หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การใช้วิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในการกำจัดขยะสดจากตลาด โดยเฉพาะพวกพืชสดที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพวกเซลลูโลสสามารถทำได้ และยังได้แสดงให้เห็นว่าการแยกขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ผลิตกรดระเหยง่ายออกจากขั้นตอนการใช้กรดระเหยง่ายในการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์นั้น สามารถทำได้และทำงานได้ด้วยดี แม้ว่าในการทดลองจะมีปัญหาในเรื่องการอุดตันของเส้นใยพืชที่จะป้อนเข้าสู่ถังหมักบ้าง แต่การเจือจางขยะบดก่อน และการควบคุมการทำงานของปั๊มและมอเตอร์ต่าง ๆ ให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องได้แล้ว ก็จะทำให้ระบบดำเนินไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการทดลองยังอยู่ในช่วง mesophile และอุณหภูมิของถังหมักต่าง ๆ ก็ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิอากาศมากนัก โดยบวกลบไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเพิ่มความร้อนให้แก่ระบบ ปัญหาที่สำคัญของระบบไร้ออกซิเจนประการหนึ่งก็คือเรื่องกลิ่นที่รุนแรงกว่าระบบแบบเติมอากาศ ซึ่งเรื่องนี้แม้ว่า มาตรฐานทางด้านอากาศและน้ำจะไม่ได้ระบุเป็นตัวเลขที่แน่นอนชัดเจน แต่ถ้ามีการจัดการให้ระบบไร้ออกซิเจนอยู่ในถังปิดเช่นเดียวกับการทดลองแล้ว ปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนก็จะไม่เกิดขึ้น และน้ำที่ออกจากระบบก็จะไม่มีกลิ่นที่รุนแรง

เมื่อดูประสิทธิภาพของการกำจัดขยะสด และการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบสองขั้นตอนแล้วพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ ในการทดลอง การกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่กำจัดในถังหมักก๊าซ โดยเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การกำจัดแล้ว พบว่า การกำจัดซีโอดีทั้งหมดในถังตกตะกอนมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นการกำจัดเนื่องจากการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอย แต่เมื่อดูการกำจัดค่าซีโอดีละลายแล้ว กลับพบว่ามีค่าการกำจัดต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามีการลดลงของซีโอดีละลายในถังตกตะกอนน้อย และมีความแตกต่างของค่าซีโอดีละลายในถังหมักกรดและถังตกตะกอนน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณารวมกับค่าซีโอดีละลายในถังหมักกรดและถังตกตะกอนที่มี

ค่าสูงกว่าในถังสารอาหารแล้ว แสดงให้เห็นเช่นเดียวกับทฤษฎีที่ว่า ในขั้นตอนการผลิตกรดระเหยง่ายจะยังไม่ทำให้สารอินทรีย์คงตัว แต่จะทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็งเปลี่ยนรูปไปเป็นสารละลาย

จากการทดลอง ระบบสามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดในถังหมักก๊าซได้ประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปและสามารถกำจัดซีโอดีละลายได้สูงกว่าเล็กน้อยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ การกำจัดซีโอดีจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 19.7 วัน เช่นเดียวกับการทดลองของ สมชาย (2530) พบว่าการกำจัดซีโอดีที่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เกิดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน หรือนานกว่านั้น แต่จากผลการทดลองของ ศักดิ์ชัย (2527) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 25 วัน การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะสดแบบถังเดี่ยวสามารถลดค่าซีโอดีได้สูงสุดเพียง 69 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตก๊าซมีเทนแล้ว จากการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วัน จะมีการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยที่ สมชาย (2530) แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการเกิดก๊าซจะเป็นแบบระมัดระวังและมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 6-10 วัน ที่ทำให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุด

เมื่อเทียบอัตราการผลิตก๊าซกับปริมาตรของถังหมักก๊าซแล้วพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วัน มีค่า 0.19 ปริมาตรต่อปริมาตรของถังต่อวัน สำหรับก๊าซทั้งหมดและ 0.12 ปริมาตรต่อปริมาตรของถังต่อวัน สำหรับก๊าซมีเทน และจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ สมชาย (2530) แล้ว พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาตรของถังหมักก็จะลดลงเช่นกัน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักประมาณ 10 วัน ขนาดของถังหมักที่เพิ่มจาก 50 เป็น 177 ลิตร ทำให้มีค่าสูงกว่า (0.11 ปริมาตรต่อปริมาตรของถังต่อวัน) และนอกจากนี้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาตรของถังหมักจะสูงเกือบ 2 เท่าของเดิม (0.07 ปริมาตรต่อปริมาตรของถังต่อวัน) แต่สำหรับระบบถังเดี่ยวแล้ว (ศักดิ์ชัย, 2527) การเปลี่ยนแปลงกลับไม่ลดลงตามการเพิ่มของระยะเวลาเก็บกัก แต่จะสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน

