำเสียจากกระบวนการหมักกากน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ที่มีความเข้มข้นและความเป็นกรดสูง และมีซัลเฟตในปริมาณมากมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรดต่ำๆ สำหรับซัลเฟตซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากนั้น เมื่อผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพแล้วจะได้ซัลไฟด์ในปริมาณที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ดังกล่าวนี้ด้วย

2.6.5 การป้อนกลับ Effluent

โดยทั่วไปการไหลของน้ำเสียภายในถังกรองมีลักษณะแบบไหลตามกัน (Plug Flow) ถึงแม้ว่าในระหว่างการเดินระบบอาจเกิดการกวนผสมของสารอาหารภายในถังปฏิกรณ์ เนื่องจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้น แต่ก็ไม่ได้ช่วยให้สารอาหารกระจายได้ทั่วตลอดแนวของถังปฏิกรณ์ทำให้ที่บางจุดในถังปฏิกรณ์ โดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้กับทางเข้าของสารอาหารมีการสะสมของสารอาหารมากเกินไป การกระจายตัวของจุลินทรีย์ไม่ทั่วถึง อาจเกิดการสะสมของสารพิษทำให้พีเอชในระบบลดต่ำลงจนมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียจุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยในของเหลวในถังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ป้อนสารอาหารทางด้านล่าง การป้อนกลับน้ำออก เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยช่วยให้สารอาหารที่มีการกระจายทั่วถึงยิ่งขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่ในตำแหน่งห่างจากทางเข้าของสารอาหารมีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารมากขึ้น ทำให้ฟิลม์ชีวภาพหนามากขึ้น จุลินทรีย์

เติบโตได้มากขึ้น และยังเป็นการรักษาปริมาณจุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยในของเหลวที่ถูก Wash-Out ได้ง่าย ถังปฏิกรณ์จึงสามารถรับภาระการป้อนสารอินทรีย์สูงได้ นอกจากนี้การป้อนกลับ Effluent ยังช่วยลดความเข้มข้นตลอดจนพีเอชของสารอาหารให้มีค่าลดลงจนไม่ก่อปัญหาเป็นพิษต่อระบบ และยังช่วยรักษาสมดุลค่า Alkalinity ของระบบ ทำให้การบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพดำเนินต่อไปได้อย่างคงที่

อย่างไรก็ตามการป้อนกลับ Effluent จะให้ผลคุ้มค่าต่อการลงทุนเฉพาะในกรณีที่ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ดำเนินระบบด้วย HRT ในช่วงสั้นๆ เนื่องจากการเพิ่มระบบป้อนกลับ Effluent ต้องการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินระบบเพิ่มมากขึ้น และส่วนใหญ่แล้วถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำๆได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ Effluent

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รุ่งโรจน์ ลีลาเมธีกุล [5] ศึกษากระบวนการถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยตัวกลางที่ใช้เป็นตาข่ายไนล่อนที่มีพื้นที่ผิวสัมผัส 80 $ม^2/ม^3$ ทำการทดลองที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 96, 48, 24, 12, และ 6 ชั่วโมงมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.12, 0.24, 0.48, 1.00 และ 1.96 กก.ซีโอดี/วัน ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีร้อยละ 87, 90, 90, 87 และ 70 ตามลำดับ

ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ [6] ศึกษาผลของการป้อนน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถนะของระบบ ยูเอเอสบีโดยใช้ปฏิกรณ์ยูเอเอสบีปริมาตร 5 ล. จำนวน 3 ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 3 , 6 และ 12 ชม.ต่อวัน ตามลำดับรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 3.47 – 15.77 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่หนึ่ง, สอง และสามมีค่าร้อยละ 76-97, 84-98 และ 86-98 ตามลำดับ ส่วนประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าร้อยละ 48-72, 50-74 และ 57-83 ในถังปฏิกรณ์หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าถังปฏิกรณ์ที่สองและสามมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ใกล้เคียงกันและดีกว่าถังปฏิกรณ์ที่หนึ่งอย่างชัดเจน

รุจิรัตน์ เขมวาส [7] ศึกษาการใช้ถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากเรือนจำ โดยแปรเปลี่ยนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ตั้งแต่ 8 ถึง 48 ชั่วโมง มีอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เท่ากับ 0.013 ถึง 0.0007 กก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 75 ถึง 87 โดยพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง มีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์และเสถียรภาพของถังกรองไร้อากาศ

ธเนศ อุ่นศรี [8] ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเล โดยใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นขนาด 25 ล. น้ำเสียมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 10,285-80,000 มก./ล. และมีค่าพีเอชอยู่ช่วง 6.09-7.02 ที่อัตราภาระอินทรีย์เท่ากับ 0.6, 0.8 และ 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลากักพักชลศาสตร์เท่ากับ 2, 3 และ 4 วัน พบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 2, 3 และ 4 วัน อัตราภาระอินทรีย์เท่ากับ 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 60-79.4, 71.9-83.8 และ 78.7-91.6 ตามลำดับ

Nebot และคณะ [9] ศึกษาผลของความถี่ในการป้อนน้ำต่อสมรรถนะของระบบกรองไร้อากาศ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการป้อนน้ำแบบต่อเนื่องและการป้อนน้ำแบบไม่ต่อเนื่องรูปแบบต่างๆ พบว่าความถี่ในการป้อนที่เหมาะสมมีค่าในช่วง 24 ครั้งต่อวันหรือมากกว่า การป้อนน้ำน้อยกว่า 3 ครั้งต่อวันมีผลทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ ส่วนการป้อนแบบต่อเนื่องพบว่ามีเสถียรภาพและการย่อยสลายที่ดี

Bodkhe [10] ได้พัฒนาลักษณะของถังกรองไร้อากาศที่หลีกเลี่ยงการอุดตันที่ตัวกลาง โดยใช้น้ำเสียชุมชน แปรผันค่าเวลากักพักชลศาสตร์ พบว่าที่ค่าเวลากักพักชลศาตร์ที่เหมาะสมคือ 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และซีโอดีร้อยละ 90 และ 95 ตามลำดับ และสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 95 โดยไม่ต้องบำบัดขั้นต้น สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.35 ลบ.ม.มีเทน/กก.ซีโอดี ที่ส่วนประกอบมีเทนร้อยละ 70 และไม่พบการอุดตันตลอดการทดลอง 600 วัน

González-Martínez และคณะ [11] ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ บรรจุตัวกลางหินลาวาขนาด 6 มม. เดินระบบทั้งสิ้น 220 วัน ที่ค่าเวลากักพักชลศาสตร์ 4.3 และ 9.8 ชั่วโมง (ค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เฉลี่ย 0.48 และ 1.23 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำ (ค่ากักพักชลศาสตร์สูง) มีอัตราการกำจัดซีโอดีและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่า ค่าเฉลี่ยการกำจัดสารแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 79 และ 73 สำหรับค่าเวลากักพักชลศาสตร์สูง และต่ำ (อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำ และสูง) ตามลำดับ