

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 ข้อมูลการเดินระบบ

การศึกษาเรื่องสมรรถนะการหมักมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดต่างกัน โดยตะกอนหัวเชื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบในการศึกษาครั้งนี้เป็นตะกอนจากถังหมักตะกอนแบบไร้ออกซิเจนของโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ความเข้มข้นของของแข็งระเหยเริ่มต้นประมาณ 5,000 มก.VS/ล. หลังจากเติมตะกอนหัวเชื้อตั้งต้นแล้วจึงทำการป้อนมูลฝอยที่เตรียมไว้แล้วเข้าสู่ระบบประมาณวันละ 2 กก. เพื่อให้จุลินทรีย์ได้ปรับตัวให้คุ้นเคยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่าหลังจากนั้นสองสัปดาห์ระบบเริ่มสามารถผลิตก๊าซได้บ้างจึงเข้าสู่การทดลองหลังจากเติมเชื้อตั้งต้นสองสัปดาห์ โดยใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรดที่ 5 15 และ 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ตามลำดับ แต่ละการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อลักษณะสมบัติของมูลฝอยภายในถังปฏิกิริยาทั้งสองและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยใช้ระยะเวลาศึกษาในการทดลองที่ 1 ระหว่างวันที่ 1-121 การทดลองที่ 2 ระหว่างวันที่ 122-206 และการทดลองที่ 3 ระหว่างวันที่ 207-265

4.1.2 ในระหว่างการศึกษามีข้อมูลเดินระบบดังนี้

ก. การทดลองที่ 1 เป็นช่วงเริ่มต้นระบบโดยใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 5 กก.VS/(ม.³-วัน) ในถังสร้างกรดและ 5 กก.VS/(ม.³-วัน) ในถังสร้างก๊าซมีเทนใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 121 วัน โดยสามารถเก็บข้อมูลที่สภาวะคงตัวในวันที่ 82-121 ซึ่งการทดลองในช่วงแรกเกิดปัญหา คือ ระบบท่อต่าง ๆ อุดตัน เนื่องจากมูลฝอยมีลักษณะเป็นเส้นใยพันกันทำให้มีขนาดใหญ่ อุดตันตามข้อต่อ ข้อของระบบรวมทั้งเกิดการรั่วซึมของน้ำบริเวณเพลาขับเคลื่อนใบพัดของถังปฏิกิริยาทั้งสองถังจึงทำการหยุดการทดลองชั่วคราวเพื่อซ่อมแซม ในช่วงแรกของการทดลองถังสร้างก๊าซยังไม่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนยังไม่สามารถปรับตัวในการย่อยสลายสารอินทรีย์จากมูลฝอยได้และเกิดการสะสมของกรดระเหยจากถังสร้างกรดทำให้ค่าพีเอชของถังสร้างก๊าซมีเทนต่ำคืออยู่ในช่วง 4.53-4.98 ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนทำงานได้ดีในช่วงค่าพีเอช 6.5-7.5 สำหรับการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Bryant, 1984) ทำการแก้ไขโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (Na_2HCO_3) ในถังสร้างก๊าซมีเทนเพื่อทำการปรับค่าพีเอช

ในวันที่ 20 23 28 และ 45 ของวันที่ทำการทดลองที่ 1 โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตคือ 0.2 1.4 0.5 0.3 และ 0.5 กก. ตามลำดับ

ข. การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพิ่มอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ถึงถึงสร้างกรดขึ้นจากการทดลองที่ 1 เป็น 15 กก.VS/ (ม.³-วัน) และ 5 กก.VS/ (ม.³-วัน) ในถังสร้างก๊าซมีเทนสามารถเก็บข้อมูลที่สภาวะคงตัวได้ในระหว่างวันที่ 55-85 ของการทดลองที่ 2 การทดลองนี้เกิดปัญหาการอุดตันภายในท่อจากถังสร้างกรดมายังถังสร้างก๊าซมีเทน และเกิดการรั่วบริเวณเพลาขับเคลื่อนใบพัดของถังสร้างกรดทำให้ต้องมีการหยุดการทดลองชั่วคราวในระหว่างการทดลองเพื่อทำการแก้ไข

ค. การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาที่อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ถึงถึงสร้างกรดสูงสุดตลอดการทดลองเท่ากับ 25 กก.VS/ (ม.³-วัน) และ 5 กก.VS/ (ม.³-วัน) ในถังสร้างก๊าซมีเทน โดยสามารถเก็บข้อมูลช่วงสภาวะคงตัวในระหว่างวันที่ 35-62 ของการทดลองที่ 3 สำหรับในการทดลองสุดท้ายนี้มีเพียงปัญหาการอุดตันบางช่วงของการทดลองเท่านั้น

ผลการทดลองของการทดลองทั้งสามชุดซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว ได้แสดงในตาราง 4.1 เพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบและได้อธิบายถึงรายละเอียดของแต่ละลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในหัวข้อ 4.2 ต่อไป

ตาราง 4.1 ผลการทดลองที่สภาวะคงตัวของการทดลองทั้งหมด

ลักษณะสมบัติ	อัตราการบรรทุกลำอินทรีย์ของถังสร้างกรด (กก. VS/(ม. ³ ·วัน))														
	5 (การทดลองที่ 1)					15 (การทดลองที่ 2)					25 (การทดลองที่ 3)				
	Influent	Acid Tank	Methane Tank	Sand Drying Bed	Influent	Acid Tank	Methane Tank	Sand Drying Bed	Influent	Acid Tank	Methane Tank	Sand Drying Bed	Influent	Acid Tank	Methane Tank
อุณหภูมิ (°ซ)	21.7	26.6	26.5	25.5	18.1	24.0	24.6	23.2	17.1	24.4	24.7	22.1			
พีเอช	6.61	5.43	7.18	8.19	6.65	5.83	7.32	8.07	6.80	6.19	7.43	8.02			
กรดระเหยง่าย (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	2,060	7,150	1,210	135	3,240	8,520	1,600	146	2,380	7,570	1,600	90			
สภาพทางทั้งหมด (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	3,084	4,528	6,765	4,819	3,491	5,510	6,717	5,219	3,888	6,100	7,731	5,365			
ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)		56.5	74.9			51.9	116			64.0	120.6				
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)		10.8	14.3			9.9	22.2			12.3	23.1				
ปริมาณก๊าซมีเทน (ล./วัน)		12.2	55.8			8.1	82.7			12.9	87				
อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)		2.34	10.69			1.55	15.84			2.47	16.67				
องค์ประกอบก๊าซมีเทน (ร้อยละ)		21.6	74.6			15.7	71.3			20.2	72.2				
ค่าของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	40,231	32,585	33,223	8,221	43,593	40,480	37,073	8,853	45,546	42,100	34,400	9,707			
ค่าของแข็งระเหย (มก./ล.)	30,431	23,785	22,469	1,554	32,400	30,073	27,253	1,068	34,738	31,477	23,992	1,310			
เจลาในโครเจน (มก./ล.)	768	934	1,038	138	1,001	1,060	1,012	258	1,140	1,287	1,413	53			
แอมโมเนียในโครเจน (มก./ล.)	142	287	333	78.1	203	406	525	214	409	548	732	355			
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	4,005	4,390	6,000	5.9	3,933	3,500	8,100	6.2	3,433	3,333	6,700	5.0			

4.2 ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.2.1 สภาวะคงตัวของระบบ

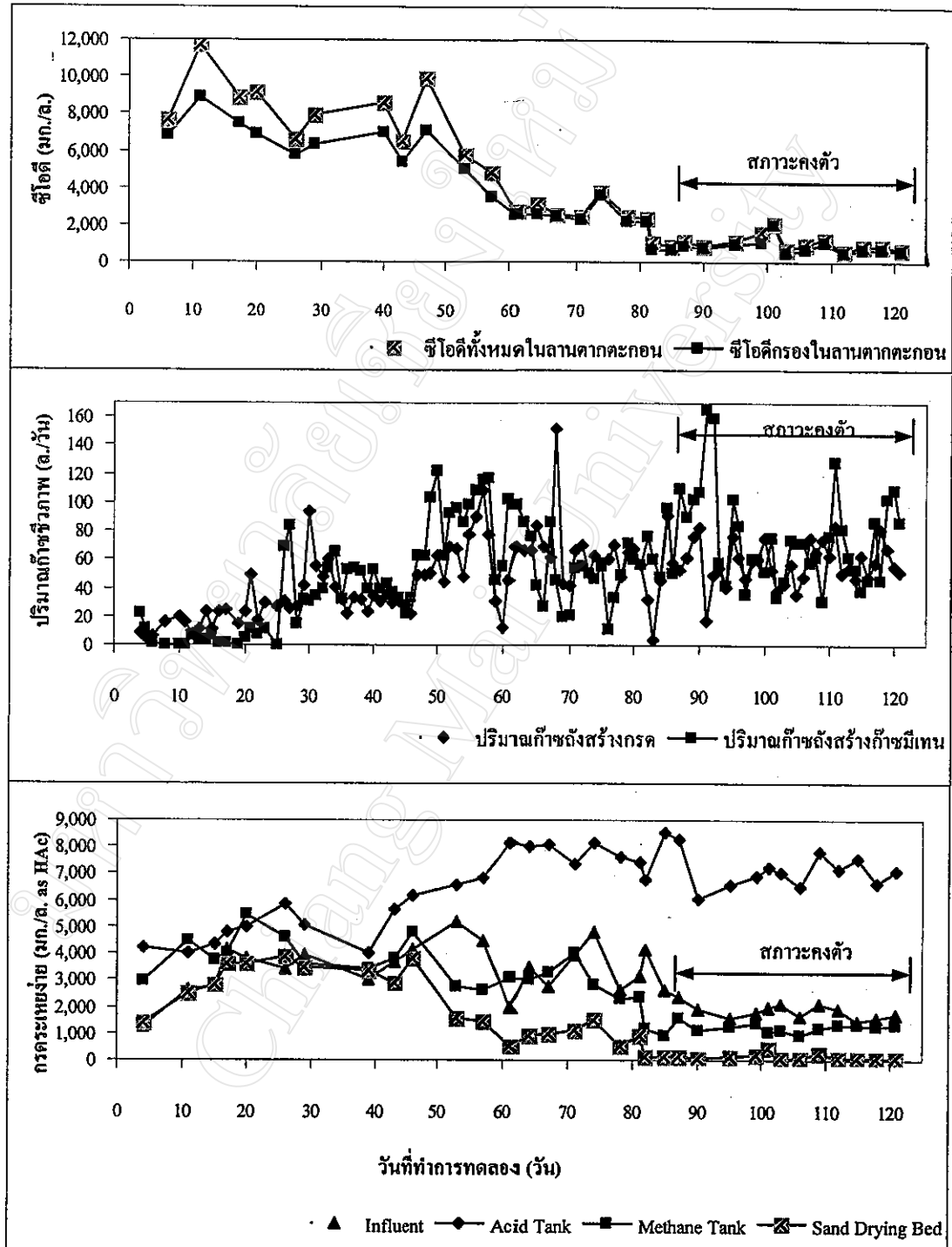
จุลินทรีย์ที่ทำงานในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนที่ใช้ถังปฏิกรณ์แบบ กวนสมบูรณ์ โดยมีจุดมุ่งหมายส่วนใหญ่อยู่ที่การสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์หรือจุลินทรีย์ ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์ย่อมแตกต่างกันออกไปตามความสามารถในการปรับตัวของปฏิบัติการเคมีซึ่งมีไม่เท่ากันคือ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมทางด้านกายภาพและเคมีเกิดขึ้นความสามารถในการปรับตัวของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนไป ดังนั้นถังปฏิกรณ์มักมี สเปสไทม์ (Space Time) เพื่อให้สารอินทรีย์ถูกทำลายกลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นผลปฏิกริยาของการหมัก จากการศึกษาที่มีการนำน้ำหมุนเวียนจากน้ำซึมออกจากลานตากตะกอนมาผสมกับมูลฝอยสดก่อน ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา รวมทั้งสารอินทรีย์ของมูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยามีลักษณะที่แตกต่างกัน ในแต่ละครั้งการป้อนทำให้ลักษณะของสารอินทรีย์แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องการเวลาสำหรับให้ จุลินทรีย์ได้ปรับตัวให้เข้ากับสารอินทรีย์

สภาวะคงตัวในการศึกษาครั้งนี้เป็นสภาวะคงตัวเสมือน (Pseudo-steady State) เนื่องจากไม่มีการควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ คือมูลฝอยในถังปฏิกริยาได้ถูกย่อยสลายจนถึง กระบวนการสร้างกรดในถังสร้างกรดและกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนในถังสร้างก๊าซมีเทนในช่วง ที่มีการผลิตกรดและผลิตก๊าซมีเทนคงที่ โดยดูจากค่าการกระเหยง่าย ปริมาณก๊าซชีวภาพในถังสร้าง กรดและถังสร้างก๊าซมีเทน และซีโอดีกรองของน้ำซึมจากลานตากตะกอน (รูปที่ 4.1) ซึ่งสรุปว่า ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในวันที่ 82 หลังจากเริ่มทำการทดลอง โดยมีค่า ± 20 เปอร์เซ็นต์

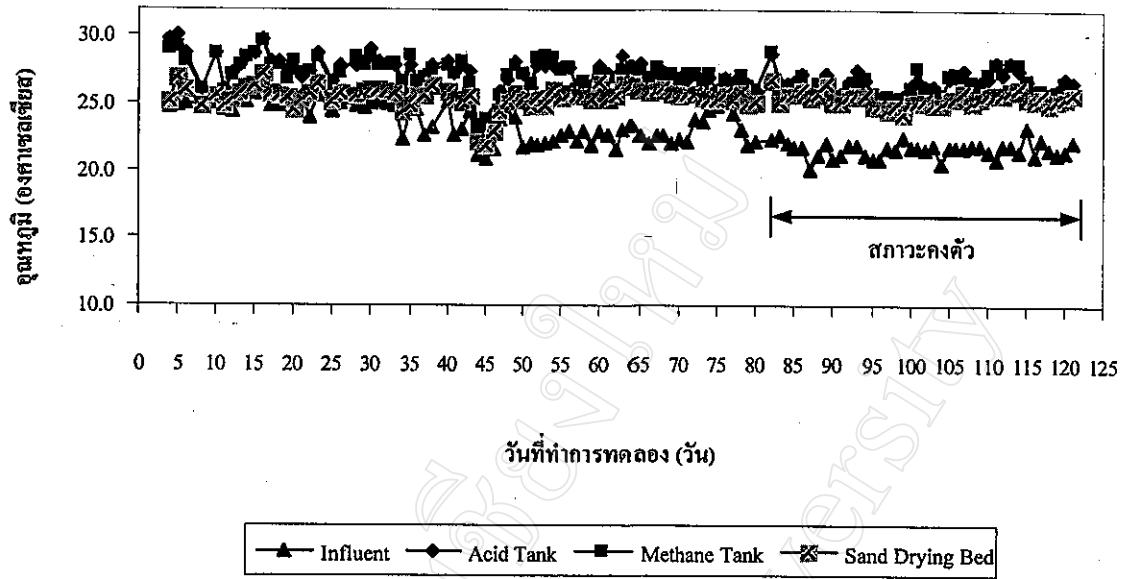
4.2.2 อุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของมูลฝอยที่ทำการป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรดของการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยคือ 21.7 18.1 และ 17.1 °ซ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศเพราะว่ามูลฝอยที่เตรียมได้เก็บรักษาสภาพไว้ในห้องเย็น 4 °ซ ก่อนที่จะนำมาป้อนเข้าสู่ระบบ (เพื่อยับยั้งไม่ให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ขณะเก็บรักษา) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในของถังสร้างกรดคือ 26.6 24.0 และ 24.4 °ซ ตามลำดับ โดยที่การทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าการทดลองที่ 1 เนื่องมาจากสภาพอากาศระหว่างการทดลองที่ 2 และ 3 อยู่ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวจึงทำให้ อุณหภูมิค่อนข้างต่ำกว่าการทดลองที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสร้างก๊าซมีเทนคือ 25.5 24.6 และ 24.7 °ซ ตามลำดับ อุณหภูมิของการย่อยสลายอยู่ในช่วงมีโซฟิลลิกคือ 25-40 °ซ (Polprasert, 1989) ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำซึมที่ผ่านมาจากลานตากตะกอนมีค่าเท่ากับ 25.5 23.2 และ 22.1 °ซ ตามลำดับ อุณหภูมิของแต่ละการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.2-4.4 โดยที่อุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับ สภาพบรรยากาศภายนอก จากการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยในถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิ

