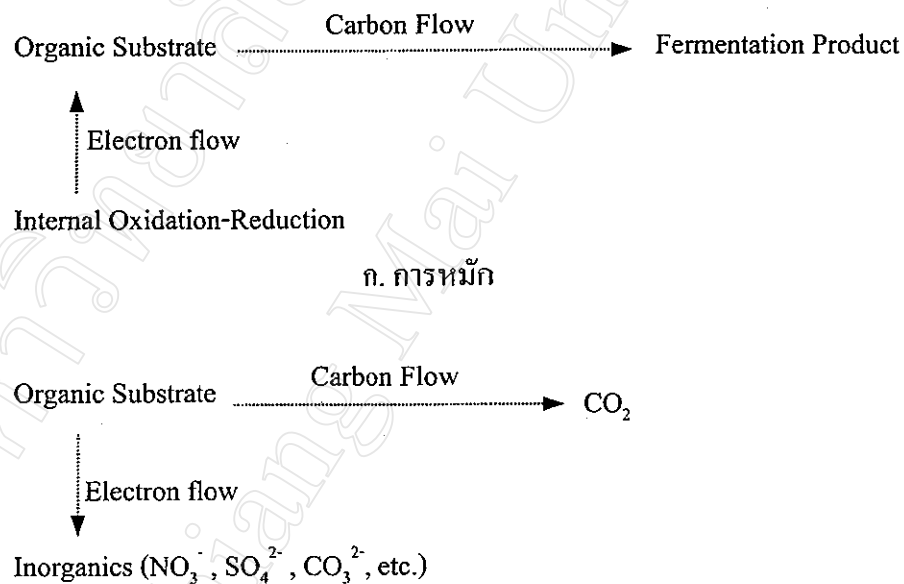


บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สิ่งแวดล้อมทางชีวเคมีและจุลชีววิทยาของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน

ระบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic) คือ ระบบที่ไม่มีออกซิเจนละลายอยู่หรือมีอยู่ที่มีความเข้มข้นน้อยมากจนจำกัดเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของจุลชีพที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Microorganisms) ในระบบไร้ออกซิเจนนั้นตัวรับอิเล็กตรอนสุดท้ายอาจเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้ ถ้าตัวรับอิเล็กตรอนสุดท้ายเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์จะเรียกว่า การหมัก (Fermentation) แต่ถ้าเป็นสารอนินทรีย์จะเรียกว่า การหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) ซึ่งลักษณะของปฏิกิริยาเคมีเป็นไปตามรูปที่ 2.1

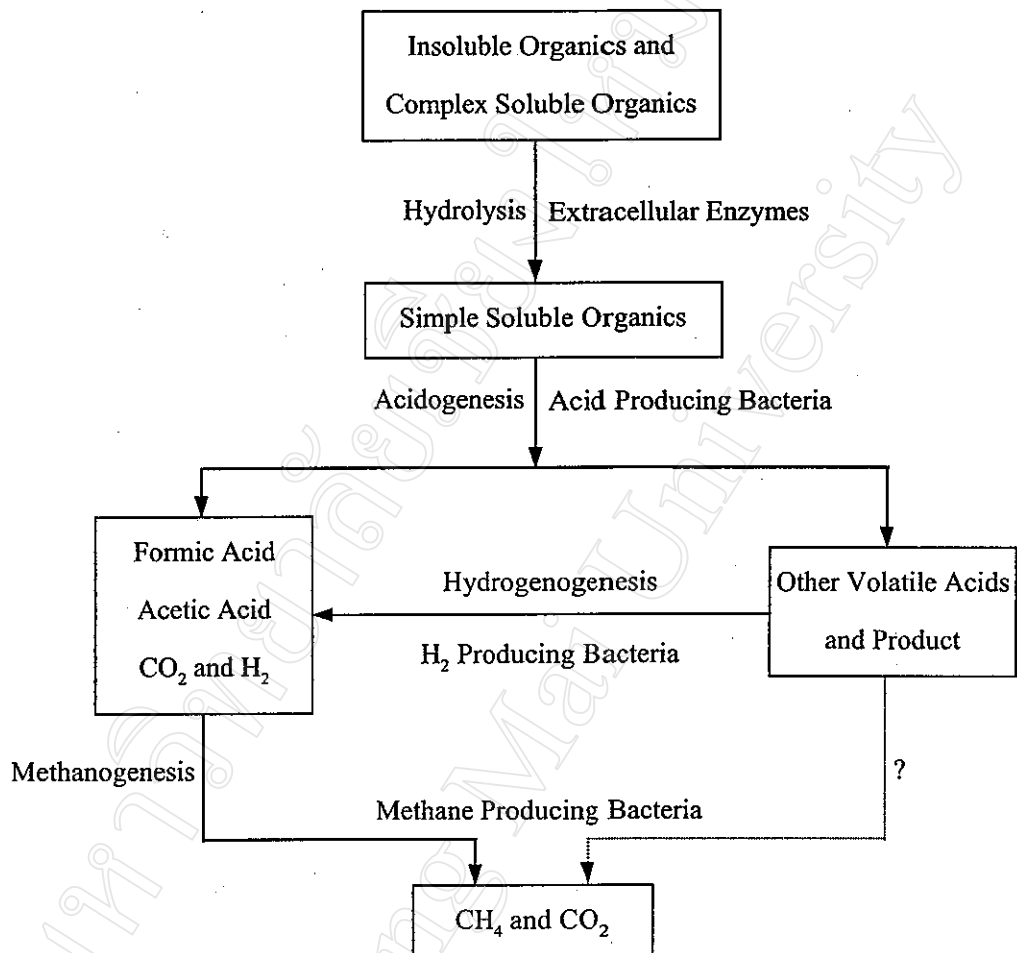


ข. การหายใจแบบไร้ออกซิเจน

รูปที่ 2.1 การไหลของอิเล็กตรอนและคาร์บอนในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนอาศัยการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ซึ่งในการย่อยสลายดำเนินเป็น 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการ

การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) และกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยมีลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

ที่มา : Grady และ Lim, 1980

2.1.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส

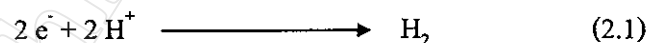
แบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาละลายอนุภาคสารอินทรีย์ และลดขนาดสารอินทรีย์ละลายที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เพื่อให้อยู่ในรูปที่มีมวลโมเลกุลต่ำลงและละลายน้ำได้ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ในธรรมชาติแล้ว แบคทีเรียไม่สามารถนำสารอินทรีย์แขวนลอยไปใช้ได้จนกว่าจะทำให้อยู่ในรูปสารละลายเสียก่อน โดยปกติแล้วเอนไซม์ที่ใช้นั้นมีมากมายในถึงปฏิกิริยา แต่กระบวนการไฮโดร

ไลซิสนั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นกรด ด่าง อายุตะกอน และค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาค โดยที่อนุภาคใหญ่ ๆ ที่มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำจะเกิดไฮโดรไลซิสได้ช้ากว่าอนุภาคที่เล็ก ซึ่งสารต่าง ๆ จะมีอัตราการเกิดไฮโดรไลซิสต่างกัน สารที่ละลายน้ำยากเช่น แป้ง หรือไขมัน กระบวนการไฮโดรไลซิสจะเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดของระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำเสียนั้น ๆ

2.1.2 กระบวนการสร้างกรด

สารละลายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยการหมัก ซึ่งผลผลิตสุดท้ายของการหมักที่มีทั้งพวกที่อยู่ในรูปออกซิไดส์และรีดิวส์ โดยในรูปออกซิไดส์จะเป็นพวกกรดระเหยโมเลกุลสั้น เช่น อะซิติก โปรพิโอนิก บิวไทริก วาเลริก และคาโปรอิก การผลิตกรดเหล่านี้เรียกว่า อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในกระบวนการนี้เรียกว่า แบคทีเรียผลิตกรด (Acid producing bacteria) ส่วนผลปฏิกิริยาในรูปรีดิวส์มีอยู่หลายอย่าง ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและตัวรับอิเล็กตรอน

แบคทีเรียที่ผลิตกรดบางชนิดมีถึงปฏิกิริยาเอนไซม์พิเศษ สามารถออกซิไดส์โคเอนไซม์ (Coenzymes) ที่อยู่ในรูปรีดิวส์โดยไม่ต้องผ่านอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอินทรีย์ ดังนั้นจึงปล่อยก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่ตัวกลางดังสมการที่ (2.1) ถ้าไม่ได้ผลิตก๊าซไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียนี้จะต้องใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งจะเกิดการสร้างผลผลิตในรูปรีดิวส์ เช่น บิวทาโนล อีทานอล กรดซักซินิก กรดแลกติก และผลผลิตที่ออกซิไดส์แล้วคืออะซิเตต แต่การสร้างสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในรูปรีดิวส์นั้นมีน้อย ทำให้ส่วนใหญ่แล้วอะซิเตตจะเป็นผลผลิตสุดท้าย



กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนนี้เรียกว่าไฮโดรจีโนเจเนซิส (Hydrogenogenesis) นอกจากนี้บางตัวของแบคทีเรียผลิตกรดจะใช้กรดระเหยโมเลกุลใหญ่กว่ากรดอะซิติก และสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกรีดิวส์โดยแบคทีเรียอื่นเพื่อผลิตกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติกเรียกว่า อะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis) ความแตกต่างระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรดและที่ผลิตไฮโดรเจนยังไม่ชัดเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิตไฮโดรเจนปกติผลิตกรดแต่แบคทีเรียที่ผลิตกรดไม่ทุกตัวที่ผลิตไฮโดรเจน จึงอาจถือได้ว่าแบคทีเรียที่ผลิตไฮโดรเจนเป็นกลุ่มย่อยของแบคทีเรียที่ผลิตกรด ซึ่ง

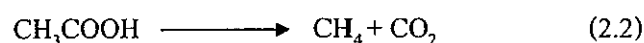
แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้รวมกันเรียกว่า แบคทีเรียที่ไม่ผลิตมีเทน (Non-methanogenic bacteria) อันประกอบไปด้วยหลากหลายกลุ่มของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนชนิดไม่แท้ (Facultative Anaerobic Bacteria) และแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนชนิดแท้ (Obligate Anaerobic Bacteria) โดยเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียพวกนี้ทำให้เกิดผลผลิตเป็น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

ในขั้นไม่ผลิตมีเทนนั้นการลดซัลเฟตเกิดจากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและความไม่มีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งถ้าเกิดก๊าซไฮโดรเจนแยกออกจากตัวกลางแล้วพลังงานที่มีอยู่ในถังปฏิริยาจะลดลงจึงทำให้ค่าซัลเฟตของน้ำเสียลดลง ถ้าไม่มีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นแล้วการลดซัลเฟตจะน้อยมาก เนื่องจากในการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์นั้นอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะผ่านไปยังตัวรับอินทรีย์ซึ่งยังคงอยู่ในตัวกลาง พลังงานของถังปฏิริยาจึงลดต่ำลงเล็กน้อยเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์เท่านั้น

2.1.3 กระบวนการสร้างมีเทน

กระบวนการสร้างมีเทน (CH_4) นั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้า โดยปกติจะเป็นขั้นจำกัดอัตราของการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยานแบบไร้ออกซิเจน โดยมีเทนจะถูกสร้างจากกรดอะซิติกหรือจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งประมาณร้อยละ 70 ของมีเทนนั้นเกิดจากกลุ่มเมทิล (CH_3 -) ของอะซิเตดโดยแบคทีเรียผลิตมีเทนชนิด Acetophilic เช่น *Methanothrix Spp.*, *Methanosarcina Spp.* โดยส่วนที่เหลือจะมาจากการออกซิเดชันของไฮโดรเจน (เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์มีมาก) โดย Hydrogenophilic Methanogens เช่น *Methanobacterium Spp.* ในขณะที่มีเทนส่วนน้อยเท่านั้นที่จะสร้างจากเมทานอลและกรดฟอร์มิก

แบคทีเรียผลิตมีเทนที่สร้างมีเทนโดยการแตกตัวของกรดอะซิติกให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ดังสมการที่ (2.2) เรียกว่า Acetoclastic Methane Bacteria ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้มีการเติบโตที่ช้ามาก คือมีค่าเวลาของการเพิ่มจำนวนเป็นจำนวน 2 เท่า (Doubling times) อย่างต่ำ 2-3 วัน และจะเป็นตัวควบคุมพีเอช ของกระบวนการหมัก



แบคทีเรียผลิตมีเทนอีกพวกหนึ่งคือ Hydrogen-Utilizing Methane Bacteria ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้จะได้พลังงานจากการออกซิเดชันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.3) โดยที่แบคทีเรียพวกนี้เติบโตค่อนข้างเร็ว คือมีค่าเวลาของการเพิ่มจำนวนเป็นจำนวน 2 เท่า อย่างต่ำ 6 ชม.



2.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อจุลชีพในถังปฏิกริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยาในสภาพไร้ออกซิเจน

2.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในถังปฏิกริยาย่อยสลายสารอินทรีย์มีผลกับการทำงานของจุลชีพ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการหมักอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) คือระหว่าง 30-40 °C. อย่างไรก็ตามแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้ทำงานได้นอกช่วงดังกล่าว เช่นแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 8-10 °C. แต่ความสามารถในการบำบัดจะลดลงจากที่อุณหภูมิ 35 °C. เหลือเพียงร้อยละ 10-20 สำหรับน้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงถึงปฏิกริยาจะทำงานในอุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) คือช่วง 50-60 °C. ซึ่งจุลชีพจะทำงานได้ดีขึ้นกว่าช่วงมีโซฟิลิกร้อยละ 25-50

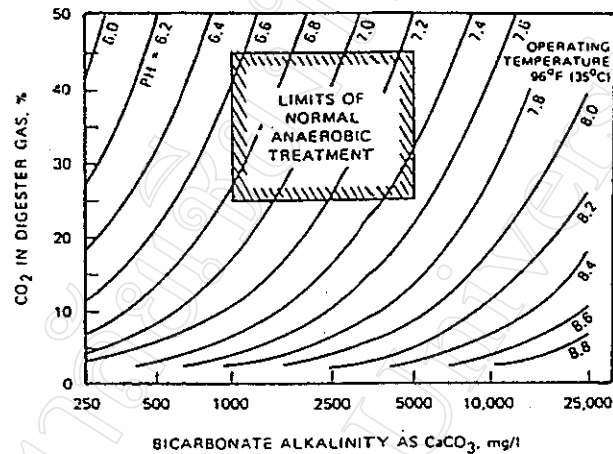
แอนแอโรบิกแบคทีเรียมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2-3 °C. จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก จึงควรควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้น้อยที่สุด

2.2.2 ความเป็นกรดและด่าง

พีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียผลิตกรดอยู่ในช่วง 5.0-6.5 สำหรับแบคทีเรียผลิตมีเทนจะมีค่าประมาณ 6.5 ดังนั้นจึงควรควบคุมค่าพีเอชในถังปฏิกริยาให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 สำหรับการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนชนิดขึ้นตอนเดียวและสองขั้นตอน (Bryant, 1984)

ถ้าไม่มีการควบคุมพีเอชจะเกิดการสะสมกรดระเหยง่ายในถังปฏิกริยา ซึ่งจะทำให้พีเอชในถังปฏิกริยาลดต่ำเกินไป การควบคุมพีเอชในถังหมักแบบไร้ออกซิเจนทำได้โดยการควบคุมปริมาณของกรดระเหยง่าย (Volatile acid) และสภาพด่าง (Alkalinity) โดยปกติปริมาณของกรดระเหยง่ายควรมีค่าประมาณ 50-500 มก./ล.ในรูปของกรดอะซีติก ถ้ามีปริมาณมากกว่า 2,000 มก./ล.ในรูปของกรดอะซีติกแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของถังปฏิกริยาลดลง หรือค่าอัตราส่วนระหว่าง

กรดระเหยและสภาพด่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) ต้องไม่เกิน 0.3-0.4 (Zickefoose และ Hayes, 1976) นอกจากนี้ค่าความเป็นด่างยังมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชและค่าสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งสภาพด่างไบคาร์บอเนตสามารถหาได้จากสมการที่ (2.4) (Albertson, 1961)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช สภาพด่างไบคาร์บอเนต และสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ
ที่มา : McCarty, 1964c

$$BA = TA - 0.71TVA \quad (2.4)$$

โดยที่ BA = สภาพด่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)
TA = สภาพด่างทั้งหมด เมื่อวัดโดยการไตเตรดจนถึงพีเอชเท่ากับ 4.0 (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)
TVA = กรดระเหยง่าย (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)
0.71 = ผลคูณของ (0.833)(0.85) โดยที่ 0.85 คือมีกรดอะซิติกประมาณร้อยละ 85 ของกรดระเหยง่ายทั้งหมดเมื่อใช้วิธีไตเตรดจนถึงพีเอชเท่ากับ 4.0 และ 0.833 คืออัตราส่วนระหว่าง นน. สมมูลย์ของแคลเซียมคาร์บอเนต และกรดอะซิติก