นอกจากนี้เมื่อเทียบอัตราการผลิตก๊าซกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบแล้ว พบว่ามีความแตกต่างกันในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ คือค่าซีโอดีทั้งหมดจะสูงกว่า ปริมาณของ

แข็งระเหย ทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณสารอินทรีย์ทั้งสองมีค่าแตกต่างกัน แต่ค่าสูงสุดวัดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วันเช่นกัน โดยอัตราการผลิตก๊าซต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 0.28 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม สำหรับก๊าซชีวภาพ และมีค่าเท่ากับ 0.17 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม สำหรับก๊าซมีเทน ส่วนอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณของแข็งระเหยจะมีค่าสูงกว่าคือ มีค่าเท่ากับ 0.81 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เติม สำหรับก๊าซชีวภาพ และมีค่า 0.50 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เติม สำหรับก๊าซมีเทน ซึ่งเมื่อเทียบกับขนาดของถังหมักที่เล็กกว่า (สมชาย, 2530) พบว่า จะมีค่าสูงกว่า และเมื่อเทียบกับระบบถังเดี่ยวพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน ระบบสองขั้นตอนจะมีค่าอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณของแข็งระเหยสูงกว่าถังเดี่ยว

ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่า ปริมาณของก๊าซจะพบมากที่สุด 61.62-63.39 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนจะแปรผันตาม ซึ่งตรงข้ามกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซ 24-26.7 เปอร์เซ็นต์ และแปรผกผันกลับกับระยะเวลาเก็บกัก จากการทดลองของสมชาย (2530) ก็สามารถยืนยันได้ว่า ในการย่อยสลายขยะสดจะให้ปริมาณของก๊าซมีเทน 60-70 เปอร์เซ็นต์ แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมีค่าที่ต่ำกว่าการทดลองนี้ คือ 16-17 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของกรดระเหยที่เข้าระบบต่ำและมีปริมาณของสภาพด่างต่ำกว่าการทดลองนี้ นอกจากนี้การหมักด้วยระบบถังเดี่ยว (ศักดิ์ชัย, 2527) พบว่าเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนจะแปรผันตามระยะเวลาเก็บกัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 51-62 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ในระบบสองขั้นตอนแล้ว ที่ระยะเวลาเก็บกักต่ำให้คุณภาพของก๊าซชีวภาพดีกว่าระบบถังเดี่ยว

นอกจากการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนที่มีความสำคัญแล้ว ปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมการทำงานของระบบ ก็ได้ส่งเสริมให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างดี และแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างระบบถังเดี่ยวและระบบสองขั้นตอน โดยเฉพาะพีเอชที่แตกต่างกันในถังหมักกรดและถังหมักก๊าซ ซึ่งในถังหมักกรดพีเอชสามารถลดลงได้ถึง 4.63-5.18 เนื่องจากไม่จำเป็นต้องควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง6.5-7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซมีเทน (McCarty, 1964 part I) Gosh et al. (1975) ก็ปล่อยให้พีเอชในถังหมักกรดลดลงเหลือ 5.66-

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซของการย่อยสลายขยะสดแบบต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ระบบขั้น ตอนเดียว (ก)			ระบบสอง ขั้นตอน(ข)				การทดลองนี้		
ลักษณะของขยะสด	ผักสดและ ผลไม้			ผักสดและ แกนสับปะรด				ผักสด ผลไม้และ ดอกไม้		
ระยะเวลาเก็บกัก(วัน)	10	15	25	2.6	4.3	10.5	15	10.2	15.1	19.7
ซีโอดี(มก./ล)	49,297	31,286	20,280			≈ 5,000		5,639	6,530	6,087
การกำจัดซีโอดีทั้งหมด(%	21.16	50.28	68.67	76.78	59.63	88.23	94.38	84.27	82.49	89.32
อัตราการผลิตก๊าซ(ล./วัน)	58.60	87.93	63.24	10.31	9.11	4.86	1.98	33.60	13.40	17.40
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ล./วัน)	30.20	51.27	39.48	6.53	6.46	3.35	1.20	20.70	8.40	11.00
lCH4/gmCODadded	0.10	0.25	0.32	0.10	0.15	0.17	0.10	0.17	0.07	0.11
lCH4/gmVSadded	0.13	0.33	0.42	0.17	0.29	0.25	0.17	0.50	0.17	0.27
%CH4	51.50	58.00	62.28	60.64	61.91	65.99	58.98	61.62	62.28	63.39

หมายเหตุ (ก)ศักดิ์ชัย (2527)

(ข)สมชาย (2530)

lCH_4 vol./Total COD added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีทั้งหมด

lCH_4 vol./VS added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อของแข็งระเหย

5.86 เช่นกัน แต่ในถังหมักก๊าซค่าพีเอชจะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลาง 6.61-6.95 เพื่อให้ระบบใช้กรดระเหยในการผลิตก๊าซชีวภาพ แม้ว่าจากการทดลองของ สมชาย (2530) ที่พีเอช 5.6 จะเกิดก๊าซขึ้นภายในถังหมักกรด แต่ก็มีผลให้กรดระเหยง่ายที่จะป้อนเข้าสู่ถังหมักก๊าซลดลง