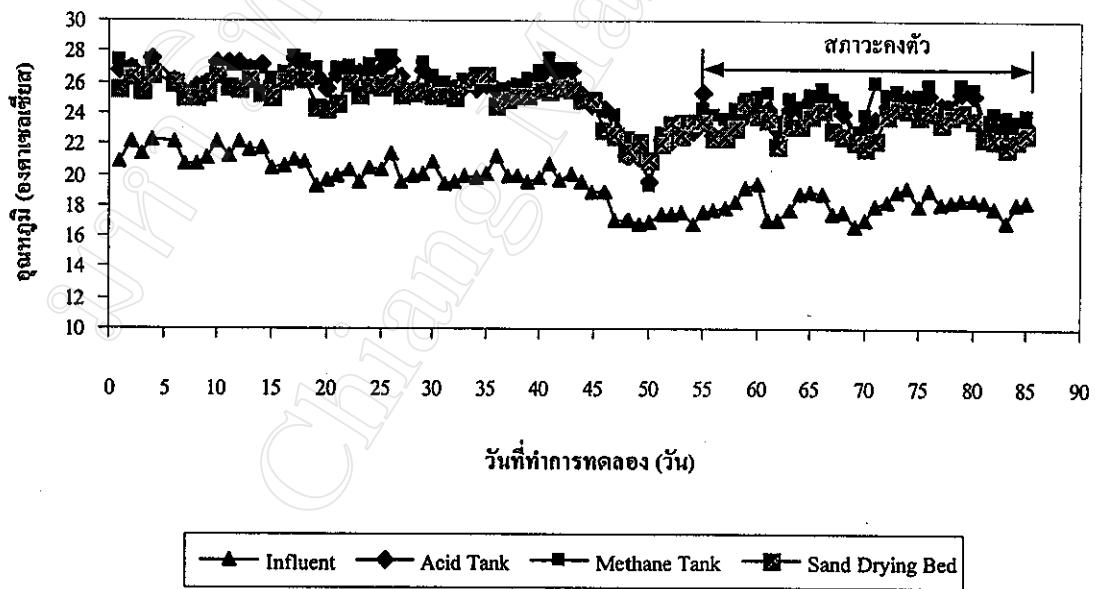
ช่วงมีโซฟิลิคเล็กน้อยแต่อย่างไรก็ตามแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้ทำงานได้นอกช่วงอุณหภูมิดังกล่าวได้



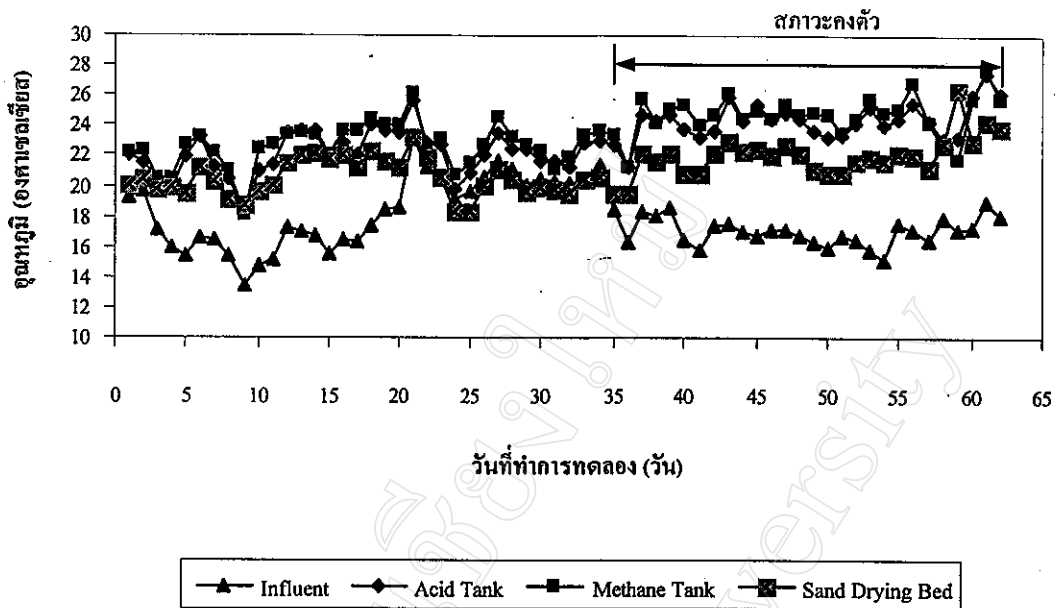
รูป 4.1 การแปรผันของค่าซีโอดี ก๊าซชีวภาพ และกรดระเหยง่าย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.2 อุณหภูมิการทดลองที่ 1 อัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)



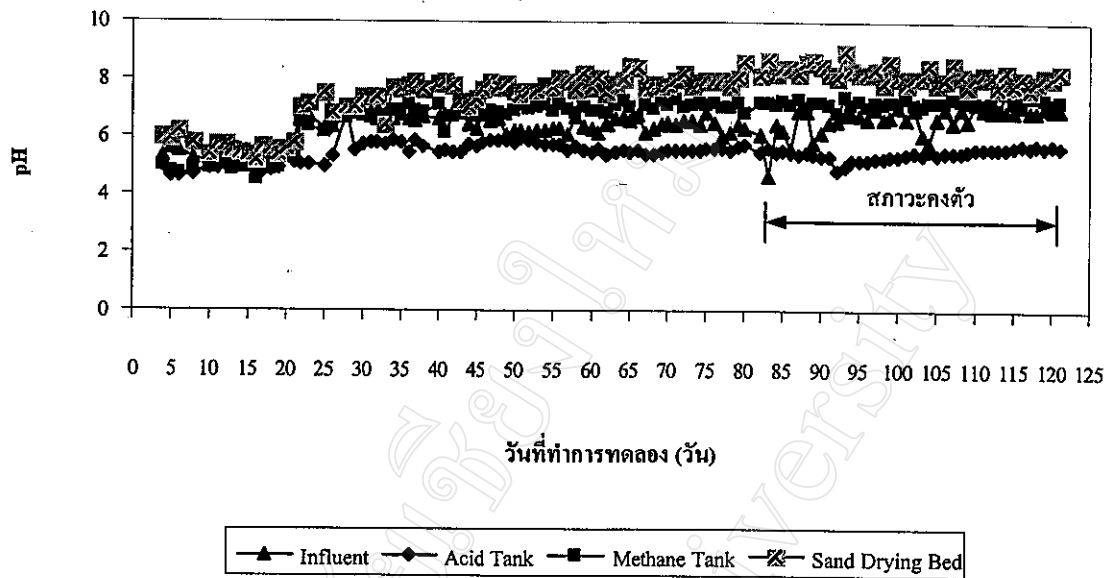
รูป 4.3 อุณหภูมิการทดลองที่ 2 อัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)



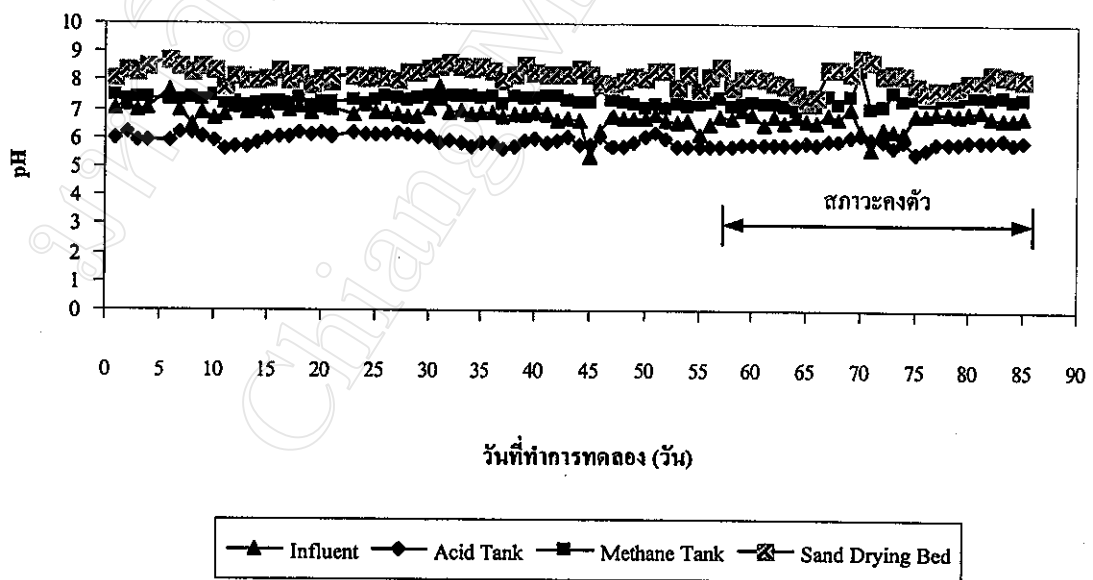
รูป 4.4 อุณหภูมิการทดลองที่ 3 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

4.2.3 พีเอชและสภาพค่างทั้งหมด

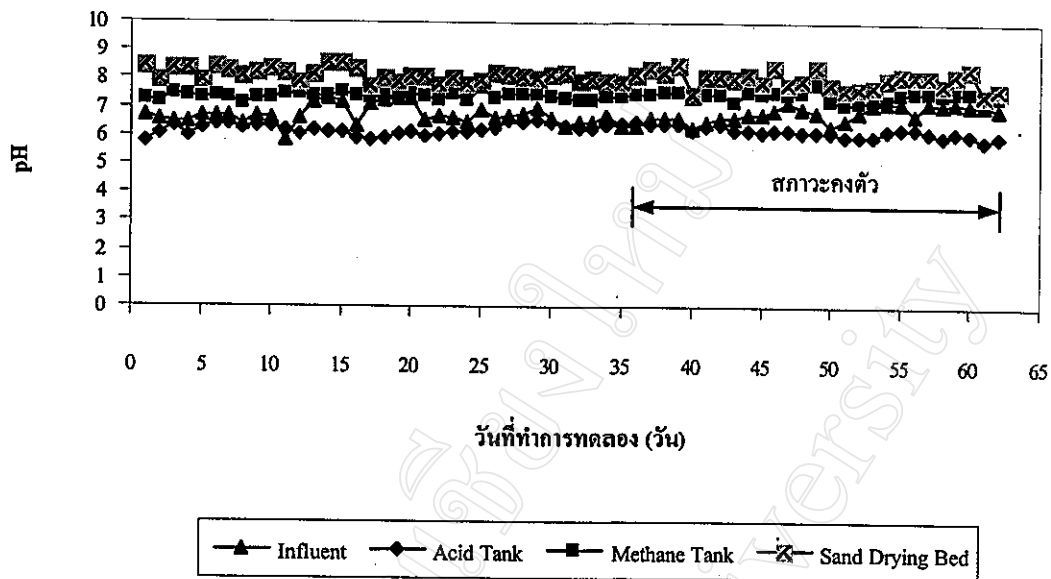
ค่าพีเอชของมูลฝอยเมื่อนำมาผสมกับน้ำซึมจากลานตากตะกอนตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.61 – 6.80 ซึ่งเมื่อผ่านเข้าสู่ถังสร้างกรดแล้วทำให้พีเอชมีค่าลดลงเนื่องจากการสร้างกรดของจุลินทรีย์จากการทดลองที่ 1 2 และ 3 พีเอชที่ออกจากถังสร้างกรดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.43 5.83 และ 6.19 ตามลำดับ ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียสร้างกรดอยู่ในช่วง 5.0 – 6.5 และค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 (Bryant, 1984) ส่วนค่าพีเอชที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทนจากการทดลองมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวคือ 7.18 7.32 และ 7.43 ตามลำดับ แต่ในการทดลองที่ 1 ค่าพีเอชในช่วงแรกของถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการสร้างก๊าซมีเทน มีผลทำให้มีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนต่ำมากและได้ทำการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในช่วงแรกเพื่อปรับพีเอช เนื่องจากสามารถเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับระบบได้โดยไม่ทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเปลี่ยนแปลง และค่าพีเอชของน้ำซึมจากลานตากตะกอนของทั้งสามการทดลองมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวใกล้เคียงกันคือ 8.19 8.07 และ 8.02 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสูงกว่าค่าพีเอชที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทนซึ่งอาจเนื่องมาจากการระเหยของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นกรองทราย รูปที่ 4.5 – 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของการทดลอง



รูป 4.5 พีเอชของการทดลองที่ 1 อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)

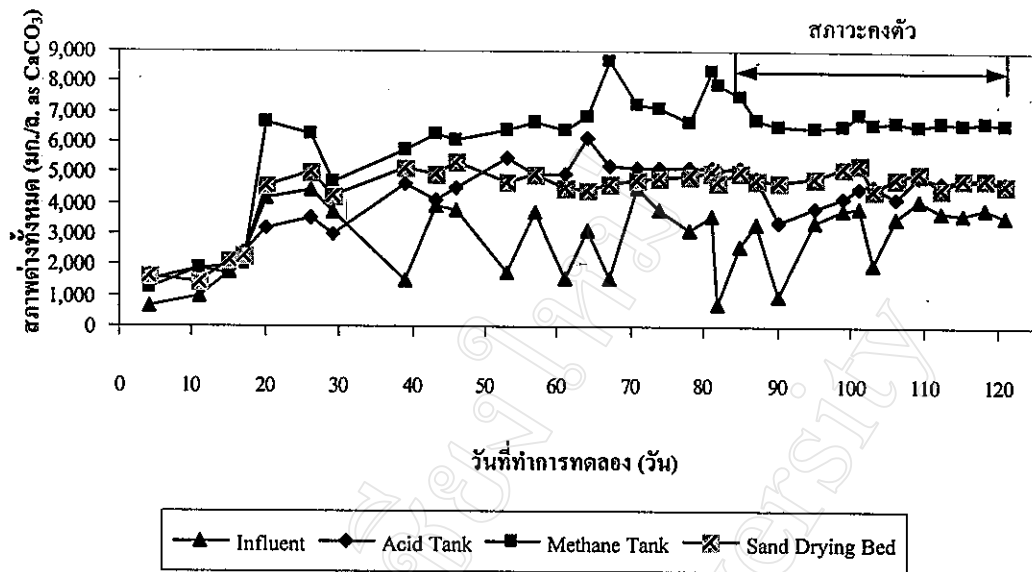


รูป 4.6 พีเอชของการทดลองที่ 2 อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)