Li และ Sutton (1982) กล่าวว่า สภาพต่างที่ต้องการในการรักษาระดับพีเอชในระบบ แบ่งเป็นสองส่วนคือสภาพต่างไบคาร์บอเนตสำหรับสะเทินกรดระเหยง่าย และสำหรับสมดุลของ คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบดังสมการที่ (2.5)

$$\text{สภาพต่างทั้งหมดที่ต้องการ} = \text{BA}_1 + \text{BA}_2 \quad (2.5)$$

โดยที่ BA_1 = สภาพต่างไบคาร์บอเนตสำหรับสะเทินกรดระเหยง่าย
(มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

BA_2 = สภาพต่างไบคาร์บอเนตสำหรับสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ
(มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

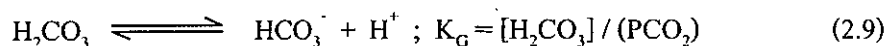
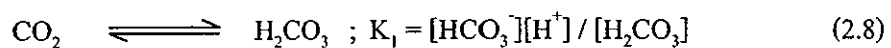
จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดระเหยง่าย (HAc) และสภาพต่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ดังสมการที่ (2.6) พบว่า 1 โมลของกรดระเหยง่ายจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 โมลของสภาพต่างไบคาร์บอเนต ดังนั้นค่า BA_1 จึงสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.7)



$$\text{BA}_1 = 0.833\text{VA} \quad (2.7)$$

โดยที่ 0.833 = อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสมมูลของแคลเซียมคาร์บอเนตและกรดอะซีติก
VA = ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายทั้งหมดที่มีอยู่ (มก./ล.ในรูปของกรดอะซีติก)

กรดคาร์บอนิกในระบบเกิดจากการละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดคาร์บอนิกก็สามารถแตกตัวในน้ำได้ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) ตามลำดับ ซึ่งจากสมการทั้งสองนี้ จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.10)



$$\text{pH} = K_e - 4.699 + \log [(\text{BA}_2)/(\text{PCO}_2)] \quad (2.10)$$

โดยที่ K_i = ค่าคงที่สมดุลของการแตกตัวของกรดคาร์บอนิก
 K_G = ค่าคงที่การละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์
 PCO_2 = ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ (บรรยากาศ)
 $Ke = fe \times Kt$
 fe = ค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความแรงของไอออนต่อกิจกรรมของจุลชีพ
 $Kt = pK_i + pK_G$
 4.699 = ค่าแปลงหน่วยของสภาพค่างไบคาร์บอเนตจากสมมูลย์ต่อลิตรเป็น
 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

สำหรับ pK_i และ pK_G เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ โดยหาได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) (Loewenthal และ Marais, 1976)

$$pK_i = 17,052/T + 215.21\log T - 0.12675T - 545.56 \quad (2.10)$$

$$pK_G = 1/12 + 0.0138t ; 0 < t < 35 \quad (2.11)$$

โดยที่ T = อุณหภูมิ (เคลวิน)
 t = อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

จากการสำรวจของ Li และ Sutton ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนชนิดต่าง ๆ เช่นถังหมักตะกอนในระบบตะกอนเร่ง ถึงเอเอฟในการบำบัดน้ำเสียพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต หรือถังแบบฟลูอิดไคซ์เบดในน้ำเสียทางนม ฯลฯ พบว่าค่า fe มีค่าอยู่ในช่วง 0.92-1.06

2.2.3 สารอาหาร

สารอาหารที่จำเป็นต่อจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอื่น ๆ ปริมาณสารอาหารที่ต้องการที่ใช้กันโดยทั่วไปใช้ค่าอัตราส่วนปริมาณซีโอดีต่อปริมาณเจดาร์ลในโตรเจนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 สารที่ใช้ในการเติมธาตุไนโตรเจนที่ใช้กัน ได้แก่ ยูเรีย สารละลายแอมโมเนีย สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ สำหรับการเติมธาตุฟอสฟอรัสจะใช้กรดฟอสฟอริก หรือเกลือฟอสเฟต

2.2.4 สารพิษ

น้ำเสียที่จะนำมาเข้าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาจะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อจุลชีพ ซึ่งความเป็นพิษมีตั้งแต่พิษโดยตรง (Toxic) หรือยับยั้งการทำงานของจุลชีพ (Inhibited) ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น ๆ สารที่เป็นพิษต่อจุลชีพในระบบย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่สำคัญมีดังนี้

ก. กรดระเหยง่าย

เมื่อพีเอชใกล้ความเป็นกลาง ทั้งกรดอะซิติกและกรดบิวไทริกไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน จนถึงความเข้มข้นของกรดระเหยเท่ากับ 10,000 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ส่วนกรดโพรพิโอนิกจะแสดงความเป็นพิษส่วนหนึ่งต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนที่ความเข้มข้นของกรดระเหยเท่ากับ 1,000 มก./ล. ที่พีเอชเป็นกลาง (Hobson และ Shaw, 1976) ซึ่งพิษของกรดระเหยสามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีปรับสภาพ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น หรือใช้การลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ข. ซัลไฟด์

ซัลไฟด์ในถังปฏิกรณ์แบบไร้ออกซิเจนเกิดจากการรีดักชันของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสียและในการสลายตัวของโปรตีน ถ้าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายมากกว่า 200 มก./ล. จะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียผลิตมีเทนอย่างรุนแรงและนำไปสู่ความล้มเหลวของกระบวนการ ที่ความเข้มข้นถึง 100 มก./ล. จุลชีพสามารถทนได้โดยการทำให้คุ้นเคย (Acclimation) ถ้าความเข้มข้นระหว่าง 100-200 มก./ล. จะมีผลเล็กน้อยต่อการทำงานของระบบหลังจากการทำให้คุ้นเคยแล้ว โดยที่ซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษเนื่องจากเข้าไปในเซลล์ได้ ซึ่งเมื่อโลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการเติมโลหะ เช่น เหล็ก จะลดความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายได้ อย่างไรก็ตามซัลไฟด์สามารถแยกออกจากน้ำได้ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายจึงขึ้นอยู่กับทั้งค่าพีเอชภายในถังปฏิกรณ์และส่วนประกอบของก๊าซด้วย การหาความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายสำหรับตรวจสอบความเป็นพิษที่เป็นไปได้ต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ด้วย (Lawrence และ others, 1964)

ก. แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย เช่นพวกโปรตีนหรือยูเรีย ซึ่งไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาในรูปของก๊าซแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมไอออน ขึ้นอยู่กับพีเอชภายในถังปฏิกริยา ถ้าพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียทั้งหมดจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน โดยก๊าซแอมโมเนียจะเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออน (McCarty, 1964a) สำหรับปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนเป็นไปตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

ความเข้มข้น (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1,000	ไม่เกิดผล
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งการทำงานเมื่อพีเอชสูง
มากกว่า 3,000	เป็นพิษโดยตรง

ที่มา : McCarty, 1964a

ง. โลหะหนัก

โลหะที่เป็นพิษต่อจุลชีพในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนจะอยู่ในรูปของสารละลาย ที่สำคัญคือ สังกะสี (Zn^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+})ปรอท (Hg^{2+}) ตะกั่ว (Pb^{2+}) แคดเมียม (Cd^{2+}) โดยที่ระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษได้โดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ ถ้าซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเองไม่เพียงพอก็อาจทำการเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) กรณีนี้ซัลไฟด์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกดึงออกจากสารละลายโดยเหล็ก และถ้ามีโลหะหนักเพิ่มขึ้นในน้ำเสียแล้วมันจะดึงซัลไฟด์จากเหล็ก เนื่องจากเหล็กซัลไฟด์สามารถละลายได้มากที่สุดในกลุ่มโลหะซัลไฟด์ ถ้าพีเอชในถังปฏิกริยามากกว่า 6.4 เหล็กที่ถูกปล่อยออกมาจะตกผลึกในรูปเหล็กคาร์บอเนต จึงเป็นการป้องกันความเป็นพิษจากเหล็กละลาย สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนหมดประสิทธิภาพเป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไอออนของโลหะหนักที่ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบ
ไร้ออกซิเจนหมดประสิทธิภาพ

ไอออน	ความเข้มข้น (มก./ล.)
Zn ²⁺	163
Cd ²⁺	180
Cu ²⁺	170
Fe ²⁺	1,750
Hg ²⁺	1,365
Cr ³⁺	530
Cr ⁶⁺	450