ในการควบคุมพีเอชของระบบ การเติมด่างไบคาร์บอเนตลงไปก็เพื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ ซึ่งจากการทดลองก็แสดงให้เห็นว่า สภาพด่างทั้งหมดในถังหมักก๊าซจะสูงกว่าถังอื่น ๆ แต่เมื่อระยะเวลาเก็บกักเร็วขึ้น สภาพด่างภายในถังกลับลดลง ทั้งนี้เพราะมีปริมาณกรดระเหยง่าย

ที่เติมเข้าถังหมักเพิ่มขึ้น อิออนไฮโดรเจน (H^+) จะไปทำลายสภาพด่างไบคาร์บอเนต ทำให้ด่างเกิดการแตกตัวได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$NH_4^+ + HCO_3^- + H_2O + R\text{-}COOH \longrightarrow NH_4^+ + R\text{-}COO^- + CO_2 + 2H_2O$$

ซึ่งเมื่อดูเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักเร็วขึ้น เปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงขึ้น จึงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสมการ

นอกจากการเติมสารเพื่อควบคุมให้พีเอชอยู่ในช่วงที่ต้องการแล้ว แบคทีเรียในระบบก็จะช่วยจัดการในการปรับสภาพแวดล้อมในระบบให้เหมาะสมกับตัวเอง โดยการใช้กรดระเหยง่ายที่ถูกป้อนจากนอกระบบ ในที่นี้หมายถึงจากถังตกตะกอน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ปริมาณของกรดระเหยง่ายมีค่าสูงสุดในถังหมักกรดหรือถังตกตะกอน แต่จะมีค่าต่ำสุดในถังหมักก๊าซ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานขึ้นแล้ว แบคทีเรียก็จะมีเวลาเพิ่มมากขึ้นในการที่จะจัดการกับกรดระเหยง่าย ทำให้มีการใช้กรดระเหยง่ายมากขึ้น มีผลให้ปริมาณด่างที่จะไปปรับสภาพลดลง สภาพความเป็นด่างจึงมีค่าสูงขึ้นด้วย

แอมโมเนียไนโตรเจนก็เป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบบัฟเฟอร์เช่นกัน เนื่องจากสภาพด่างจะอยู่ในรูปของ NH_4HCO_3 และจากการทดลองเมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงของออร์กานิกไนโตรเจนแล้ว พบว่า มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาถึงผลของระยะเวลาเก็บกักต่อสภาพด่าง ปริมาณกรดระเหยง่าย และแอมโมเนียไนโตรเจนแล้ว พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการศึกษาของ Hindin และ Dunstan (1960) คือ ที่ระยะเวลาเก็บกักไม่เกิน 30 วัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกัก สภาพด่างทั้งหมดจะเพิ่ม แอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่ม ปริมาณกรดระเหยมีค่าลดลง และพีเอชก็จะเพิ่มด้วย ซึ่งแตกต่างจากในการทดลองที่พีเอชไม่ได้แปรผันตามระยะเวลาเก็บกัก

ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยเป็นพารามิเตอร์หนึ่ง ที่ระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีการตรวจวัด จากการทดลองพบว่ามีค่าของแข็งทั้งหมดไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยังเกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ แต่การทดลองสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า

80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับระบบถังเดี่ยว (ศักดิ์ชัย, 2527) ที่มีการกำจัดของแข็งทั้งหมดไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์

ในการทดลองได้มีการศึกษาเชื้อแบคทีเรียในระบบอย่างคร่าว ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียในถังหมักกรดและในถังหมักก๊าซ โดยแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มย้อมติดสีแกรมลบ โดยในถังหมักกรดมีรูปร่างเป็นแบบแท่ง (rod) และแบคทีเรียในถังหมักก๊าซมีรูปร่างเป็นแบบทรงกลม (cocci) แต่จากผลการศึกษาของ มรกต ตันติเจริญ และคณะ (2533) ในถังปฏิกริยาแบบตรึงเซลล์ พบว่าจุลินทรีย์ที่พบในฟิล์มชีวมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันถึง 9 แบบคือ เซลล์ที่มีลักษณะเป็นท่อนปลายตัดตรง พวก Methanothrix เซลล์เป็นท่อนผอมยาว เซลล์กลมจับกัน 4-8 เซลล์ คล้ายลูกเต๋าเป็นพวก Methanosarcina เซลล์เป็นท่อนอ้วนสั้น เซลล์กลมเล็กเป็นเซลล์เดี่ยว คู่หรือเรียงต่อกันเป็นสายยาว เซลล์เป็นท่อนเกลียว เซลล์เป็นแท่งใหญ่ใหญ่โค้งตรงกลางและปลายมน เซลล์กลมผิวขรุขระ และเซลล์เป็นท่อนสั้น