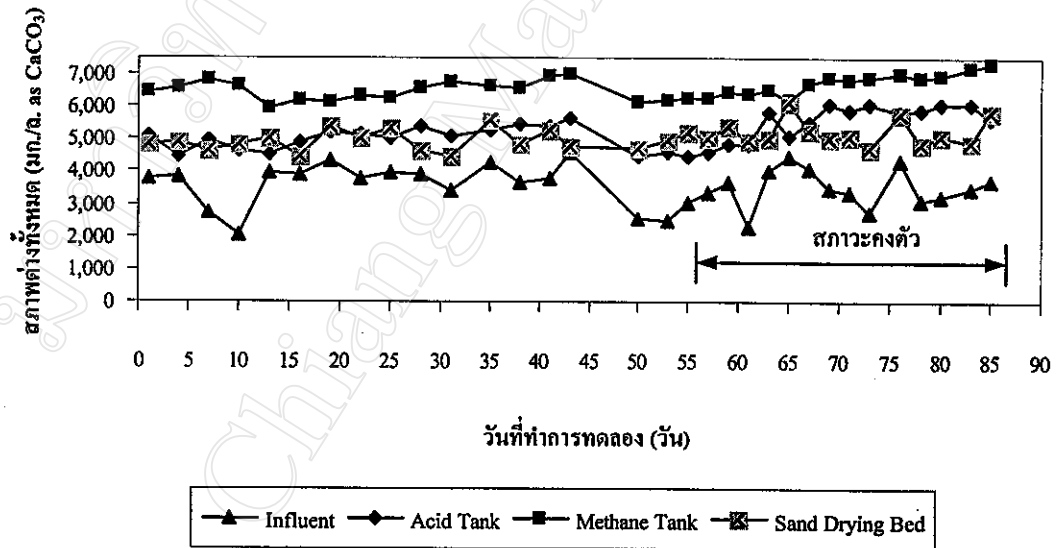


รูป 4.7 พีเอชของการทดลองที่ 3 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

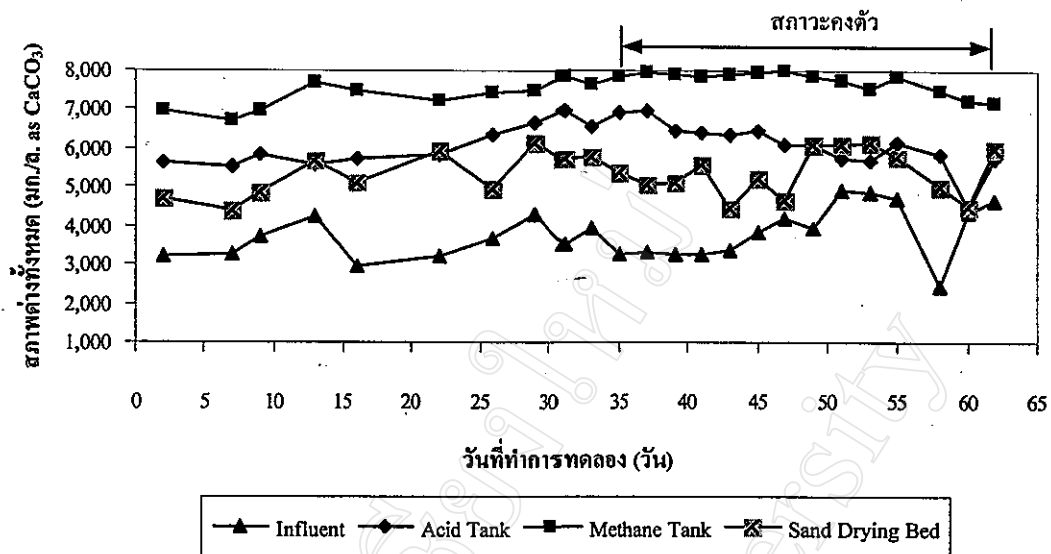
สภาพต่างทั้งหมดของมูลฝอยที่เข้าสู่ถังสร้างกรดเมื่อผสมน้ำจะมีค่าค่อนข้างแปรผันตลอดทั้ง 3 การทดลองคือมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 3,080 3,500 และ 3,890 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ สภาพต่างทั้งหมดของมูลฝอยที่ออกจากถังสร้างกรดมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวคือ 4,530 5,510 และ 6,100 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ส่วนสภาพต่างทั้งหมดที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันทั้ง 3 การทดลองที่สภาวะคงตัวคือ 6,770 6,720 และ 7,730 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 และแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.8-4.10 โดยในช่วงแรกของการทดลองที่ 1 สภาพต่างทั้งหมดของระบบค่อนข้างต่ำมากซึ่งเป็นผลทำให้สภาพบำบัดของระบบไม่ดี โดยเฉพาะในถังสร้างก๊าซมีเทนทำให้มีพีเอชลดต่ำลงมีสภาพไม่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน ทำการแก้ไขโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเป็นการเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ จึงทำให้พีเอชมีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทนสามารถปรับตัวและทำงานได้ดีขึ้นโดยสังเกตได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเริ่มสูงขึ้นหลังจากปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ สำหรับสภาพต่างทั้งหมดของน้ำซึมจากลานตากตะกอนมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของทั้ง 3 การทดลองคือ 4,820 5,220 และ 5,370 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ



รูป 4.8 สภาพต่างทั้งหมดของการทดลองที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.9 สภาพต่างทั้งหมดของการทดลองที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.10 สภาพด่างทั้งหมดของการทดลองที่ 3 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

ตาราง 4.2 สภาพด่างทั้งหมดของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดต่าง ๆ

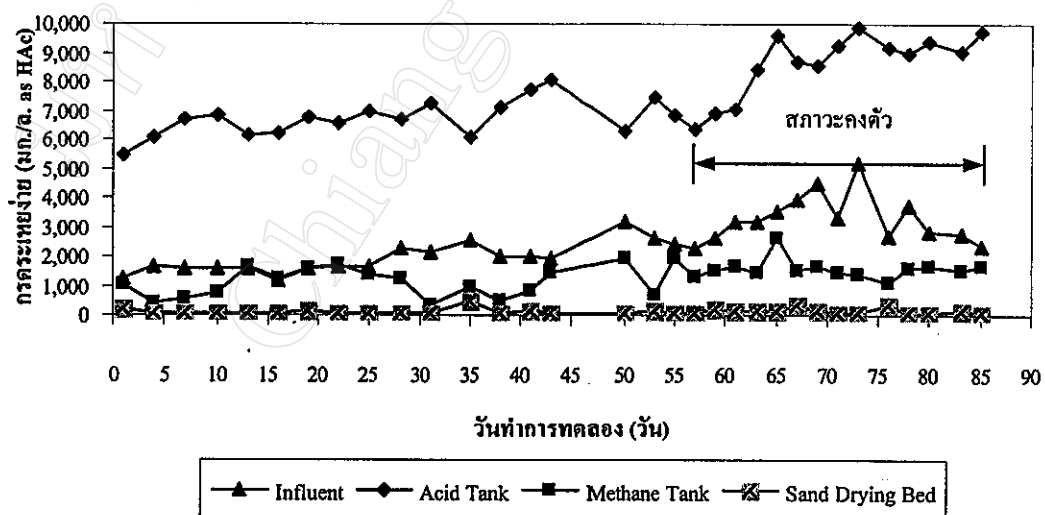
ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด กก.VS/(ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
สภาพด่างทั้งหมดของมูลฝอยเข้า (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	3,080	3,500	3,890
สภาพด่างทั้งหมดของถังสร้างกรด (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	4,530	5,510	6,100
สภาพด่างทั้งหมดของถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	6,770	6,720	7,730
สภาพด่างทั้งหมดในน้ำซึมจากลานตากตะกอน (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	4,820	5,220	5,370

4.2.4 กรดระเหยง่าย

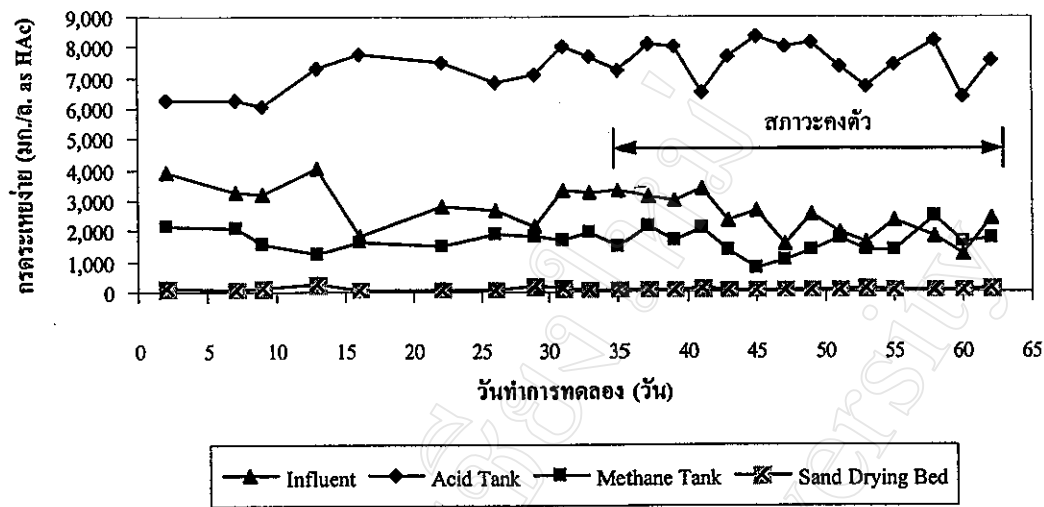
กรดระเหยง่ายของมูลฝอยที่เข้าและออกจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปดังรูปที่ 4.1 และ 4.11-4.12 และมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่ากรดระเหยง่ายของมูลฝอยที่เข้าสู่ถังสร้างกรดมีค่าแปรผันสูง ๆ ต่ำ ๆ อันเนื่องมาจากคุณลักษณะของมูลฝอยและน้ำที่นำมาผสมก่อนจะป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรดแตกต่างกันคือ บางวันน้ำซึมจากลานตากตะกอนที่นำมาผสมไม่เพียงพอจึงต้องนำน้ำประปามาผสมเพิ่มเติม กรดระเหยง่ายของมูลฝอยที่ออกจากถังสร้างกรดของการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยคือ 7,150 8,520 และ 7,570 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติกตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นของการทดลองที่ 2 ค่ากรดระเหยง่ายสูงกว่า

การทดลองที่ 1 และลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มเป็น 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ในการทดลองที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดขึ้น การทำงานของแบคทีเรียผลิตกรดจะเหวี่ยงเพิ่มมากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเป็น 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ปริมาณกรดจะเหวี่ยงในถังปฏิกิริยาไม่แตกต่างกับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.VS/(ม.³-วัน) มากนัก ส่วนค่ากรดจะเหวี่ยงที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทนที่สภาวะคงตัวของทั้ง 3 การทดลองมีค่าเฉลี่ยคือ 1,210 1,600 และ 1,600 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติกตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในการทดลองที่ 2 และ 3 ส่วนกรดจะเหวี่ยงของน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนเห็นได้ว่าในทุกการทดลองมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 90 – 146 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาในชั้นกรองทรายทำให้กรดจะเหวี่ยงลดต่ำลงจากค่ากรดจะเหวี่ยงที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทน

จากกรดจะเหวี่ยงและสภาพต่างทั้งหมดของระบบพบว่า อัตราส่วนของกรดจะเหวี่ยงต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity, BA) ของถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าดังตารางที่ 4.4 ทราบว่าอัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 กล่าวได้ว่าระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนจัดว่ามีสภาพบัฟเฟอร์สูง (Zickefoose และ hayes, 1976) ค่าที่เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณเตือนที่แสดงว่าบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลงและไม่พอเพียงต่อระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน ส่วนสภาพต่างทั้งหมดของน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 ของทั้ง 3 การทดลอง



รูป 4.11 กรดจะเหวี่ยงของการทดลองที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.12 กรดระเหยง่ายของการทดลองที่ 3 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

ตาราง 4.3 กรดระเหยง่ายของระบบที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติ	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด กก.VS/(ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
กรดระเหยง่ายของมูลฝอยเข้า (มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก)	2,060	3,240	2,380
กรดระเหยง่ายของถังสร้างกรด (มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก)	7,150	8,520	7,570
กรดระเหยง่ายของถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก)	1,210	1,600	1,600
กรดระเหยง่ายของน้ำซึมจากลานตากตะกอน (มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก)	135	146	90

4.2.5 สมรรถนะการสร้างกรด

ในช่วงแรกของการทดลองที่ 1 การสร้างกรดในถังสร้างกรดมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 4,050-5,870 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติกและค่าพีเอชของถังสร้างกรดมีค่าอยู่ในช่วง 4.60-4.98 จึงได้ทำการปรับพีเอชภายในถังสร้างกรดขึ้นเพื่อปรับพีเอชทำให้เกิดการสร้างกรดสูงสุด โดยให้พีเอชอยู่ในช่วง 5.0-6.2 ซึ่ง (Zeotemeyer, R.J. et al., 1982b) ได้รายงานไว้ว่ากระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุดในช่วงค่าพีเอชนี้ โดยการปรับพีเอชได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2.3 หลังจากวันที่ 20 ของการทดลองแรกพีเอชของระบบเริ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณกรดระเหยง่ายที่ผลิตได้ในถัง

สร้างกรดเริ่มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 40 ของการทดลอง สำหรับในการทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์อีกเนื่องมาจากระบบได้ปรับตัวทำให้ค่าพีเอชของทั้ง 2 ถังมีค่าอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ทั้งชนิดสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทนสามารถทำงานได้

ตาราง 4.4 อัตราส่วนระหว่างกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่าง ไฮคาร์บอนเนตของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ถังสร้างกรด กก.VS/(ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
TA ของถังสร้างกรด (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	4,530	5,510	6,100
TA ของถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	6,770	6,720	7,730
VFA ของถังสร้างกรด (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	7,150	8,520	7,570
VFA ของถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	1,210	1,600	1,600
BA ของถังสร้างกรด (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	ไม่มี	ไม่มี	725.3
BA ของถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	5,911	5,584	6,594
VFA/BA ของถังสร้างกรด	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้	10.4
VFA/BA ของถังสร้างก๊าซมีเทน	0.20	0.29	0.24

หมายเหตุ : BA = TA - (0.71 x VFA) (Albertson, 1960)

จากการคำนวณอัตราการสร้างกรดที่สภาวะคงตัวของทั้ง 3 การทดลอง จากปริมาณกรดระเหยง่ายที่วิเคราะห์จากห้องทดลองและจากการคำนวณจากปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 กล่าวคืออัตราการผลิตกรดระเหยง่ายในถังสร้างกรดมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 27.9 27.0 และ 28.7 ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับ สำหรับอัตราการผลิตกรดระเหยง่ายในถังสร้างก๊าซมีเทนที่สภาวะคงตัวมีค่าเท่ากับ 0 4.8 และ 39.6 ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับจากระบบรวมทั้งหมดอัตราการผลิตกรดระเหยง่ายของทั้ง 3 การทดลองมีค่าเท่ากับ 27.9 31.8 และ 39.6 ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับ รูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสร้างกรดของแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในถังสร้างกรดที่ต่างกัน พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการผลิตกรดระเหยง่ายของระบบรวมเพิ่มสูงขึ้นและแม้ว่าจะเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเป็น 25 กก.VS/(ม.³-วัน) จุลินทรีย์ที่ทำการผลิตกรดระเหยง่ายยังสามารถทำงานได้ เนื่องมาจากแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตกรดระเหยง่ายมีลักษณะเด่นคือ