ที่มา : McCarty, 1964a

จ. เกลืออนินทรีย์

เกลือของสารอนินทรีย์ เช่นเกลือของธาตุหมู่ที่ 1 และ 2 ได้แก่เกลือของธาตุโซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) หรืออื่น ๆ ซึ่งเกลือของสารอนินทรีย์เหล่านี้สามารถแตกตัวได้ไอออนบวก ซึ่งเป็นพิษมากกว่าไอออนลบ โดยปกติพิษของไอออนบวกจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้นและน้ำหนักอะตอมเพิ่มมากขึ้น ผลของความเข้มข้นของ ไอออนบวกของเกลืออนินทรีย์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของไอออนบวกที่มีผลต่อการทำงานของจุลชีพในกระบวนการย่อยสลาย
สารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ไอออน	ระดับความเข้มข้น (มก./ล.)		
	กระตุ้น (Stimulatory)	ยับยั้งปานกลาง (Moderately Inhibitory)	ยับยั้งรุนแรง (Strongly Inhibitory)
โซเดียม (Na ⁺)	100-200	3,500-5,500	8,000
โพแทสเซียม (K ⁺)	200-400	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม (Ca ²⁺)	100-200	1,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม (Mg ²⁺)	75-150	1,000-1,500	3,000

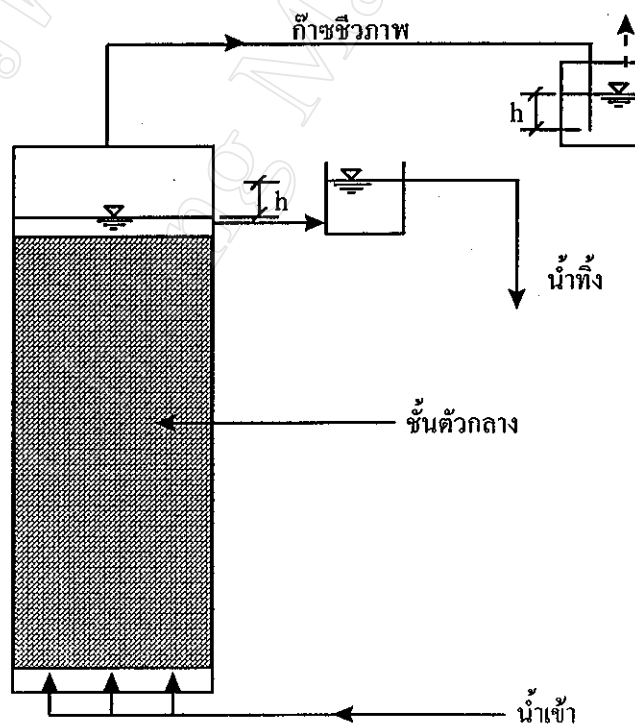
ที่มา : McCarty, 1964c

จากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นกระตุ้นเป็นค่าที่ให้อัตราการทำปฏิกิริยาสูงสุด ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้แน่ใจว่าในถังปฏิกิริยามีสภาพเหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียภายใต้สภาวะปกติ และจะช่วยลดพิษถ้าความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์มีค่ามากเกินไป ถ้าความเข้มข้นที่มีการยับยั้งอย่างรุนแรงจะถ่วงการเติบโตของแบคทีเรียจนต้องใช้อายุตะกอนที่ยาวนานเพื่อป้องกันความล้มเหลวของถังปฏิกิริยา

2.3 ถังปฏิกิริยาเยื่อเอเยฟ

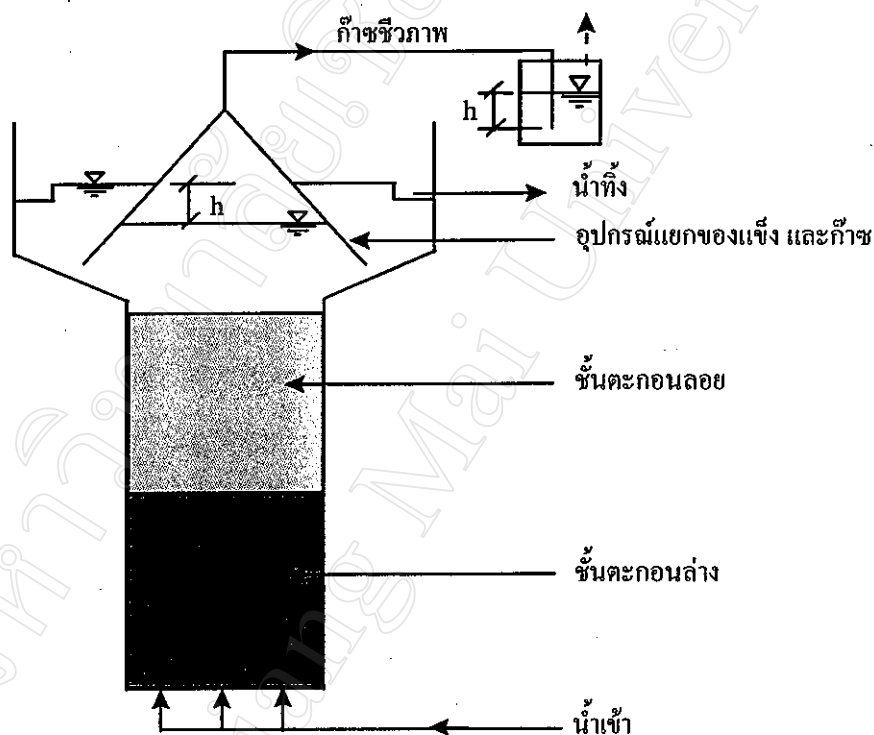
ปัจจุบันถังปฏิกิริยากำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในเขตประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากค่าดูแลรักษาต่ำ มีประสิทธิภาพสูง และยังได้พลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้อีกด้วย ถังปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ถังปฏิกิริยาเอเยฟ และถังปฏิกิริยาเยื่อเอเยฟ

ถังปฏิกิริยาเอเยฟ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือตัวกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางตลอดเวลา ถ้าสามารถทำให้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ในชั้นตัวกลางแล้ว น้ำทิ้งจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน



รูปที่ 2.4 ถังปฏิกิริยาเอเยฟ

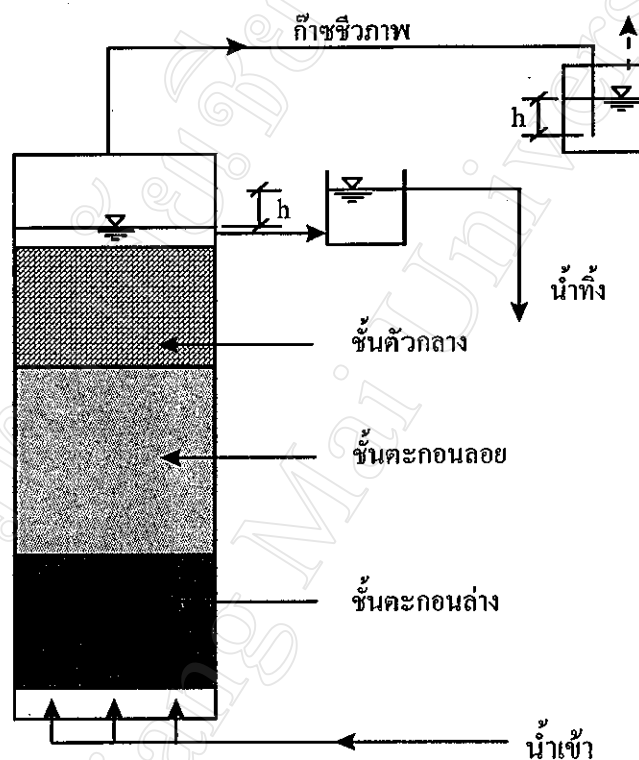
ถังปฏิกริยาเยอเอสบีทำงานโดยการให้น้ำเสียไหลผ่านขึ้นทางด้านล่างของถัง ซึ่งส่วนล่างของถังนี้เรียกว่าชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed Zone) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดตะกอน (Granular Sludge) ที่มีความสามารถในการตกตะกอน และย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สูง อยู่กันอย่างหนาแน่น ถัดจากชั้นนี้จะเป็นชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket Zone) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดตะกอนหรือฟล็อก (Floc) ขนาดเล็ก น้ำเสียที่บำบัดแล้วจะผ่านออกนอกถัง โดยผ่านอุปกรณ์แยกตะกอนและก๊าซ (Gas-solid Separator, GSS) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อนึ่งการเลี้ยงแบคทีเรียไร้ออกซิเจนให้สามารถจับตัวเป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่องยาก เนื่องจากธรรมชาติของมัน ไม่มีนิสัยเกาะจับกันเป็นกลุ่มฟล็อก