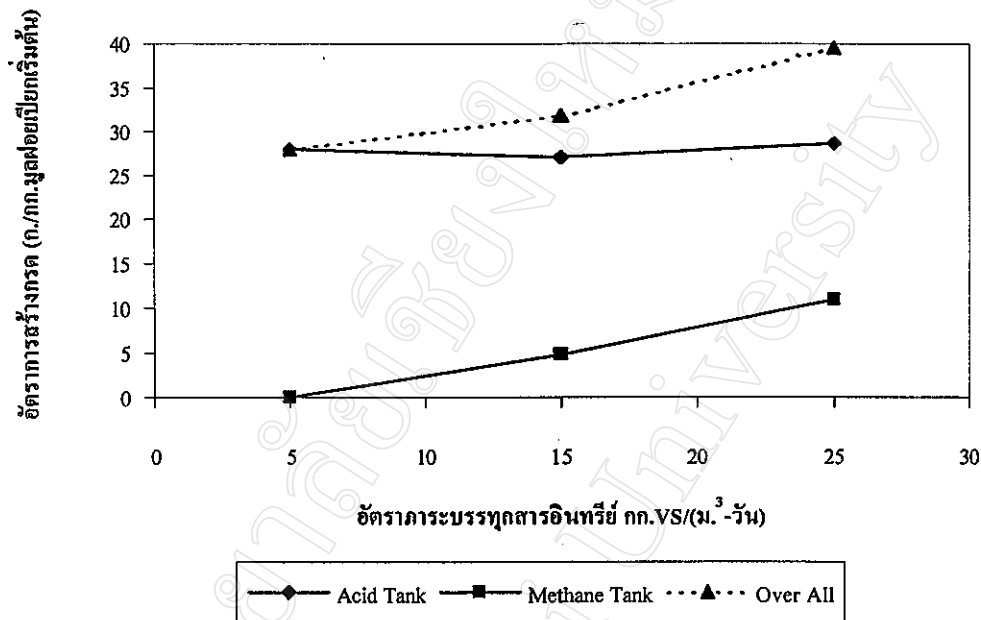
ตาราง 4.5 อัตราการผลิตกรดระเหยง่าย

	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ของถังสร้างกรด กก.VS/(ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
ถังสร้างกรด			
-COD _{CH₄} (มก./ล.)	1,270	845	1,341
-เทียบเป็น VFA (มก./ล.)	1,192	793	1,258
-VFA ที่เกิดในถังสร้างกรด (มก./ล.)	6,282	6,073	6,448
-อัตราการเกิด VFA (ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	27.9	27.0	28.7
ถังสร้างก๊าซมีเทน			
-COD _{CH₄} (มก./ล.)	5,783	8,542	8,982
-เทียบเป็น VFA (มก./ล.)	5,425	8,013	8,426
-VFA ที่เกิดในถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล.)	0(-514)	1,093	2,456
-อัตราการเกิด VFA (ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	0	4.8	10.9
อัตราการเกิด VFA ทั้งระบบ (ก./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	27.9	31.8	39.6

หมายเหตุ : การคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข

ความต้องการสารอาหารที่หลากหลายได้และทนต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีภายในระบบ ซึ่งต่างจากจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน (มันลิน, 2542) เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเป็น 15 กก.VS/(ม.³-วัน) อัตราการสร้างกรดโดยรวม เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเป็น 25 กก.VS/(ม.³-วัน) อัตราการผลิตกรดสูงขึ้นกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 15 กก.VS/(ม.³-วัน) แสดงว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ๆ การทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่ระบบยังสามารถทำงานได้โดยไม่เสียสมดุลย์ในถังสร้างก๊าซมีเทน เนื่องมาจากมูลฝอยได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างกรดต่อในถังสร้างก๊าซมีเทน สังเกตได้จากปริมาณก๊าซมีเทน และอัตราการสร้างกรดในถังสร้างก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในถังสร้างกรดสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงอัตราการสร้างกรดของถังสร้างกรด พบว่าในแต่ละการทดลองอัตราการสร้างกรดมีค่าไม่แตกต่างกันแม้ว่าจะเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นสมรรถนะการสร้างกรดของถังสร้างกรดไม่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นในถังสร้างกรด ซึ่งให้เห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน) การทำงานของจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ดังปฏิกิริยา ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์นี้ให้ค่าใช้จายน้อยกว่า แต่มีอัตราการสร้างกรดที่จุลินทรีย์สามารถทำงาน ได้อย่างดี



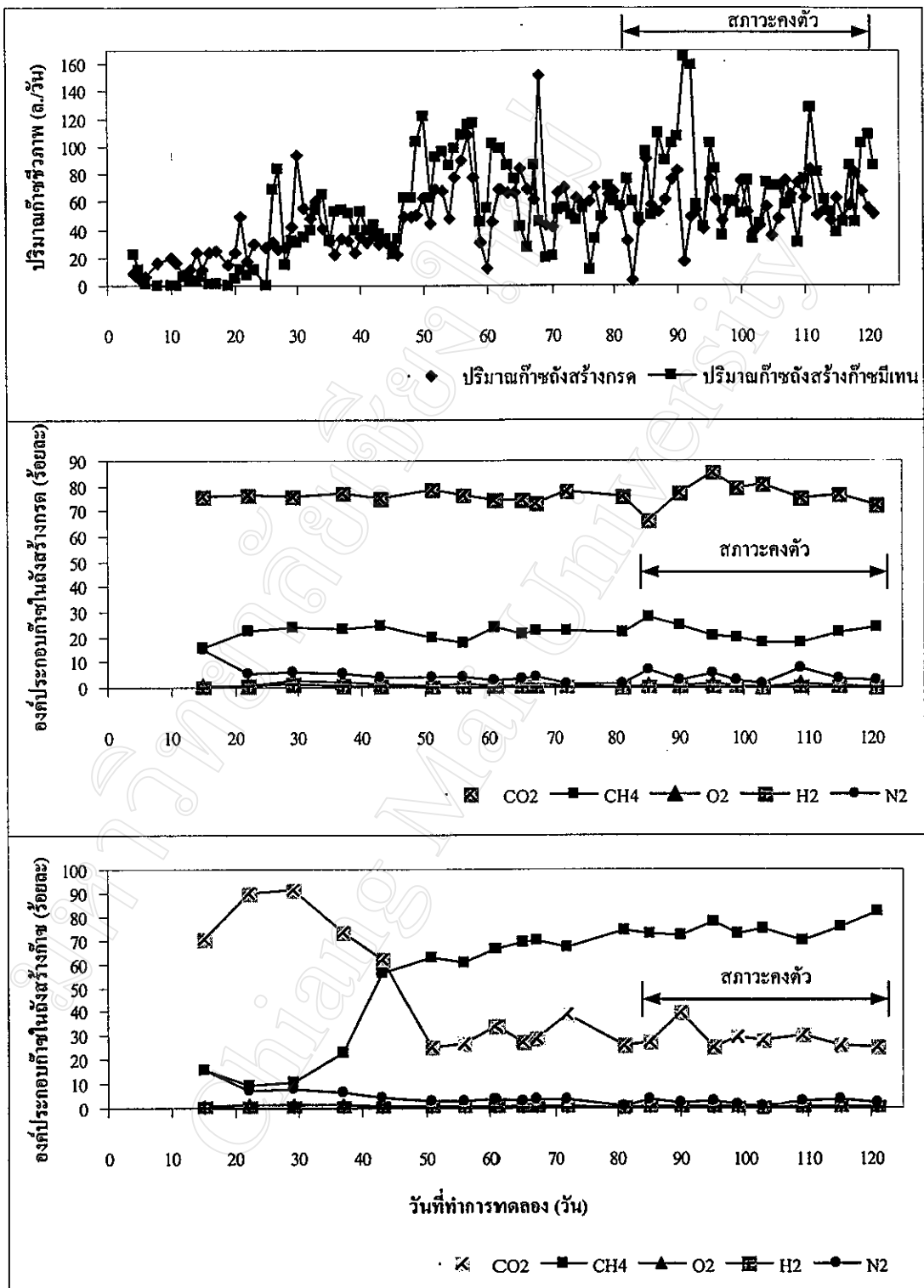
รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสร้างกรดและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดต่าง ๆ

4.2.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

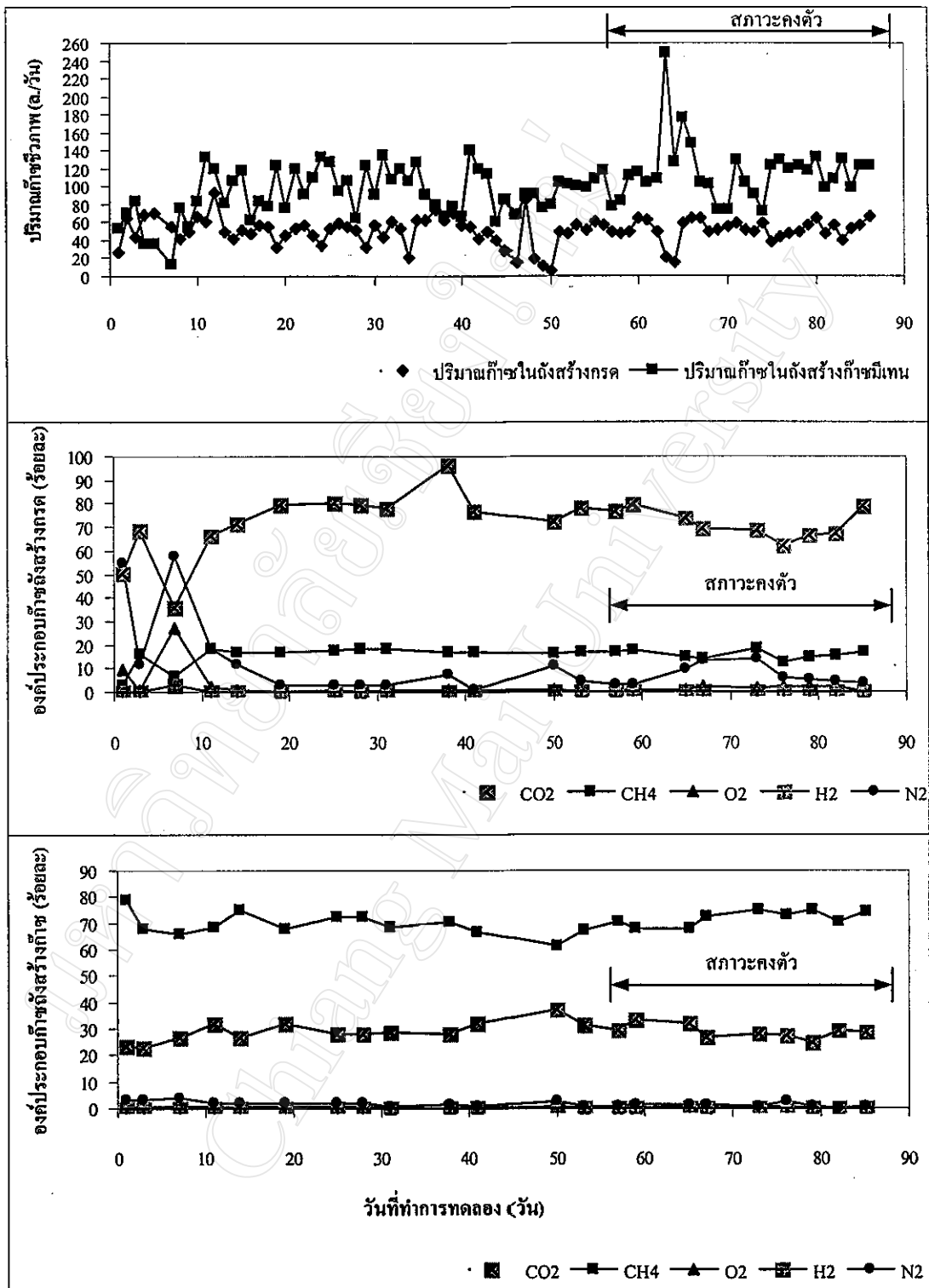
จากการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองในแต่ละวัน แสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งในการทดลองที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในช่วงวันแรก ๆ ของการทดลองไม่เกิดขึ้นเลยหรือเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากจุลินทรีย์ยังไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับมูลฝอยที่นำมาใช้ทดลองได้และพีเอชของสารภายในถังสร้างก๊าซมีเทนยังต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการสร้างก๊าซมีเทน เมื่อทำการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังสร้างก๊าซมีเทนแล้ว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 20 ของการทดลองที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในถังสร้างกรดของการทดลองที่ 1 2 และ 3 คือ 56.5 51.9 และ 64 ล./วัน ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในถังสร้างก๊าซมีเทนคือ 74.99 116 และ 120.6 ล./วัน ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.6

ในการทดลองมีบางช่วงที่ปริมาณก๊าซชีวภาพมีความแปรผันค่อนข้างสูง เนื่องมาจากบางช่วงของการทดลองเกิดการอุดตันของระบบท่อทำให้มีมูลฝอยสะสมอยู่มากภายในถังปฏิกริยาทำให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันสูง การทดลองที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังสร้างกรดมีค่าต่ำกว่าถังสร้างก๊าซมีเทนเล็กน้อย แต่ในการทดลองที่ 2 และ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของถังสร้างก๊าซมีเทนสูงกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของถังสร้างกรดมาก ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังสร้างก๊าซมีเทนของการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันและมีปริมาณมากกว่าการทดลองที่ 1 ค่อนข้างมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตรากระบวนการทรานส์เมทาไนเซชันของถังสร้างกรดขึ้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นตามด้วย ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16

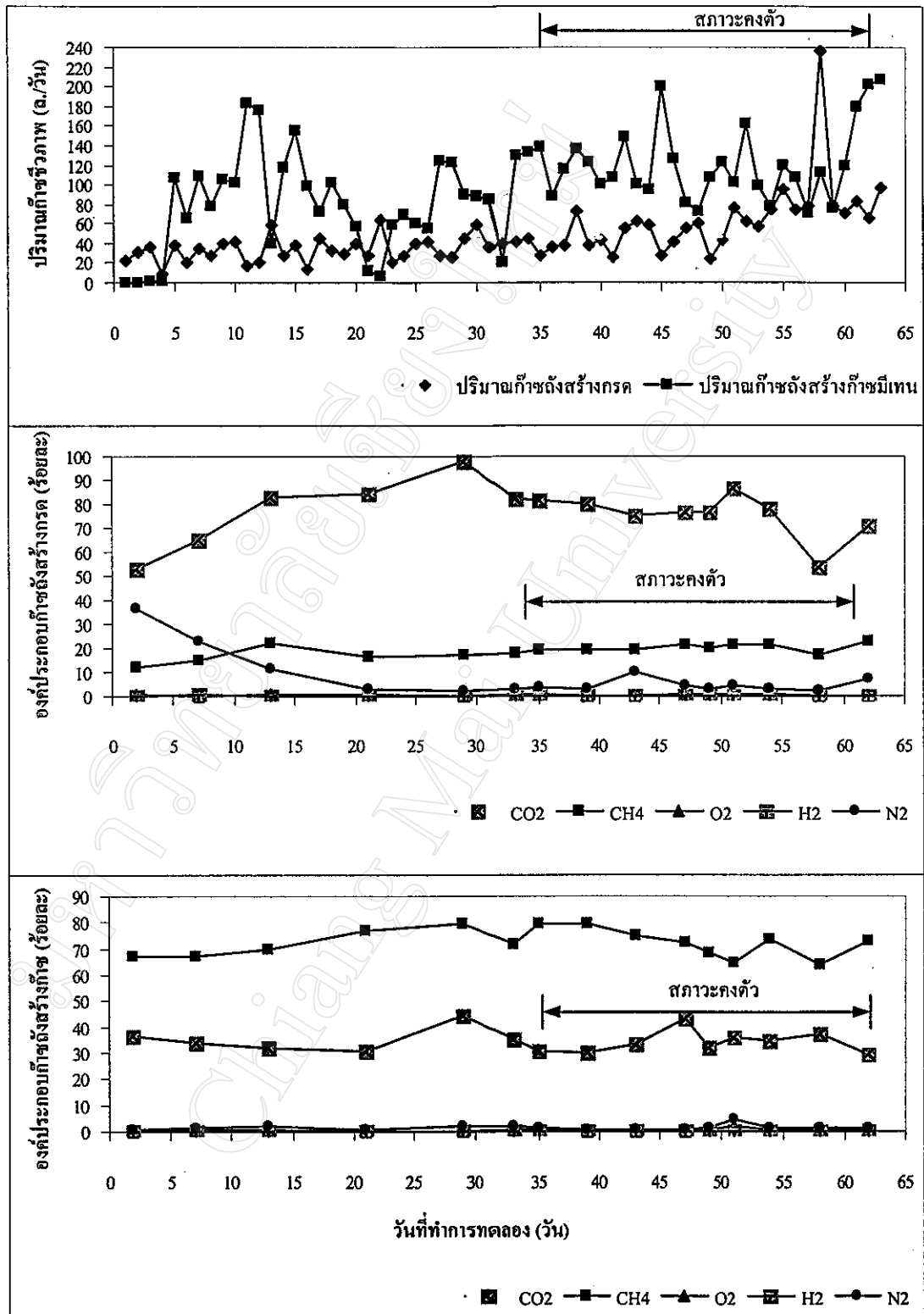
ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีองค์ประกอบของก๊าซแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ตลอดการทดลองมีดังต่อไปนี้ ในวันแรก ๆ ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซจะพบก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจน ต่ำมากทั้งถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน ส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนจะมีองค์ประกอบค่อนข้างต่ำในช่วงแรกของการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 9.55-23.08 ของถังสร้างก๊าซมีเทนและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 43 ของการทดลองที่ 1 ในส่วนของถังสร้างกรดองค์ประกอบร้อยละของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองค่อนข้างคงที่ทั้ง 3 การทดลอง องค์ประกอบร้อยละเฉลี่ยของก๊าซมีเทนที่สถานะคงตัวของการทดลองที่ 1 2 และ 3 คือ 21.6 15.7 และ 20.2 ในถังสร้างกรดและเท่ากับ 74.6 71.3 และ 72.2 สำหรับถังสร้างก๊าซมีเทน ตามลำดับ องค์ประกอบร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงแรก ๆ ของการทดลองอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนให้เป็นกรดอินทรีย์จึงเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นด้วยซึ่งเป็นการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในช่วงสร้างกรด เนื่องจากในถังสร้างก๊าซมีเทนจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนยังมีจำนวนไม่มากพอสำหรับการสร้างก๊าซมีเทนและมีปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดมีปริมาณมากกว่าและสามารถทนต่อสภาพพีเอชที่ลดต่ำลงได้มากกว่าจุลินทรีย์ที่ใช้สร้างก๊าซมีเทน จึงทำให้ในช่วงแรกของการทดลองมีองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากในถังสร้างก๊าซมีเทน แต่หลังจากวันที่ 43 ของการทดลองที่ 1 องค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง และสามารถวัดปริมาณร้อยละคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่สถานะคงตัวเท่ากับ 28.4 29.1 และ 34.0 ตามลำดับ ของทั้ง 3 การทดลองในถังสร้างก๊าซมีเทน สำหรับปริมาณร้อยละเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถังสร้างกรดเท่ากับ 76.3 72.0 และ 75.4 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.14-4.16 พบว่าองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าค่อนข้างสูงและคงที่ตลอด ทั้ง 3 การทดลอง เนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดมากกว่า จากผลขององค์ประกอบก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าปฏิกิริยาหลักของถังสร้างกรดทำหน้าที่สร้างกรดเพราะมี



รูป 4.14 ปริมาณก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ดังสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.15 ปริมาณก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)



รูป 4.16 ปริมาณก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

องค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่ำและมีองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่วนปฏิกิริยาหลักใน
ถึงสร้างก๊าซมีเทนทำหน้าที่สร้างก๊าซมีเทนเพราะมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูง และมีร้อยละของ
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ร้อยละของก๊าซในโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9-6.7 ของทั้ง 3 การ
ทดลอง ในปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุที่ชัดเจนของการเกิดก๊าซในโตรเจนซึ่งได้แต่เพียงสันนิษฐานว่า
ละลายมากับน้ำและในมูลฝอยที่นำมาทำการทดลอง แต่ตามกฎหมายของเฮนรีนั้นก๊าซในโตรเจนนั้นมี

ตาราง 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสาร
อินทรีย์ของถังสร้างกรดต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสาร อินทรีย์ถังสร้างกรด กก.VS/(ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
- ปริมาณก๊าซ			
ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังสร้างกรด (ล./วัน)	56.5	51.9	64
ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังสร้างก๊าซมีเทน (ล./วัน)	74.9	116	120.6
ก๊าซมีเทนที่วัดได้ในห้องทดลองของถังสร้างกรด (ล./วัน)	12.2	8.1	12.9
ก๊าซมีเทนที่วัดได้ในห้องทดลองของถังสร้างก๊าซมีเทน (ล./วัน)	55.8	82.7	87.0
ก๊าซมีเทนที่ละลายน้ำอ้อมตัวที่สถานะห้องทดลองของถังสร้างก๊าซมีเทน (ล./วัน)	0.57	0.57	0.58
ก๊าซมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นของระบบหมักที่สถานะห้องทดลอง (ล./วัน)	68.6	91.4	100.5
- อัตราการเกิดก๊าซ			
ก๊าซชีวภาพที่วัดได้ในห้องทดลองของถังสร้างกรด (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	10.8	9.9	12.3
ก๊าซชีวภาพที่วัดได้ในห้องทดลองของถังสร้างก๊าซมีเทน (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	14.3	22.2	23.1
ก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่วัดได้ในห้องทดลองของระบบหมัก (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	25.1	32.1	35.4
ก๊าซมีเทนทั้งหมดที่สถานะห้องทดลองของถังสร้างกรด (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	2.3	1.6	2.5
ก๊าซมีเทนทั้งหมดที่สถานะห้องทดลองของถังสร้างก๊าซมีเทน (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	10.7	15.8	16.7
ก๊าซมีเทนทั้งหมดที่สถานะห้องทดลองของระบบหมัก (ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น)	13.1	17.5	19.3
ก๊าซชีวภาพของระบบหมัก (ลบ.ม./กก.VSมูลฝอยเริ่มต้น)	0.105	0.134	0.15
- องค์ประกอบก๊าซ			
CH ₄ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างกรด (ร้อยละ)	21.64	15.68	20.17
CH ₄ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทน (ร้อยละ)	74.56	71.31	72.18
CO ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างกรด (ร้อยละ)	76.33	71.98	75.38
CO ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทน (ร้อยละ)	28.43	29.08	34.02
N ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างกรด (ร้อยละ)	3.86	6.70	4.46
N ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทน (ร้อยละ)	2.24	0.91	1.52
O ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างกรด (ร้อยละ)	0.74	1.30	0.42
O ₂ ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทน (ร้อยละ)	0.57	0.27	0.63

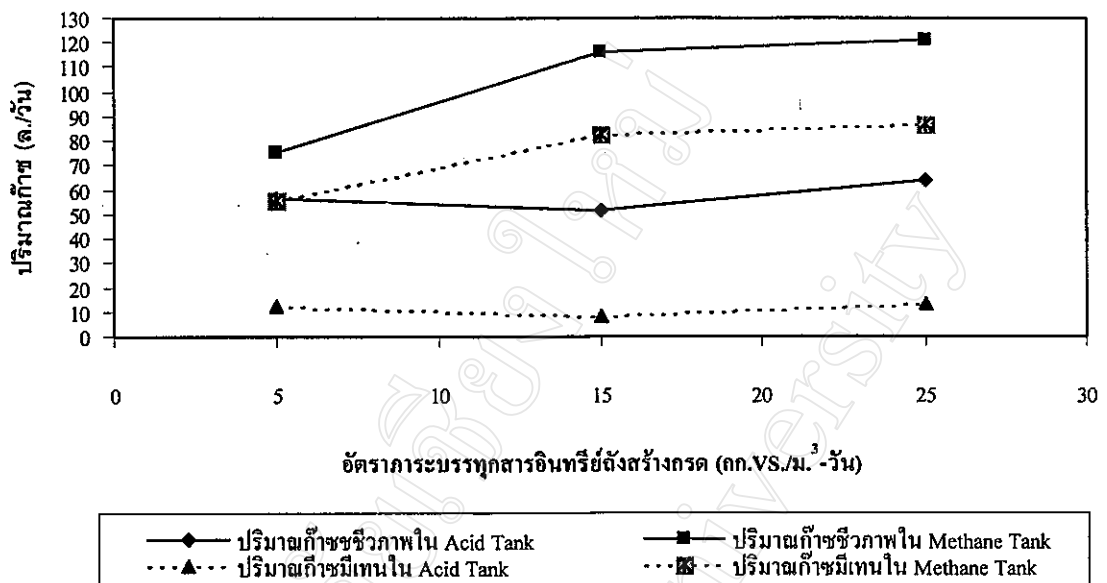
หมายเหตุ : ปริมาณมีเทนที่ละลายน้ำอ้อมตัวคำนวณตามกฎหมายของเฮนรี ดังแสดงในภาคผนวก ค

ปริมาณน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4.14-4.16 และ ตารางที่ 4.6

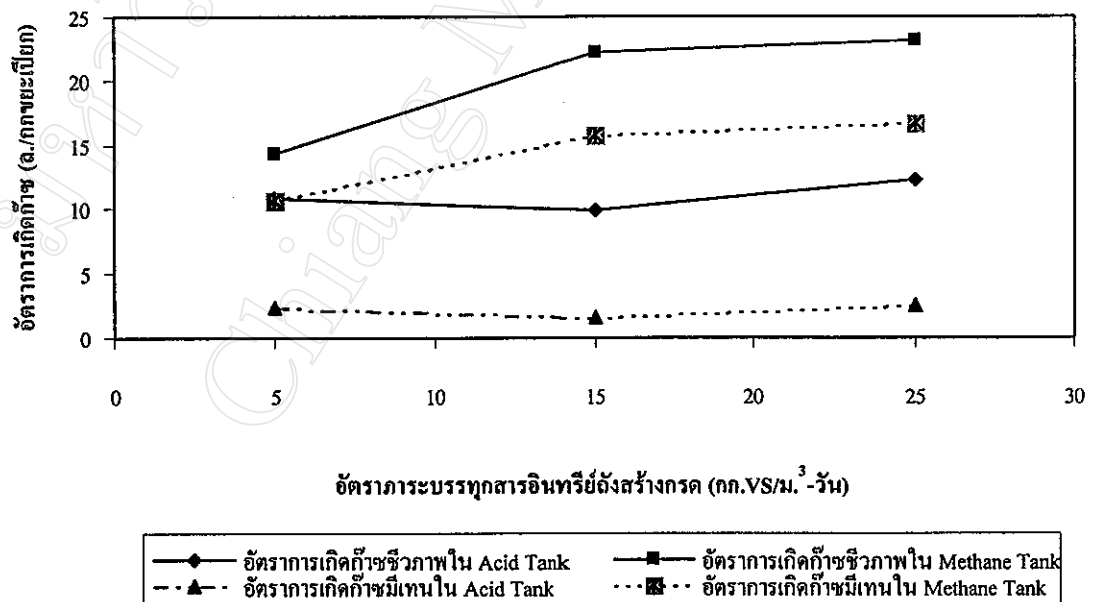
เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนต่อปริมาณมูลฝอยเปียกที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยาแสดงผลดังตารางที่ 4.6 จากการทดลองพบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวคือ 10.8 9.9 และ 12.3 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับของถังสร้างกรด และมีค่าเท่ากับ 14.3 22.2 และ 23.1 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับของถังสร้างก๊าซมีเทน แสดงดังในรูปที่ 4.18

จากการทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรดเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงขึ้นในถังสร้างก๊าซมีเทน ส่วนในถังสร้างกรดอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของทั้ง 3 การทดลองค่อนข้างใกล้เคียงกัน จากการทดลองที่ 1 2 และ 3 พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวในถังสร้างกรดคือ 12.2 8.1 และ 12.9 ล./วัน ตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนในถังสร้างก๊าซมีเทนของการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 82.7 และ 87.0 ล./วัน ส่วนการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.8 ล./วัน แสดงดังตารางที่ 4.6 และมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.14 -4.16 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักขยะเปียกที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวในถังสร้างกรดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 2.3 1.6 และ 2.5 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักขยะเปียกของถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยคือ 10.7 15.9 และ 16.7 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับ ในส่วนของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพทั้งหมดของระบบต่อน้ำหนักมูลฝอยเปียกเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.1 32.1 และ 35.4 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนทั้งหมดของระบบต่อน้ำหนักมูลฝอยเปียกเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยคือ 13.1 17.5 และ 19.3 ล./กก.มูลฝอยเปียกเริ่มต้น ตามลำดับ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าทั้ง 3 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกันในถังสร้างกรดคือ 43.1 37.3 และ 48.2 ล./วัน ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างก๊าซมีเทนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดในถังสร้างกรดในทุกการทดลอง และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของถังสร้างก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 21.3 33.7 และ 41.0 ล./วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 และเมื่อพิจารณากับอัตราการสร้างกรดระเหยง่ายในถังสร้างก๊าซมีเทน พบว่าองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าสอดคล้องไปในทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดขึ้น เกิดการย่อยสลายมูลฝอยเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่ายโดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดต่อเนื่องภายในถังสร้างก๊าซมีเทนซึ่งพิจารณาได้จากอัตราการผลิตกรดระเหยง่ายของถังสร้างก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น



รูป 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรดกับปริมาณก๊าซ



รูป 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรดกับอัตราการเกิดก๊าซ

ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพของถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรด ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ กรดระเหยง่าย

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดมากขึ้นอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นแต่ในการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงดังตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.17 และ 4.18 เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดสูงสุดที่ 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ระบบยังสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้นโดยที่ระบบยังไม่ล้มเหลวที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ๆ ซึ่งระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิด 2 ขั้นตอนจะสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่าระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิดขั้นตอนเดียว (A. Mtz.-Viturtai, 1994) เนื่องจากจากหน้าที่ที่แตกต่างกันของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดได้ถูกแบ่งแยกการทำงานอย่างชัดเจนทำโดยที่จุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทนจะดำรงชีวิตอยู่ได้ต้องอาศัยปริมาณกรดอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด ซึ่งจุลินทรีย์ทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์แบบ Commensalism และ Mutualism แต่จำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมสภาวะแวดล้อมของระบบให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งสอง (มันสิน, 2542)