รูปที่ 2.5 ถังปฏิกริยาเยอเอสบี

ถังปฏิกริยาทั้งสองแบบที่กล่าวมายังมีข้อด้อยในการดำเนินการอยู่ เช่น ในถังปฏิกริยาเอเอฟนั้นจะสิ้นเปลืองกับตัวกลางที่ราคาแพง ส่วนถังปฏิกริยาเยอเอสบีนั้นอาจมีตะกอนหลุดไปกับน้ำทิ้งเนื่องจากอุปกรณ์แยกตะกอนและก๊าซ (Gas-solid Separator, GSS) ขาดประสิทธิภาพ หรือฟล็อกที่ได้มีขนาดเล็กเกินไป จึงมีความเป็นไปได้ว่าถังปฏิกริยาเยอเอสบีจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งถังปฏิกริยาเยอเอสบีเป็นถังปฏิกริยาที่มีลักษณะผสมระหว่างถังปฏิกริยาเอเอฟและเยอเอสบี โดยการนำตัวกลางในถังปฏิกริยาเอเอฟแบบไหลขึ้นออกประมาณร้อยละ 50-75 ซึ่งจะ

เหลือตัวกลางด้านบนของถังไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จากการกระทำดังกล่าวทำให้ลดการอุดตันและการไหลลัดทางในชั้นตัวกลางอันเป็นปัญหาที่พบในถังปฏิกริยาเอเอเอฟทั่ว ๆ ไป และยังลดค่าใช้จ่ายของตัวกลางลงไปได้มากมาย จุดชีพที่ไม่ได้เกาะตัวกลางจะสะสมอยู่ทางส่วนล่างของถังปฏิกริยา จึงทำให้การวัดระดับความสูงและความเข้มข้นของชั้นตะกอนทำได้โดยง่าย และสามารถปรับระดับการผสมผสานทางด้านล่างของถัง โดยที่ไม่ค่อยมีผลกระทบกับบริเวณชั้นตัวกลาง เนื่องจากชั้นตัวกลางจะทำหน้าที่คักตะกอนที่ลอยขึ้นไป



รูปที่ 2.6 ถังปฏิกริยาเอเอเอฟ

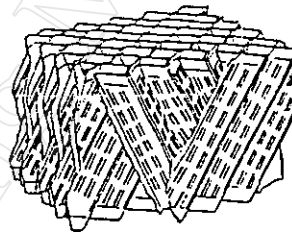
2.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 อิทธิพลของชั้นตัวกลางในถังปฏิกริยาเอเอเอฟ

สัดส่วนของปริมาตรบริเวณชั้นที่ตัวกลางต่อปริมาตรถังทั้งหมด เป็นปัจจัยในการออกแบบที่สำคัญสำหรับถังปฏิกริยาเอเอเอฟ ซึ่งในงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามีได้ใช้ค่าสัดส่วนแตกต่างกันไป บางท่านใช้สัดส่วนสูงถึงร้อยละ 60-70 ในงานบำบัดน้ำชะขยะจากพื้นที่ฝังกลบ (Chang, 1989) และน้ำเสียจากโรงงานทำไอศกรีม (Hawkes et al., 1995) แต่อีกหลายท่านก็ใช้สัดส่วนที่ต่ำคือประมาณร้อยละ 30 (Fang และ Kwong, 1994 ; Tilche et al., 1994)

Kennedy และ Guiot (1986) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความลึกของชั้นตัวกลาง โดยการบรรจุตัวกลางลงไปร้อยละ 8 16 และ 32 ของถัง ทำการกำจัดชีโอดีของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีค่าชีโอดีประมาณ 5,000 มก./ล. ที่ภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 4-12 ก.ชีโอดี/(ล.ว.) เวลาเก็บกักน้ำ 0.4-1.2 ว. ซึ่งสรุปว่าความลึกชั้นตัวกลางไม่ค่อยมีผลต่อการกำจัดชีโอดีละลายน้ำ โดยเฉลี่ยแล้วถังที่มีความลึกชั้นตัวกลางน้อยกว่าจะมีค่าชีโอดีละลายน้ำในน้ำทิ้งต่ำกว่า แต่จะมีจุลชีพหลุดออกไปกับน้ำทิ้งมากกว่าถังที่มีชั้นตัวกลางลึกกว่า

Kennedy et al. (1989) ทำการศึกษาผลของมุม ความลึก และชนิดของตัวกลางที่มีต่อสมรรถนะของถังปฏิกรณ์ยูบีเอฟ (Upflow Sludge Blanket Filter, UBF) ขนาด 22.7 ล. ที่มีการหมุนเวียนน้ำในสัดส่วน 5.4 : 1 ทำการใส่ตัวกลางลงไปร้อยละ 7 14 และ 25 ของปริมาตรถังทั้งหมด ทำการที่ภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3.3-16 ก.ชีโอดี/(ล.ว.) เวลาเก็บกักน้ำ 0.9-1.5 ว. ซึ่งพบว่าตัวกลางแบบ Cross-Flow (ตามรูปที่ 2.7) ที่มีการวางโดยให้มุมเอียงจากแนวระดับที่ต่ำจะมีการกักจุลชีพไว้ในระบบที่ดีกว่าแบบมุมสูงและแบบวางสุ่ม และสรุปว่าปัจจัยทั้งสามไม่ค่อยมีผลต่อสมรรถนะของระบบมากนัก แต่เวลาเก็บกักน้ำหรือภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์จะเป็นปัจจัยหลักในการกักจุลชีพและกำจัดชีโอดี โดยที่ตัวกลางไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสมรรถนะของจุลชีพเลย



รูปที่ 2.7 ตัวกลางแบบ Cross-Flow

ที่มา : Young และ Yang, 1989

Chung และ Choi (1993) ได้ศึกษาถึงสมรรถนะของจุลชีพในถังปฏิกรณ์เอเอฟและเอยูบีเอฟ (Anaerobic Upflow Bed Filter, AUBF) ที่มีการใส่ตัวกลางลงไปเป็นสัดส่วน 1/2 และ 1/7 ของปริมาตรถังทั้งหมด (8.6 ล.) ทำการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ที่ภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1-3 ก.ชีโอดี/(ล.ว.) พบว่าทุกถังมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ถังเอยูบีเอฟที่ใส่ตัวกลางลงไปเป็นสัดส่วน 1/2 จะมีจุลชีพที่สมรรถนะสูงกว่าอีก 2 ถังเล็กน้อย

Miyahara et al. (1995) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวกลางและพฤติกรรมของแบคทีเรียในถังปฏิกริยาแบบฟิล์มตรึง โดยใช้ถังปฏิกริยาขนาด 3.2 ล. ทำการบำบัดน้ำเสียค่าซีไอดี 230-2,770 มก./ล. ที่เวลาเก็บกักน้ำ 48 ชม. โดยใช้ถังที่ใส่ตัวกลางครึ่งหนึ่งที่ด้านบน พบว่าจำนวนแบคทีเรียสร้างกรดที่อยู่ในชั้นตะกอนลอยมีจำนวนมากกว่าในบริเวณชั้นตัวกลาง แต่จำนวนแบคทีเรียสร้างมีเทนที่เกาะอยู่บนชั้นตัวกลางมีมากกว่าในชั้นตะกอนลอยถึง 10 เท่า และเมื่อทำการทดลองที่ค่าซีไอดี 30 มก./ล. เวลาเก็บกักน้ำ 3 ชม. โดยใช้ถังปฏิกริยาที่ใส่ตัวกลางเต็มถังและครึ่งถังพบว่าได้ผลเช่นเดียวกับที่เวลาเก็บกักน้ำ 48 ชม. ซึ่งการสะสมของจุลชีพที่เกาะติดตัวกลางจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักน้ำลดลง และแบคทีเรียสร้างกรดในถังที่ใส่ตัวกลางครึ่งถังจะมีจำนวนมากกว่าถังที่ใส่ตัวกลางเต็มถัง โดยจะเป็นสัดส่วนตรงข้ามกับแบคทีเรียสร้างมีเทน

Samson และ Guiot (1985) ได้ศึกษาถึงสภาพทางจุลชีวศาสตร์ในถังปฏิกริยาอุปีเอฟขนาด 4.35 ล. และใส่ตัวกลางลงไปหนึ่งในสามของปริมาตรถัง บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ (สารละลายน้ำตาลซูโครส) ซีไอดี 10,000 มก./ล. เทอเรเซอร์ที่ใช้คือ Tritiated water (Hydrogen 3) ซึ่งจะไม่ถูกจุลชีพดูดซึม โดยจะฉีดเทอเรเซอร์ในลักษณะทีเดียว (Pulse Load) เข้าทางท่อหน้าเข้า หรือทางท่อหมุนเวียนน้ำในกรณีที่มีการหมุนเวียนน้ำ (อัตราส่วนหมุนเวียนน้ำ 5.4 เท่าของอัตราสูบน้ำเสีย) ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