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำการศึกษการหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนของการทดลองที่ 1 2 และ 3 คือ 0.105 0.134 และ 0.15 ลบ.ม./(กก.VS) ตามลำดับ (Cecchi, 1991) ทำการทดลองหมักมูลฝอยชุมชน มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.23 ลบ.ม./(กก.VSF) (A. Mtz.-Viturtia, 1994) ได้ทำการศึกษการหมักแบบไร้ออกซิเจนชนิด 2 ขั้นตอนโดยใช้มูลฝอยจำพวกผัก ผลไม้ ได้อัตราการเกิดก๊าซเท่ากับ 0.623 ลบ.ม./(กก.VSF) (Cecchi, 1990) ได้ทำการศึกษการหมักมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจนเปรียบเทียบการทำงานของระบบในช่วงอุณหภูมิแบบมีโซฟิลลิก และเทอร์โมฟิลลิก โดยได้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.2 ลบ.ม./(กก.VSF) สำหรับระบบแบบมีโซฟิลลิกและเทอร์โมฟิลลิกมีค่าอยู่ในช่วง 0.26-0.43 ลบ.ม./(กก.VSF) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่า ในงานวิจัยอื่นซึ่งอาจเกิดจาก ลักษณะของมูลฝอยที่แตกต่างกัน และส่วนใหญ่เป็นกระบวนการแบบของแข็งทั้งหมดสูง จึงอาจมีผลทำให้ลักษณะมูลฝอยที่ได้แตกต่างกัน

ในส่วนของการนำก๊าซมีเทนไปใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์ เช่น เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้ม ผลิตรกระแสไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงการใช้งานของก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอนจึงได้เสนอเพื่อนำก๊าซมีเทนมาใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนเทียบกับก๊าซหุงต้ม เมื่อพิจารณาค่าความร้อนของก๊าซมีเทน

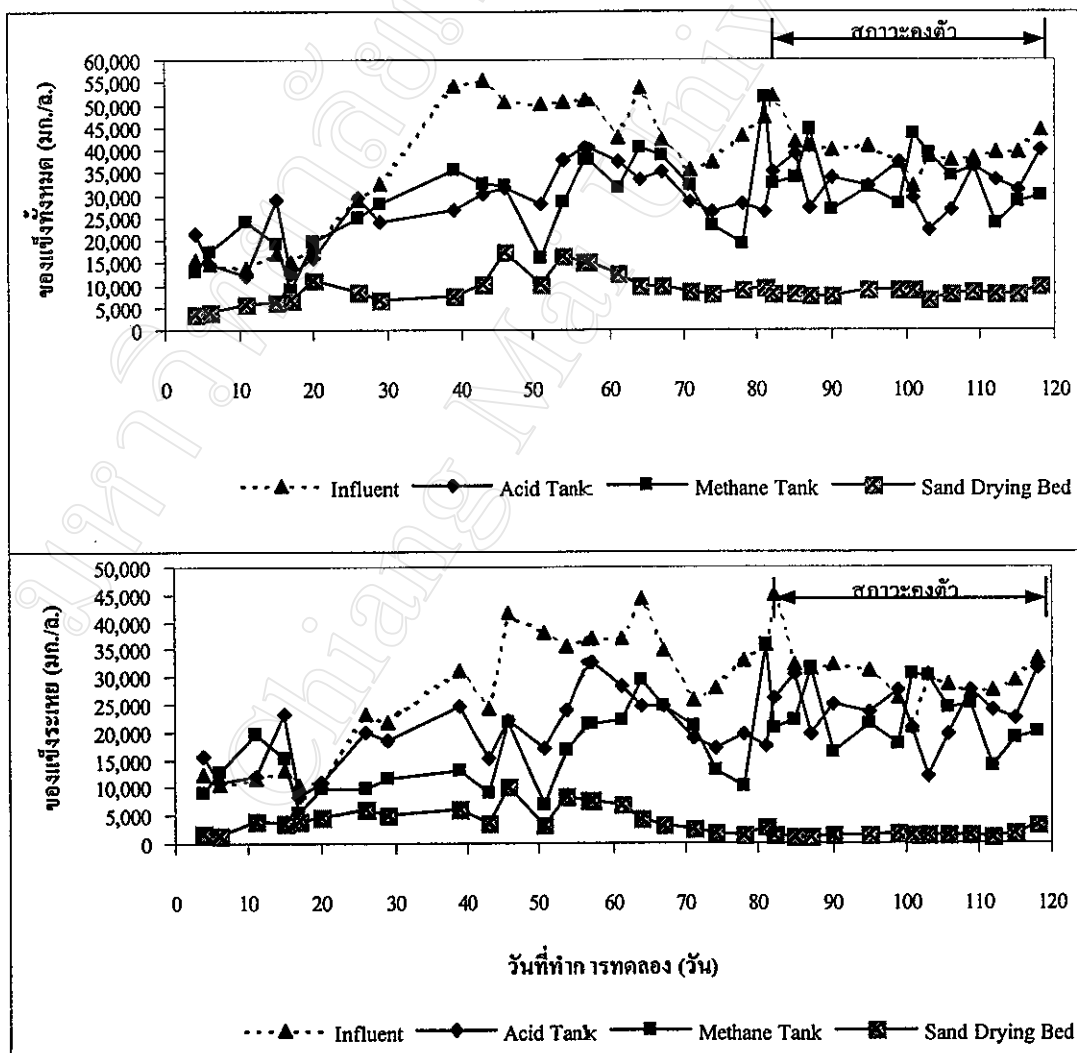
และก๊าซหุงต้ม มีค่าเท่ากับ 8,550 และ 26,350 กิโลแคลอรี/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.72 kg./m^3 . ของก๊าซมีเทน และ 2.40 kg./m^3 . ของก๊าซหุงต้ม (Christensen, 1996 และ บริษัท ทีพีโอ จำกัด (มหาชน)) จากอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ได้จากการทดลองที่ 3 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดคือ 19.29 ลบ.ม./ตันมูลฝอยเปียก จากข้อมูลของก๊าซมีเทนและก๊าซหุงต้ม พบว่าก๊าซมีเทน 1 ลบ.ม. มีพลังงานความร้อนเทียบเท่าพลังงานความร้อนของก๊าซหุงต้ม 0.324 ลบ.ม. และจากราคาก๊าซหุงต้มในท้องตลาด (2544) เท่ากับ 31.99 บาท/ลบ.ม. จะได้ว่าก๊าซมีเทนที่ได้จากการศึกษา มีมูลค่าทางการใช้งานทดแทนก๊าซหุงต้มคือ 6.25 kcal/ตันมูลฝอยเปียก และ มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์คือ 199 บาท/ตันมูลฝอยเปียก

4.2.7 ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย

ค่าของแข็งทั้งหมดของมูลฝอยในระบบช่วงแรกของการทดลองที่ 1 จะมีค่าค่อนข้างต่ำมากสำหรับในมูลฝอยที่ทำการป้อนและในถังปฏิกิริยาทั้งสองเนื่องมาจากในช่วงแรกของการทดลองต้องทำการปรับค่าของแข็งทั้งหมดให้มีค่าประมาณร้อยละ 5 จึงได้ทำการปรับค่าของแข็งทั้งหมดด้วยน้ำจากค่าที่ทำการคำนวณโดยประมาณการจากลักษณะมูลฝอยที่ได้จากข้อมูลอ้างอิง คือ ใช้มูลฝอย 4.31 กก.ต่อน้ำ 53 ลิตรเพื่อทำการป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรด หลังจากวันที่ 24 ของการทดลองจึงได้ทำการเพิ่มปริมาณมูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่ระบบเป็น 5.22 กก. ผสมกับน้ำ 14 ลิตร เพื่อปรับให้ได้ค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าประมาณร้อยละ 5 ค่าของแข็งทั้งหมดของมูลฝอยที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัวเท่ากับ 40,200 43,600 และ 45,500 มก./ล. ของการทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าแปรผันอย่างมากในทั้ง 3 การทดลองเนื่องมาจากการที่ในถังปฏิกิริยา มีการกวนด้วยใบพัดทำให้มีการพันกันของเส้นใยเกาะกันที่ใบพัดทำให้ของแข็งบางส่วนยังคงค้างอยู่ในถังปฏิกิริยาทั้ง 2 และในบางวันก็เกิดการอุดตันของเส้นใยที่พันกันทำให้การเก็บตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้สำหรับในถังสร้างกรดโดยเฉลี่ยที่สถานะคงตัวคือ 32,600 40,500 และ 42,100 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งทั้งหมดในถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัวเท่ากับ 33,200 37,000 และ 34,400 มก./ล. ตามลำดับในการทดลองที่ 1 2 และ 3 สำหรับค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำใสจากลานตากตะกอนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้ง 3 การทดลองและมีค่าลดลงอย่างมากเนื่องมาจากการกรองของน้ำผ่านชั้นทรายและกรวดซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัวคือ 8,220 8,900 และ 9,710 มก./ล. ตามลำดับ แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงได้ดังรูปที่ 4.19-4.21 และตารางที่ 4.7

ในช่วงเริ่มต้นของระบบค่าของแข็งระเหยของระบบค่อนข้างต่ำในการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 10,500-23,100 มก./ล. ในมูลฝอยที่เข้าระบบ 8,310-23,100 มก./ล. ในถังสร้างกรด และในถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าอยู่ในช่วง 5,420-19,500 มก./ล. จากการทดลองพบว่าค่าของแข็งระเหย

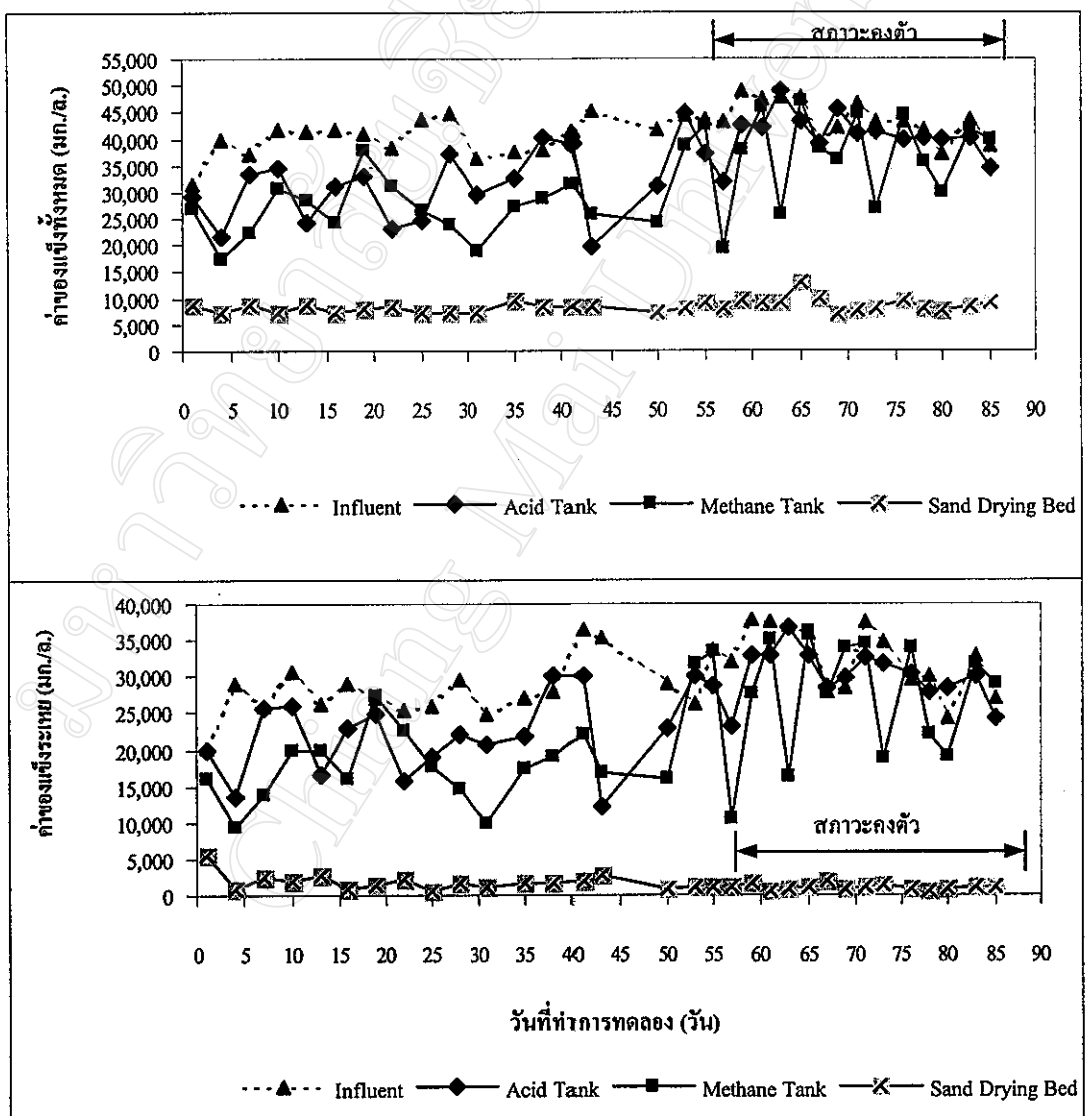
เฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของมูลฝอยที่เข้าระบบ ถึงสร้างกรดและถึงสร้างก๊าซมีเทน สำหรับการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 30,400 23,800 และ 22,500 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของแฉะระเหยเฉลี่ยของการทดลองที่ 2 คือ 32,400 30,000 และ 27,300 มก./ล. ตามลำดับและ 34,700 31,500 และ 24,000 มก./ล. ตามลำดับสำหรับการทดลองสุดท้าย พบว่าค่าของแฉะระเหยมีค่าค่อนข้างแปรผันสูงไม่คงที่ แม้ในสภาวะคงตัวของการทดลองเนื่องจากเกิดการอุดตันของตะกอนที่พื้นก้นเป็นเส้นใยในถังสร้างกรดและถึงสร้างก๊าซมีเทนทำให้การเก็บตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในทุก ๆ วัน อีกทั้งสารในถังปฏิกิริยาเป็นแบบ Slurry ไปจนถึงค่อนข้างข้น



รูป 4.19 ของแข็งทั้งหมดและของแฉะระเหยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 5 กก.VS/(ม.³-วัน)