- เมื่อยังไม่เดินระบบ (ถังเปล่า) ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม. พบว่าสภาพทางจุลชีวศาสตร์เป็นแบบกวนสมบูรณทั้งแบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ (ความเร็วไหลขึ้น 0.025 ม./ชม.) และมีการหมุนเวียนน้ำ (ความเร็วไหลขึ้น 0.16 ม./ชม.) ซึ่งชั้นตัวกลางไม่มีผลต่อสภาพทางจุลชีวศาสตร์ในถัง
- หลังเดินระบบแล้ว (ที่สภาวะคงตัว) พบว่าสภาพทางจุลชีวศาสตร์เป็นแบบกวนสมบูรณเช่นกัน ซึ่งปริมาณจุลชีพไม่มีผลต่อสภาพทางจุลชีวศาสตร์ ส่วนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นช่วยเพิ่มการผสมผสานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

John และ Tare (1997) ทำการศึกษาสภาพทางจุลชีวศาสตร์ของถังยูเอเอชอาร์ (Upflow Anaerobic Hybrid Reactor) ที่ใส่ตัวกลางด้านบนของถังในสัดส่วนร้อยละ 20 ของปริมาตรถัง และถังยูเอเอสบี ขนาด 2.7 ล. โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ที่ความเร็วไหลขึ้น 0.11-0.15 ม./ชม. พบว่าถังเปล่า ๆ มีสภาพทางจุลชีวศาสตร์เป็นแบบปลักโฟลว์ และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.8-4.2 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) แล้วพบว่าสภาพทางจุลชีวศาสตร์จะเข้าใกล้แบบกวนสมบูรณ

Wu et al. (2000) ได้ศึกษาถึงผลของสัดส่วนการใส่ตัวกลางและสภาพทางจุลชีวศาสตร์ของถังปฏิกรณ์แบบลูกผสม ขนาด 7.85 ลิ. ใส่ตัวกลางที่ด้านบนของถังในสัดส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 75 ของปริมาตรถัง ได้ข้อสรุปดังนี้

- ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่า 16 ก.ซีไอดี/(ลิ.ว.) สัดส่วนของการใส่ตัวกลางจะมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะของถังปฏิกรณ์ โดยที่การลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะเป็นผลเนื่องมาจากภาระบรรทุกทางจุลชีวศาสตร์มากเกินไป ส่วนภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะเป็นปัจจัยรองลงมา ซึ่งจากการศึกษาสภาพทางจุลชีวศาสตร์โดยใช้ลิเทียมคลอไรด์เป็นเทอร์เซอร์ พบว่าการไหลลัดทางสูงมาก ซึ่งถึงที่มีการใส่ตัวกลางมากกว่าจะมีการไหลลัดทางที่สูงกว่า ดังนั้นที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ถึงที่ใส่ตัวกลางน้อยที่สุดจะมีสมรรถนะดีที่สุด

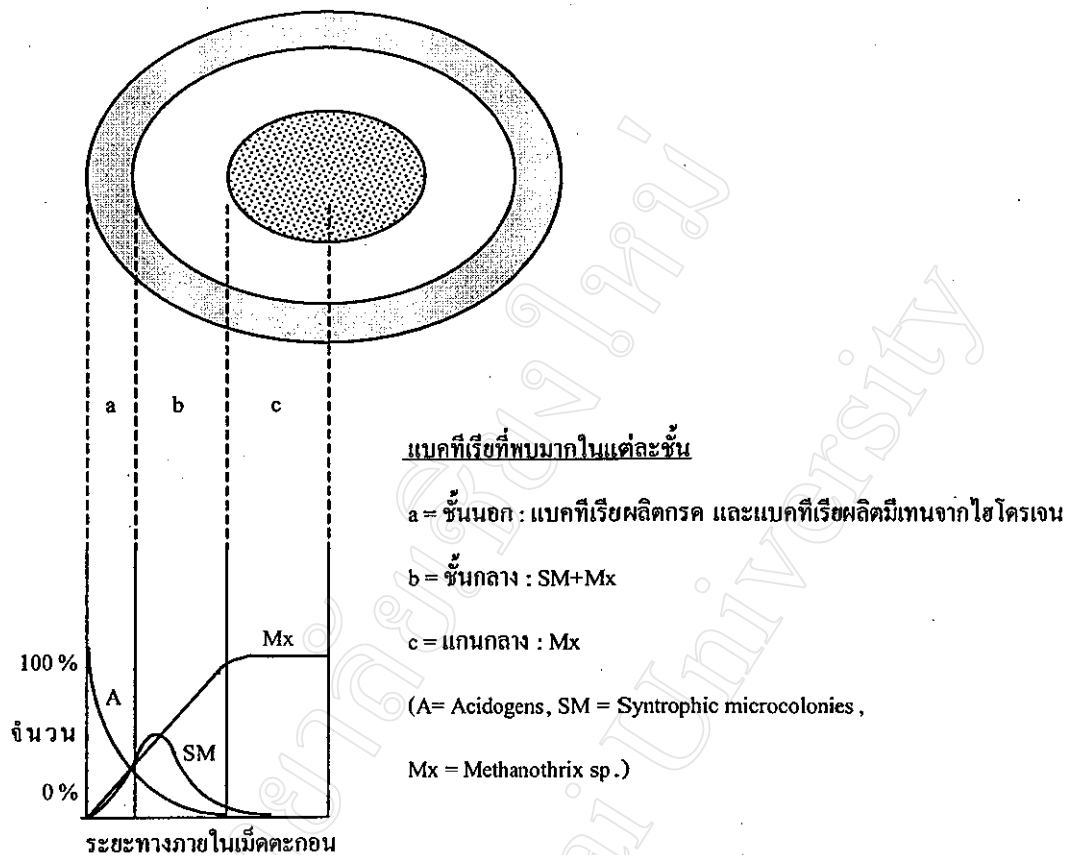
- ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ปานกลาง (4-12 ก.ซีไอดี/(ลิ.ว.)) สัดส่วนของการใส่ตัวกลางจะมีผลต่อสมรรถนะของระบบบ้างเล็กน้อย ซึ่งสัดส่วนการใส่ตัวกลางร้อยละ 20-60 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีละลายน้ำตามความสูงของถังค่อนข้างสูง แต่ที่สัดส่วนของการใส่ตัวกลางร้อยละ 70 จะมีค่าซีไอดีละลายน้ำค่อย ๆ ลดลงตามความสูงของถัง

- ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ (น้อยกว่า 2 ก.ซีไอดี/(ลิ.ว.)) สัดส่วนของการใส่ตัวกลางแทบไม่มีผลต่อสมรรถนะของระบบเลย ซึ่งแต่ละถังจะมีการลดลงของค่าซีไอดีละลายน้ำตามความสูงของถังที่คล้ายกันมาก โดยที่ซีไอดีจะลดลงจนถึงที่ระดับความสูงประมาณ 40 ซม. เท่านั้น และการลดเป็นในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล กล่าวได้ว่าสภาพทางจุลชีวศาสตร์ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำเป็นแบบปลั๊กโฟลว์

จากผลดังกล่าว Wu และคณะได้แนะนำว่าสัดส่วนของการใส่ตัวกลางร้อยละ 20 ก็เพียงพอในการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบลูกผสม แม้ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง

2.4.2 การบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยกระบวนการชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

Fang et al. (1994) ได้ศึกษาถึงโครงสร้างของเม็คตะกอนภายในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ที่น้ำเสียชนิดต่าง ๆ พบว่า น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาลซูโครสและน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์) เม็คตะกอนจะมีโครงสร้างเป็นชั้น 3 ชั้น โดยที่แกนกลางจะประกอบด้วย *Methanothrix* เป็นหลัก แกนกลางจะพบโคโลนีเล็ก ๆ ของ *Methanothrix* และโคโลนีของจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันแบบพึ่งพากัน (Syntrophic microcolonies) ระหว่างแบคทีเรียผลิตไฮโดรเจน และแบคทีเรียผลิตมีเทนจากไฮโดรเจน ส่วนชั้นนอกสุดประกอบด้วยแบคทีเรียผลิตกรด และพบ *Methanothrix* บ้างเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบเดียวกันนี้ยังพบในการศึกษาของ Macleod (1990) และ Guiot (1992) ในการย่อยสลายซูโครสและกลูโคสตามลำดับ



รูปที่ 2.8 ปริมาณแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ภายในเมื่อดตะกอนจุลชีพจากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ที่มา : Fang et al., 1994

แต่สำหรับเมื่อดตะกอนของน้ำเสียประเภท โปรตีนหรือกรดอะมิโนต่าง ๆ ขั้นตอนการสร้างกรดจะเป็นขั้นจำกัดของปฏิกิริยา เนื่องจากย่อยสลายได้ยากและมีการแพร่ที่ช้า เมื่อดตะกอนจึงมีโครงสร้างที่สม่ำเสมอตลอด ไม่แบ่งเป็นชั้น (Fang et al., 1994)

แบ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนแต่ย่อยสลายได้ง่าย โดยมีขั้นตอนไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนจำกัดปฏิกิริยา (Pavlostathis และ Gomez, 1991) เมื่ออนุภาคแบ่งเข้าสู่ถัง ยูเอเอสบี แบคทีเรียในเมื่อดตะกอนยังไม่สามารถใช้อุณหภูมิที่เย็นไม่ละลายน้ำได้ เนื่องจากแบ่งไม่สามารถแพร่เข้าสู่เมื่อดตะกอนได้ อนุภาคแบ่งเหล่านี้จะตกตะกอนและดูดซับผิวของเมื่อดตะกอน จุลชีพ และขัดขวางการรวมเป็นเม็ด (Lettinga et al., 1980) และยังขัดขวางการส่งถ่ายของสารอาหารเข้าสู่เมื่อดตะกอน ทำให้เมื่อดตะกอนจุลชีพเสียสภาพและประสิทธิภาพการทำงานลดลง โดย Koster

และ Lettinga (1985) พบอนุภาคแป้งมันฝรั่งสะสมในชั้นตะกอนในถังยูเอเอสบีที่อุณหภูมิ 14 และ 20 °C ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำคือ 3 และ 4-5 กก.ชีโอดี/(ล.ว.) ตามลำดับ

Endo และ Tohya (1988) กล่าวว่า การสะสมตัวของอนุภาคแป้งในระบบยูเอเอสบียังทำให้แบคทีเรียผลิตกรดที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเจริญเติบโตในระบบ ส่งผลให้เกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์และเกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายในระบบ เกิดผลเสียต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนและทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด โดยเริ่มพบแบคทีเรียสร้างกรดชนิดเส้นใยในระบบที่น้ำเสียแป้งเข้มข้นมากกว่า 2,000 มก./ล.

Lettinga et al. (1980) แนะนำให้มีถังสร้างกรดเพื่อย่อยสลายอนุภาคแขวนลอยให้ละลายน้ำหรือเป็นกรดก่อนเข้าถังยูเอเอสบี การทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจากการไหลของน้ำเสียเข้าถัง หรือจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะช่วยไล่อนุภาคแขวนลอยที่สะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบได้

ธาดา นัตถธานี (2530) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการผลิตกรดระเหยง่าย คือที่เวลาเก็บกักน้ำ 1 ว. (21-22 กก.ชีโอดี/(ล.ว.)) ส่วนขั้นตอนการผลิตมีเทน เวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมคือ 5 ว. (3.06 กก.ชีโอดี/(ล.ว.)) ซึ่งได้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 92 สำหรับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว พบว่าใช้เวลาเก็บกักน้ำสูงถึง 13 ว. (1.64 กก.ชีโอดี/(ล.ว.)) ซึ่งได้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีร้อยละ 96

อย่างไรก็ตาม นักวิจัยบางท่านไม่พบผลเสียของอนุภาคแป้งเหมือนกับที่รายงานไว้ข้างต้น เช่น Fang และ Kwong (1995) ได้ทำการศึกษาการหมักอนุภาคแป้งโดยใช้แบบจำลองถึงปฏิกิริยาชีวปฏิกิริยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 84 มม. สูง 1550 มม. ความจุ 8.5 ล. ด้านบนของถังใส่ตัวกลางพลาสติกที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 235 ม²/ม³ เป็นระยะ 500 มม. บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและแป้งข้าวโพด (ค่าชีโอดี 3,000 - 25,000 มก./ล.) ภายใต้อุณหภูมิ 37 °C. พีเอช 7 - 7.5 ที่เวลาเก็บกักน้ำจาก 12-24 ชม. โดยเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 3 ไปจนถึง 50 กก.ชีโอดี/(ม³.ว.) ซึ่งจะทำให้การลดปริมาณน้ำตาลซูโครสลงไปเรื่อย ๆ จนหมดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ชีโอดี/(ม³.ว.) คิดเป็นเวลาการปรับตัวประมาณ 265 วัน พบว่าร้อยละ

86.1 ของซีโอดีที่ถูกกำจัดไปจะกลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงถึง 40 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 94 ซึ่งไม่พบผลเสียของอนุภาคแป้งเลย ทั้งนี้เป็นเพราะเทคนิคในการเริ่มต้นระบบจนทำให้จุลชีพคุ้นเคยกับอนุภาคแป้งได้ และพบว่าในน้ำออกจะมีแป้งที่ยังไม่ละลายน้ำออกมาเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1.2

ด้วยวิธีการปรับสภาพจุลชีพแบบเดียวกัน Fang และ Kwong (1996) ได้ทดลองแบบเดียวกันกับถังปฏิกริยาเยอเอสบี และเอเอฟขนาด 8.5 ล. โดยน้ำเสียเป็นแป้งข้าวโพดเช่นกัน พบว่าถังปฏิกริยาทั้งสองแบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงถึง 90 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 95 และไม่พบผลเสียของอนุภาคแป้งเช่นกัน

เนตรนภา สรุตราพงศ์ (2539) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง ค่าซีโอดีทั้งหมด 2,500-5,000 มก./ล. ด้วยแบบจำลองถังเยอเอสบี ขนาด 2 ล. สามแบบ คือ แบบที่ไม่มีถังสร้างกรด แบบที่มีถังสร้างกรด และแบบที่มีถังสร้างกรดพร้อมกับการเวียนน้ำกลับด้วยอัตราส่วนเวียนกลับ 5 : 1 เวลาเก็บกักน้ำของถังเยอเอสบีและถังสร้างกรดเท่ากับ 12 ชม. พบว่า เมื่อไม่มีถังสร้างกรดจะทำให้เกิดตะกอนจุลชีพหลุดออกจากถังเกือบทั้งหมด ซึ่งที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของทั้งสามแบบเท่ากับร้อยละ 81 89 และ 84 ตามลำดับ อัตราผลิตมีเทนเท่ากับ 0.09 0.28 และ 0.31 ล./ก.ซีโอดีที่กำจัด ตามลำดับ และได้สรุปว่าการใช้ถังปฏิกริยาเยอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดสามารถลดการหลุดออกของเม็ดตะกอนและลดการสะสมของกรดระเหยง่ายในระบบได้ แต่ผลของการหมุนเวียนน้ำกลับไม่ชัดเจนนัก โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบเล็กน้อย

เบญจพร สุรารักษ์ (2541) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าซีโอดีทั้งหมด 15,000-22,000 มก./ล. โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบลูกผสมขนาด 6 ล. ซึ่งใส่เชื้อกลั่นลงในถังด้านล่างบนครึ่งหนึ่งของความสูงถัง และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่มีความหนาแน่นของตัวกลางเท่ากับ 33 22 และ 11 กก./ม³ พบว่า ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) เวลาเก็บกักน้ำ 5.4 ว. ได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำเท่ากับ 87 84 และ 70 ตามลำดับ โดยมีอัตราผลิตมีเทนเท่ากับ 0.18 0.17 และ 0.19 ล./ก.ซีโอดีที่บำบัด และพบว่าร้อยละ 95 ของซีโอดีที่ถูกบำบัดภายในถังปฏิกริยาบริเวณชั้นตะกอนล่าง สำหรับการบำบัดกรดระเหยง่ายพบว่าเป็นการบำบัดในบริเวณชั้นตัวกลางอย่างชัดเจนเมื่อเวลาเก็บกักน้ำลดลงเหลือ 3 ว. และสรุปว่าถังที่มีปริมาณตัวกลางมากที่สุดมีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมดีที่สุด และมีความ

สามารถในการกักจุลชีพได้ดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ค่อมวลจุลชีพภายในระบบ กลับพบว่า ถึงที่มีตัวกลางมากที่สุดมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ต่ำสุด เนื่องจากการไหลและการแพร่ของสารอาหารในระบบเป็นไปอย่างจำกัด ทำให้จุลชีพสัมผัสกับอาหารได้ไม่ทั่วถึง

2.4.3 การใช้ถังปฏิกริยาเยื่อเอเชอเฟในการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ