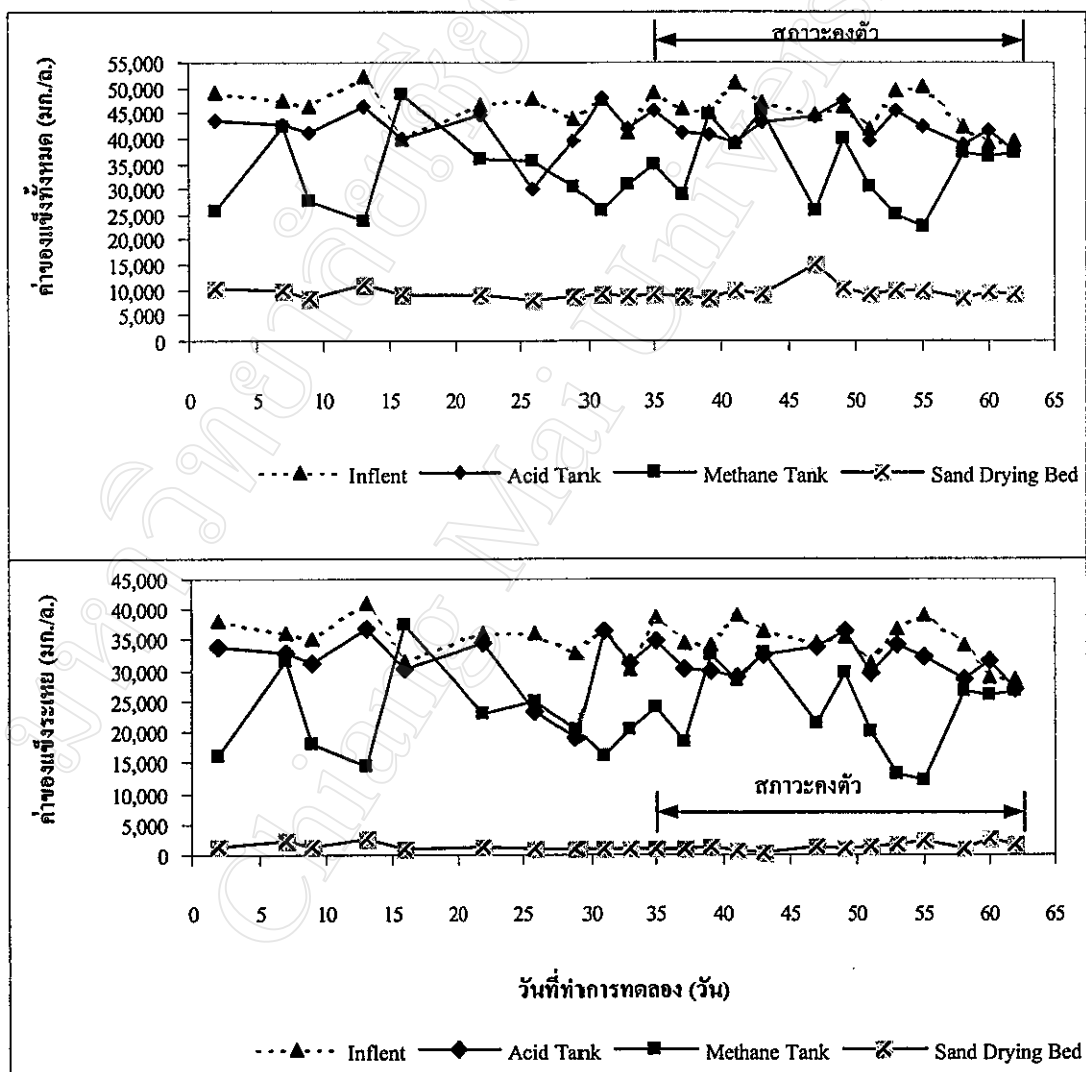
สำหรับค่าของแอมโมเนียในส่วนของน้ำซึมออกจากลานตากตะกอนในทุก ๆ การทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 1,554 1,068 และ 1,310 มก./ล. แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.19-4.21

สำหรับประสิทธิภาพการลดลงของแอมโมเนียของถังสร้างกรดในการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 21.8 7.2 และ 9.39 ตามลำดับ สำหรับในถังสร้างก๊าซมีค่าร้อยละ 5.53 9.38 และ 23.78 ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการลดลงของค่าของแอมโมเนียในถังสร้างกรดของการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน ในการทดลองที่ 1 จะมีร้อยละการลดลงของแอมโมเนียสูง



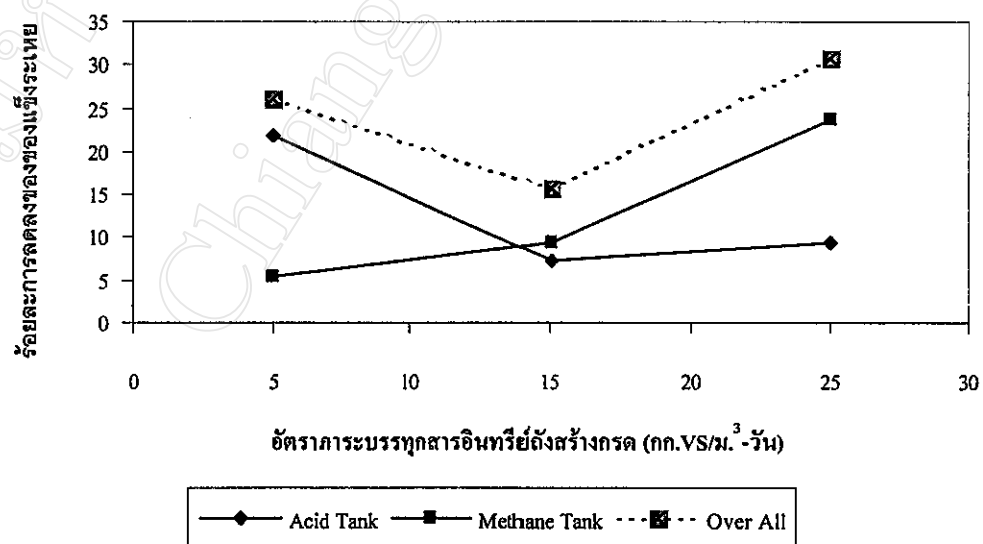
รูป 4.20 ของแอมโมเนียทั้งหมดและของแอมโมเนียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 15 กก.VS/(ม.³-วัน)

กว่าการทดลองที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดมากขึ้นร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยจะลดลงเช่นกัน สำหรับในถังสร้างก๊าซมีเทนเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรดขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยของน้ำซึมจากลานตากตะกอนพบว่ามีค่าสูงมากทั้ง 3 การทดลองคือ 93.1 96.1 และ 94.5 อันเนื่องมาจากเกิดการกรองของตะกอนที่ออกจะถังสร้างก๊าซ-



รูป 4.21 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด 25 กก.VS/(ม.³-วัน)

มีเทนผ่านชั้นทรายและกรวดภายในชั้นกรองทำให้ร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยมีค่าสูง แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงข้อมูลของของแข็งระเหยของการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.19-4.21 (Cecchi, 1991) ทำการทดลองหมักมูลฝอยชุมชน มีร้อยละการลดลงของของแข็ง ระเหยอยู่ในช่วง 27-34 (Cecchi, 1990) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการหมักมูลฝอยชุมชน ที่มี โซฟิติกมีร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยเท่ากับ 23 สำหรับเทอร์โมฟิติกมีการลดลงของ ของแข็งระเหยร้อยละ 31-48 (A.Mtz.-Vituria, 1994) ศึกษาการหมักมูลฝอยจำพวกผัก ผลไม้ มีการ ลดลงของของแข็งระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 27.2-72.4 จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการลดลงของของ เจริญรวมของทั้งสองถังเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรดจาก 5 เป็น 15 (กก.VS/ม.³-วัน) การลดลงของของแข็งระเหยลดลง คือจากร้อยละ 26 เป็นร้อยละ 15.7 แต่เมื่อเพิ่ม อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรดเป็น 25 (กก.VS/ม.³-วัน) ร้อยละการลดลงของของแข็ง ระเหยกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สามารถชี้ชัดได้ในทางทฤษฎีแต่สันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดมาจากเกิดการ สะสมของของแข็งในถังหมักทั้งสองใบเนื่องจากใบพัดคววน ทำให้เกิดการพันกันและเกาะตัวกัน เป็นเส้นใย โดยจากการศึกษาในช่วงกลาง ๆ การทดลองที่ 2 เกิดการรื้อและหยุดซ่อม 1 ครั้งหลังจาก นั้นทำการทดลองต่อจนเสร็จการทดลองที่ 2 แล้วจึงเริ่มทำการทดลองที่ 3 ทันที โดยที่การทดลองที่ 3 ไม่เกิดการรื้อบริเวณเพลลาที่ถังอีกจึงไม่มีการหยุดซ่อม ส่วนในการทดลองที่ 1 เกิดการรื้อบริเวณ เพลลาบ่อย ๆ จึงต้องหยุดทำการซ่อมและเคลียร์ถัง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าร้อยละการลดลงของของ เจริญในการทดลองที่ 3 มีค่าสูงกว่า 2 การทดลองแรก



รูป 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยกับอัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรด

ตาราง 4.7 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย

ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรด (กก.VS/ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
ของแข็งทั้งหมดของมูลฝอยที่เข้าระบบ (มก./ล.)	40,200	43,600	45,500
ของแข็งทั้งหมดในถังสร้างกรด (มก./ล.)	32,600	40,500	42,100
ของแข็งทั้งหมดในถังสร้างก๊าซมีเทน(มก./ล.)	33,200	37,000	34,400
ของแข็งทั้งหมดของน้ำซึมจากลานตากตะกอน(มก./ล.)	8,220	8,900	9,710
ของแข็งระเหยของมูลฝอยที่เข้าระบบ(มก./ล.)	30,400	32,400	34,700
ของแข็งระเหยในถังสร้างกรด(มก./ล.)	23,800	30,000	31,500
ของแข็งระเหยในถังสร้างก๊าซมีเทน(มก./ล.)	22,500	27,300	24,000
ของแข็งระเหยของน้ำซึมจากลานตากตะกอน(มก./ล.)	1,550	1,070	1,300
ร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยในถังสร้างกรด	21.8	7.2	9.4
ร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยในถังสร้างก๊าซมีเทน	5.5	9.4	23.8
ร้อยละการลดลงของของแข็งระเหยของระบบหมักรวม	26.0	15.7	30.8

4.2.8 ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายและบีโอดี ของน้ำซึมจากลานตากทราย

จากการทดลองทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายเฉพาะในส่วน
ของน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนเท่านั้น พบว่าค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายของการ
ทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวใกล้เคียงกันคือ 1,038 และ 1,027 มก./ล. ตามลำดับ 815
และ 844 มก./ล. ตามลำดับสำหรับซีโอดีละลาย ส่วนการทดลองสุดท้ายมีค่าซีโอดีทั้งหมดและ
ซีโอดีละลายมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวสูงกว่าสองการทดลองแรกมีค่าเท่ากับ 1,561 และ 1,331 มก./ล.
พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเป็น 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ทำให้มีค่า
ซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายมีค่าสูงขึ้น แต่ในการทดลองที่ 1 ช่วงแรกมีค่าค่อนข้างสูงมากอยู่ใน
ช่วง 6,500-11,670 มก./ล. ของซีโอดีทั้งหมดและช่วง 5,370-8,840 มก./ล. สำหรับซีโอดีละลาย หลัง
จากวันที่ 50 ของการทดลอง ค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายเริ่มลดลง ซึ่งในช่วงแรกของการ
ทดลองที่ค่าซีโอมีค่าสูงมากเนื่องมาจากจุลินทรีย์ยังไม่ปรับสภาพขึ้นเพื่อทำการย่อยสลายสาร
อินทรีย์จากมูลฝอย อาจสังเกตได้จาก ค่ากรดระเหยง่ายในถังสร้างก๊าซมีเทนยังมีค่าสูงอยู่ในช่วงแรก
ซึ่งจุลินทรีย์ยังไม่ใช้กรดระเหยง่ายไปในการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งเห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพในถัง
สร้างก๊าซช่วงแรกเกิดขึ้นน้อยมาก แต่หลังจากทำการทดลองไปได้ระยะหนึ่งจุลินทรีย์เริ่มปรับ

สภาพให้ชินกับชนิดของมูลฝอยเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายขึ้นในถังสร้างก๊าซมีเทน ทำให้ค่าซีโอดีลดลง เมื่อผ่านลานตากตะกอนแสดงดังรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.8

ส่วนค่าบีโอดีของน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 การทดลองคือมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 654 402 และ 594 มก./ล. โดยในช่วงแรกของการทดลองที่ 1 ค่าบีโอดีมีค่าสูงอยู่ในช่วง 3,990-6,640 มก./ล. หลังจากวันที่ 57 ค่าบีโอดีเริ่มลดลง แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.23

ตาราง 4.8 ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายและบีโอดี ของน้ำซึมจากลานตากทราย

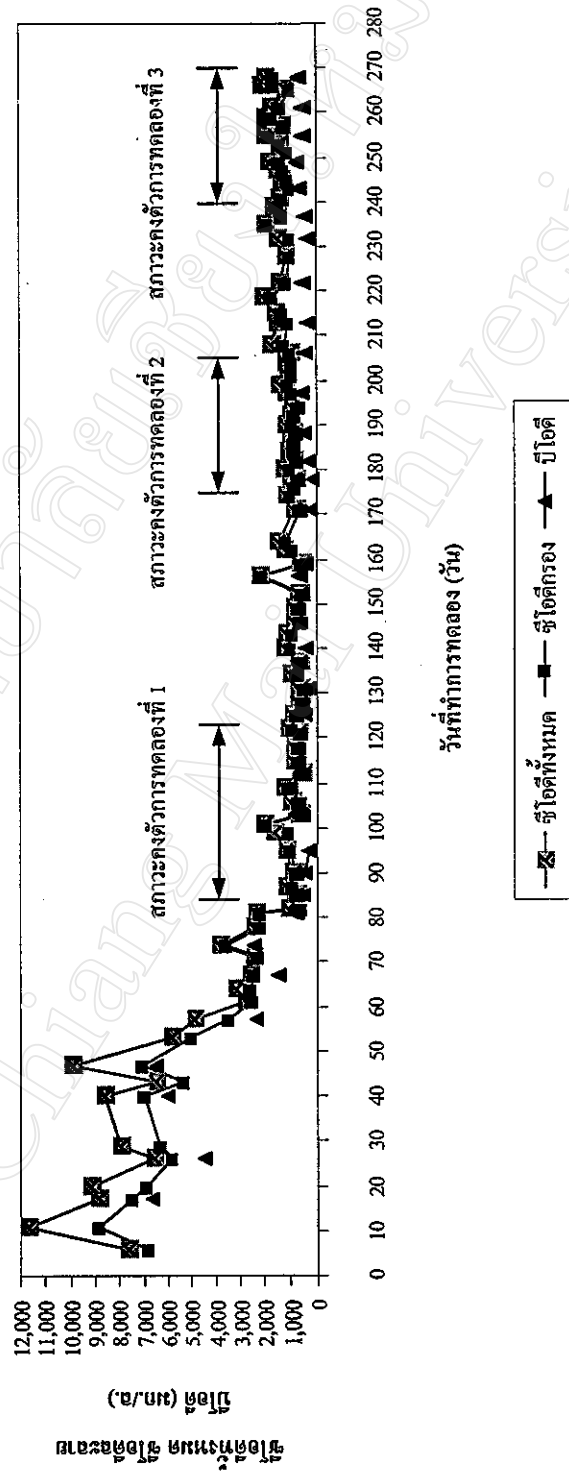
ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถังสร้างกรด (กก.VS/ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	1,038	1,027	1,561
ซีโอดีละลาย (มก./ล.)	815	884	1,331
บีโอดี (มก./ล.)	654	402	594

4.2.9 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นอาหารเสริมที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณอาหารเสริมเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีเมื่อเป็นระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนควรมีอัตราส่วนอย่างต่ำคือ COD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 (McCarty, 1964b) ผลการวิเคราะห์เจดาคัลไนโตรเจนแสดงตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.24 ซึ่งเห็นได้ว่าเจดาคัลไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในถังสร้างกรดเป็น 15 และ 25 กก.VS/ม.³-วัน ตามลำดับ ทำให้เจดาคัลไนโตรเจนของระบบมีค่าสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจนของระบบพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดขึ้นทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนของระบบในทุก ๆ ส่วนเพิ่มขึ้นด้วยโดยที่แอมโมเนียไนโตรเจนที่ 1,500-3,000 มก./ล. จะทำให้การทำงานของระบบเริ่มถูกยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูง (McCarty, 1964a) ซึ่งแอมโมเนียของระบบที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วงไม่ส่งผลต่อการทำงานของระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.25 ส่วนฟอสฟอรัสของระบบในทั้ง 3 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสแสดงดังรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.9