พิพัฒน์ ชื่นชมชาติ (2529) ได้ทำการศึกษาการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นต่ำ ที่มีค่าซีไอดี 300 มก./ล. โดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง โดยใช้ถังปฏิกริยานาความจุ 11.3 ล. สูง 2.5 ม. ซึ่งใช้ตัวกลางเป็นโร้ววนผสมแบบหนาที่มีผิวพรุนร้อยละ 90 โดยทำการทดลองที่เวลาเก็บกักน้ำ 3 6 9 และ 12 ชม. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.85 0.93 0.62 และ 0.46 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าแบบใส่ตัวกลางครึ่งถังจะมีสมรรถนะในการทำงานดีกว่าเล็กน้อย ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 50 - 92 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 3- 12 ชม. ซึ่งได้ก๊าซชีวภาพที่มีเทนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยร้อยละ 45 โดยที่มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.096 ล./ก. ของซีไอดีที่ถูกกำจัด และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกักน้ำ

Guiot และ Van Den Berg (1985) ได้ทำการศึกษาถังปฏิกริยาเยื่อเอเชอเฟ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.6 ซม. สูง 62 ซม. ปริมาตร 4.25 ลิตร โดยใส่ตัวกลางพลาสติกมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากับ 235 ม²/ม³ ทางด้านบนของถัง คิดเป็นหนึ่งในสามส่วนของปริมาตรถัง น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดี 2,500 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 27 °ซ. และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5-51 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) พบว่าถังปฏิกริยามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมากกว่าร้อยละ 93 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 26-34 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) และได้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 7 ล./ว.ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

Gorur et al. (1986) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นต่ำ (ค่าซีไอดี 300 มก./ล.) โดยใช้แบบจำลองถังปฏิกริยาเยื่อเอเชอเฟ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.6 ซม. ระดับน้ำในถังสูง 62 ซม. และทำการใส่ตัวกลางด้านบนของถังคิดเป็นร้อยละ 32 ของปริมาตรถัง พบว่าได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีละลายน้ำร้อยละ 93 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 3 ชม. และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.85 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) ซึ่งได้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อภาระบรรทุกมากขึ้นเหลือร้อยละ 73 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 1.6 ชม. และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.9 ก.ซีไอดี/(ล.ว.) โดยได้อัตราการเกิดก๊าซ

มีเทนต่อปริมาตรถึงเท่ากับ 0.7 และ 1 ม³/(ม³.ว.) ที่เวลาเก็บกักน้ำ 3 และ 1.6 ชม. ตามลำดับ และมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ในก๊าซชีวภาพในช่วงร้อยละ 1-17 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักน้ำลดลง

Britz และ Van Der Merwe (1993) ได้ทำการศึกษาการกำจัดน้ำเสียที่เป็นยีสต์ที่มีค่าซีโอดี 21,767 มก./ล. ซึ่งควบคุมพีเอชให้เท่ากับ 6 โดยใช้แบบจำลองถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบผสมชนิดไหลขึ้น (Up-Flow Anaerobic Hybrid Digester) ปริมาตรใช้งาน 5 ลิตร และมีตัวกลางใส่อยู่ด้านบนของถังสองในสามส่วน ทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิ 35 °ซ. พบว่าได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 76 61 และ 33 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 3 2 และ 1 วันตามลำดับ โดยมีอัตราการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 6.51 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10.65 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) ที่เวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน ซึ่งได้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถึงเท่ากับ 0.59 0.62 และ 0.79 ม³/ม³ โดยมีมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 58 52 และ 45 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 3 2 และ 1 วันตามลำดับ

Borja et al. (1995) ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่มีซีโอดี 2,450 มก./ล. โดยใช้แบบจำลองถังปฏิกริยาอุปีเอฟ ขนาด 4.2 ล. โดยใส่ตัวกลางลงที่ด้านบนเป็นความสูงหนึ่งในสามของถัง ภายใต้อุณหภูมิ 35 °ซ. ดำเนินระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4-45 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) พบว่าได้อัตราการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 32 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) โดยได้อัตราผลิตมีเทน 6.91 ล./ว. ที่สภาวะมาตรฐาน โดยได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 96 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) และพบว่าชั้นตัวกลางมีความสำคัญมากในการกักจุลชีพ แต่ไม่มีผลต่อการบำบัดซีโอดี

Tur และ Huang (1997) ได้ศึกษาการกำจัดกรดพทาสิก (Phthalic acid) ความเข้มข้น 5,780 มก./ล. โดยใช้ถังปฏิกริยาผสมระหว่างยูเอเอสบีและเอเอฟ (Anaerobic Hybrid Reactor) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ซม. โดยที่ด้านล่างเป็นถังปฏิกริยายูเอเอสบีสูง 70 ซม. และด้านบนเป็นถังปฏิกริยาเอเอฟสูง 40 ซม. ซึ่งคิดเป็นปริมาตร 5.50 และ 3.14 ล. ตามลำดับ ตัวกลางที่ใช้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 330 ตรม./ลบม. และมีช่องว่างร้อยละ 88 พบว่าได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 95 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) โดยที่ร้อยละ 89.5 ของซีโอดีที่ถูกกำจัดถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 26.7 33.0 39.7 และ 46.3 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) แล้วประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงเหลือร้อยละ 78 65 58 และ 47.7 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละ 86 ของมวลจุลชีพในถังจะพบในส่วนที่เป็นถังปฏิกริยายูเอเอสบี และร้อยละ 14 พบในส่วนที่เป็นถังปฏิกริยาเอเอฟ

Berardino และ Santana (1997) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้แบบจำลองเครื่องกรองไร้อากาศแบบผสม (Anaerobic Hybrid Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 110 มม. สูง 1.2 ม. ปริมาตร 10 ล. ใส่ตัวกลางด้านบนของถัง โดยน้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดี 187-2,740 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 15-35 °C โดยไม่ได้ทำการเติมหัวเชื้อในการเริ่มต้นระบบ พบว่าได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 67-89 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.35-2.7 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) และระยะเวลาเก็บกักน้ำ 80-12 ชม. อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมีค่า 0.03-0.35 ล./ก. ของซีโอดีที่กำจัด โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 92-98 และพบว่าแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนมีเพียงพอที่จะทำให้ถังปฏิกริยาเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ในเวลา 60 วัน

Santos และ Berardino (1997) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนมโดยใช้เครื่องกรองไร้อากาศแบบผสม (Anaerobic Hybrid Filter) โดยใช้ถังปฏิกริยาขนาด 10 ล. ใส่ตัวกลางลงไปร้อยละ 20 ที่ด้านบนของถัง น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดีประมาณ 2,500 มก./ล. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 750 มก./ล. โดยใช้เวลาเก็บกักน้ำ 8-96 ชม. ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.75-3.3 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) ภายใต้อุณหภูมิ 25-27 °C พบว่าสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80-95 ของภาระบรรทุกเมื่อเวลาเก็บกักมากกว่า 20 ชม. ซึ่งการบำบัดหลักเกิดที่ชั้นตะกอนทางก้นถัง ได้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.15-0.24 ม³/กก.ซีโอดีที่กำจัด โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 80 และยังพบว่าเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 1.5 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) แล้วจะเกิดปัญหาการมีไขมันลอยสะสมบนถัง

Lettinga et al. (1999) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่อุณหภูมิต่ำ (13 °C) โดยใช้ถังปฏิกริยายูเอเอสบี และถังปฏิกริยาเอเอช (Anaerobic Hybrid Reactor; AH) ที่ใส่ตัวกลางที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 500 ม²/ม³ ถังปฏิกริยาทั้งสองแบบมีความจุ 3.84 ล. ใช้เชื้อคั้งต้นเป็นเม็ดตะกอนจุลชีพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 0.73 มม. จากถังปฏิกริยายูเอเอสบี โดยเติมลงไปประมาณ 29 ก.ของแข็งแขวนลอยระยะเหย/ล. ทำการทดลองภายใต้เวลาเก็บกักน้ำ 8 ชม. และความเร็วไหลขึ้น 1.8 ม./ว. พบว่าเมื่อใช้ถังปฏิกริยาเอเอชกับน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนขั้นต้นมาแล้ว (ค่าซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 339 มก./ล.) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในรูปสารแขวนลอยมากกว่าถังปฏิกริยายูเอเอสบีอย่างชัดเจน ซึ่งที่สภาวะคงที่นี้ถังปฏิกริยาเอเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด ร้อยละ 64 ซึ่งสูงกว่าถังปฏิกริยายูเอเอสบีร้อยละ 4 และสรุปว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพถังปฏิกริยาบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิต่ำได้โดยให้น้ำเสียผ่านการตกตะกอนขั้นต้นก่อนแล้วจึงผ่านถังปฏิกริยาเอเอชที่มีเม็ดตะกอนจุลชีพขนาดเล็ก