จากการศึกษาพบว่า ค่าเจดาคัลไนโตรเจนของระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรด ซึ่งเกิดจากค่าแอมโมเนียของระบบที่เพิ่มขึ้น เมื่ออัตรา

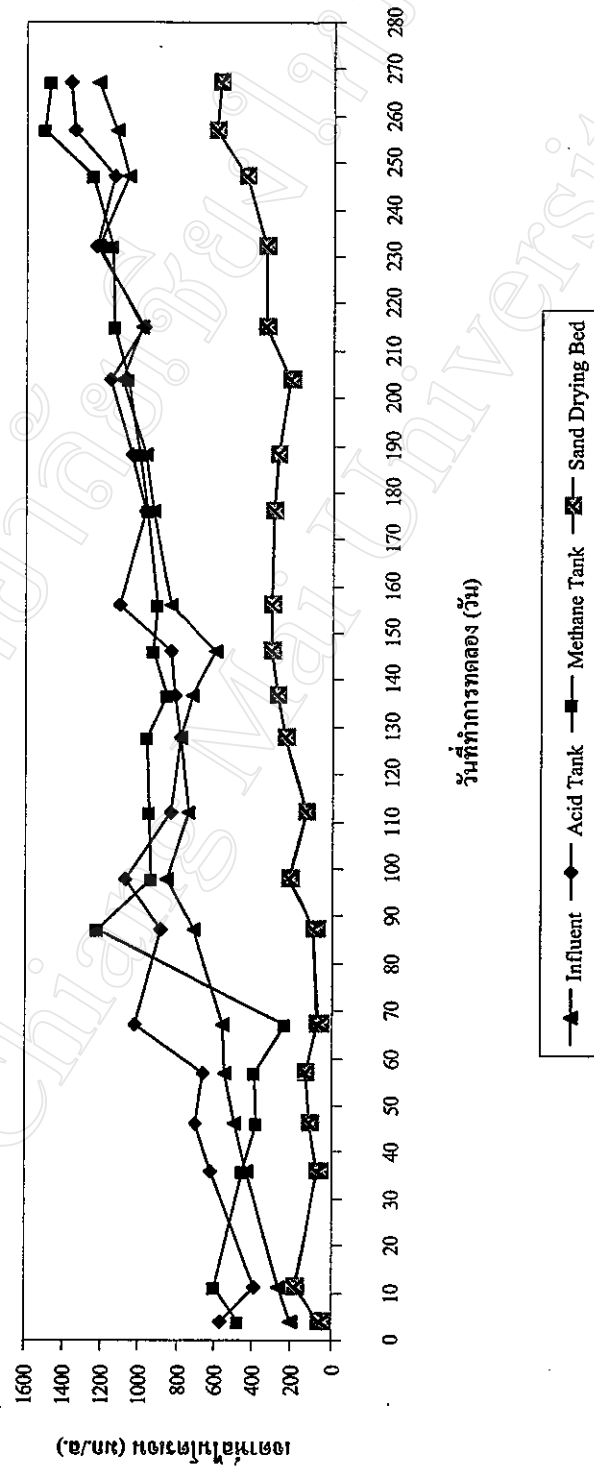


รูป 4.23 ค่าซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีกรอง และซีโอดีของน้ำซึมจากลานตากพรายตลอดการทดลอง

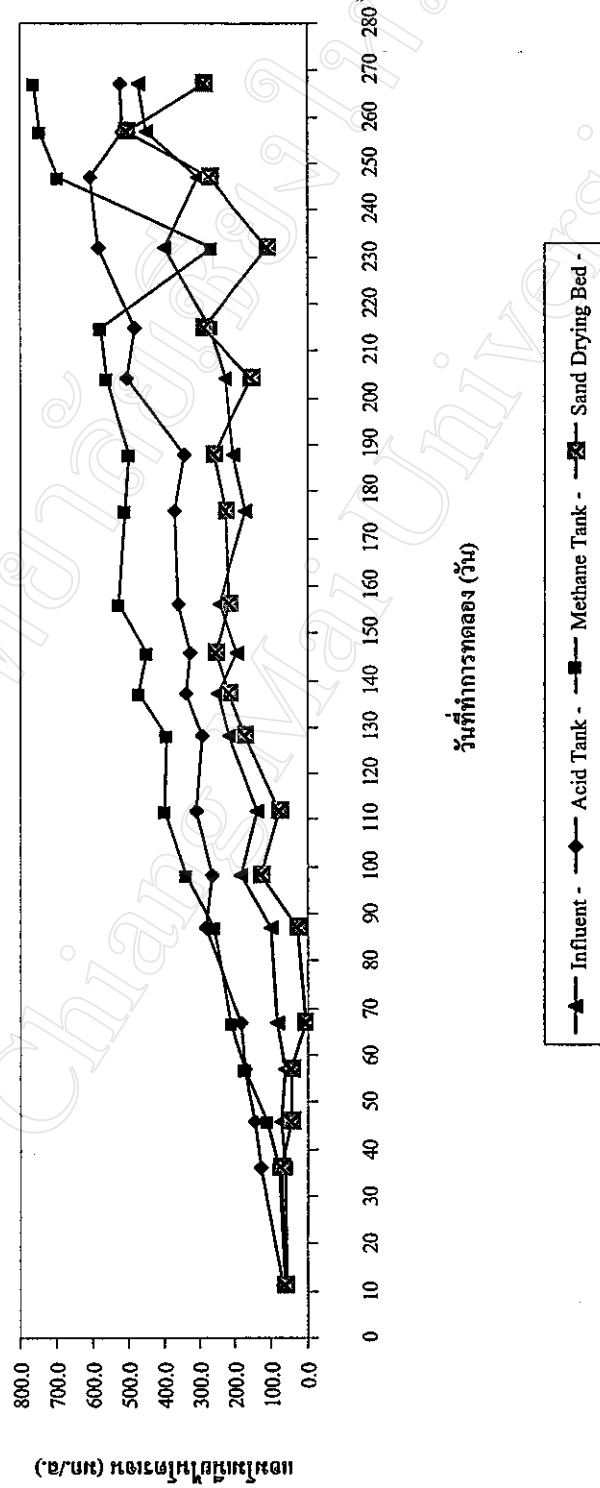
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังสร้างกรดเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาได้มีการนำน้ำซึมจากลานตากตะกอนมาเป็นน้ำหมักเวียนผสมกับมูลฝอยก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา โดยที่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าแอมโมเนียของระบบสูงขึ้น ทำให้ปริมาณเจดาคัลไนโตรเจนของระบบสูงขึ้น อีกนัยหนึ่งกล่าวได้ว่ามูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละช่วงการทดลองซึ่งอาจทำให้ค่าเจดาคัลไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังสร้างกรด ทำให้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์รวมของระบบสูงตาม จึงทำให้เจดาคัลไนโตรเจนของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังสร้างกรด

ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ยเจดาคัลไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัว

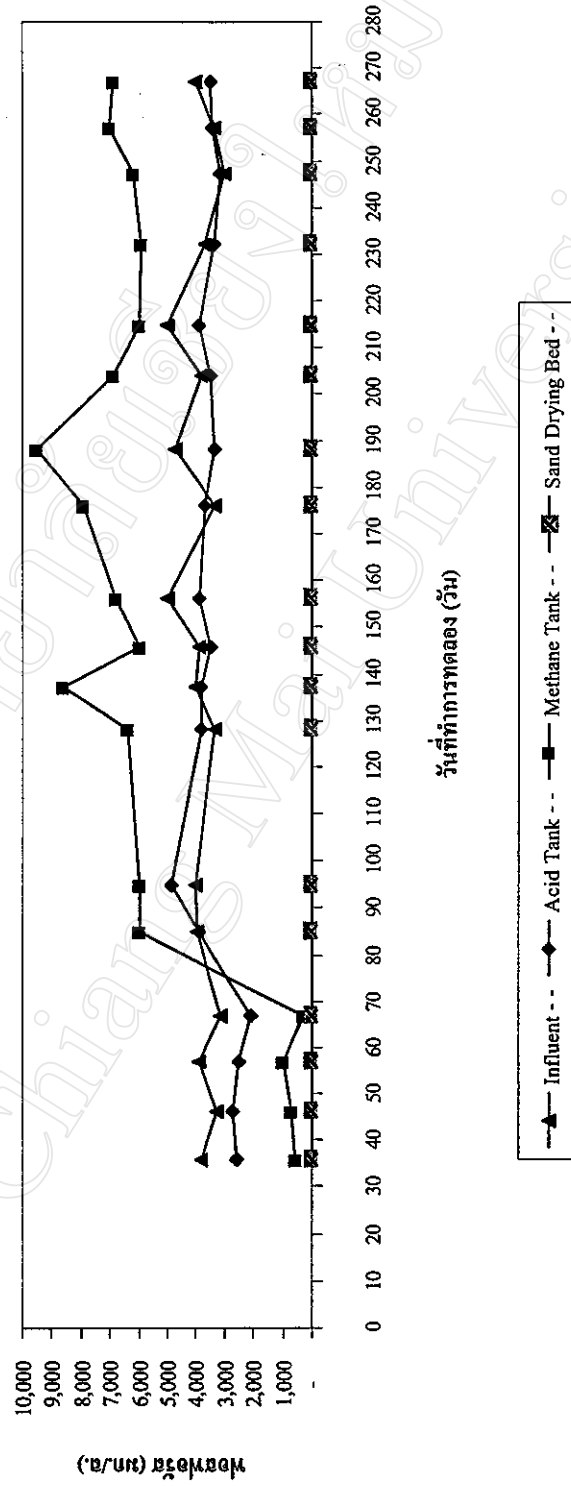
ลักษณะสมบัติ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังสร้างกรด (กก.VS/(ม. ³ -วัน))		
	5	15	25
เจดาคัลไนโตรเจนของมูลฝอยเข้าระบบ (มก./ล.)	768	1,001	1,140
เจดาคัลไนโตรเจนในถังสร้างกรด (มก./ล.)	934	1,060	1,287
เจดาคัลไนโตรเจนในถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล.)	1,038	1,012	1,413
เจดาคัลไนโตรเจนของน้ำซึมจากลานตากตะกอน (มก./ล.)	138	258	538
แอมโมเนียไนโตรเจนของมูลฝอยเข้าระบบ (มก./ล.)	142	203	409
แอมโมเนียไนโตรเจนในถังสร้างกรด (มก./ล.)	284	406	548
แอมโมเนียไนโตรเจนในถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล.)	333	525	732
แอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำซึมจากลานตากตะกอน (มก./ล.)	78.1	214	355
ฟอสฟอรัสของมูลฝอยที่เข้าระบบ (มก./ล.)	4,005	3,933	3,433
ฟอสฟอรัสในถังสร้างกรด (มก./ล.)	4,390	3,500	3,333
ฟอสฟอรัสในถังสร้างก๊าซมีเทน (มก./ล.)	6,000	8,100	6,700
ฟอสฟอรัสของน้ำซึมจากลานตากตะกอน (มก./ล.)	5.91	6.21	5.03
VS : TKN : TP ของมูลฝอยเข้าระบบ	100:2.5:13.2	100:3.1:12.1	100:3.3:9.9
VS : TKN : TP ของถังสร้างกรด	100:3.9:18.4	100:3.5:11.7	100:4.0:10.6
VS : TKN : TP ของถังสร้างก๊าซมีเทน	100:4.6:26.6	100:3.7:29.7	100:5.9:27.9



รูป 4.24 ค่าเฉลี่ยใน ไตรเจนของระบบตลอดการทดลอง



รูป 4.25 ค่าแอมโมเนียใน ไตรเจนของระบบลดการทดลอง



รูป 4.26 ค่าฟอสฟอรัสของระบบตลอดการทดลอง

4.2.10 น้ำซึมจากลานตากตะกอน

มูลฝอยที่หมักแล้วจากระบบ เมื่อทำการแยกน้ำออกจากตะกอนโดยวิธีใช้ลานตากตะกอน พบว่าปริมาณมีค่าแปรผันอย่างมากโดยบางช่วงของการทดลองเกิดการอุดตันเกิดการสะสมของตะกอนในระบบ ทำให้บางวัน ไม่มีตะกอนออกจากถังสร้างก๊าซมีเทนและบางวันก็มีตะกอนออกมามาก ซึ่งตะกอนที่เข้าลานตากตะกอนมีลักษณะ สีดำน้ำตาลและมีกลิ่นไม่เหม็นมากเหมือนกับตะกอนในถังสร้างกรดซึ่งมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแกมเขียว และมีกลิ่นเหม็นมาก ดังรูป 4.27



รูป 4.27 ลักษณะของมูลฝอยภายในถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน

ปริมาณน้ำซึมจากลานตากตะกอน จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำซึมออกจากลานตากตะกอนจะมากน้อยในแต่ละวันขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่ออกจากถังสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งบางช่วงเกิดการอุดตันของท่อ ทำให้ปริมาณตะกอนออกมาน้อย ปริมาณน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนน้อย ซึ่งมีค่าแปรผันมาก ในการทดลองนำน้ำซึมที่ได้จากลานตากตะกอนมาทำการผสมกับมูลฝอยเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้เหลือน้ำทิ้งที่เป็นน้ำเสียน้อยที่สุดด้วยโดยที่ปริมาณน้ำซึมที่ใช้เดิมกลับสู่ระบบจะมีค่าเฉลี่ยที่ 13-14 ลิ./วัน ลักษณะน้ำซึมที่ผ่านจากลานตากตะกอนจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลใส ถ้ามีปริมาณมากจะมีลักษณะสีออกน้ำตาลขุ่นและไม่มียกกลิ่นเหม็น มีลักษณะดังรูปที่ 4.28 ปริมาณน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนสะสมตลอดทั้ง 3 การทดลองเท่ากับ 2,180 920.5 และ 736 ลิ./วัน ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำซึมที่ออกจากลานตากตะกอนมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมูลฝอยเปียกเข้าในระบบ จากตารางที่ 4.10 ในทางปฏิบัติจะไม่มีน้ำเสียทิ้งออกจากระบบ เมื่อทำการเก็บน้ำซึมที่ได้สะสมไว้ในถังสำรองเพื่อนำกลับมาใช้เป็นน้ำหมุนเวียนในการศึกษาผู้ทำการศึกษาก็ได้วัดปริมาณน้ำประปาที่เติมเพิ่ม แต่ใช้วิธีคำนวณจากปริมาณน้ำซึม

แต่ละวันกับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมูลฝอยจริง ในการศึกษาผู้ทำการศึกษาได้ทำการเก็บน้ำซึมสำรองที่
เหลือจากการนำไปผสมกับมูลฝอยเข้าระบบในถังเก็บน้ำสำรองขนาด 120 ลิตรเพื่อนำมาใช้ในการ
ผสมมูลฝอยในวันที่น้ำซึมไม่พอเพียง ปริมาณน้ำซึมสะสมและปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมูลฝอยเข้าระบบ
แสดงดังรูปที่ 4.29-4.31 เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติไม่มีปริมาณน้ำเสียทิ้งจากระบบ

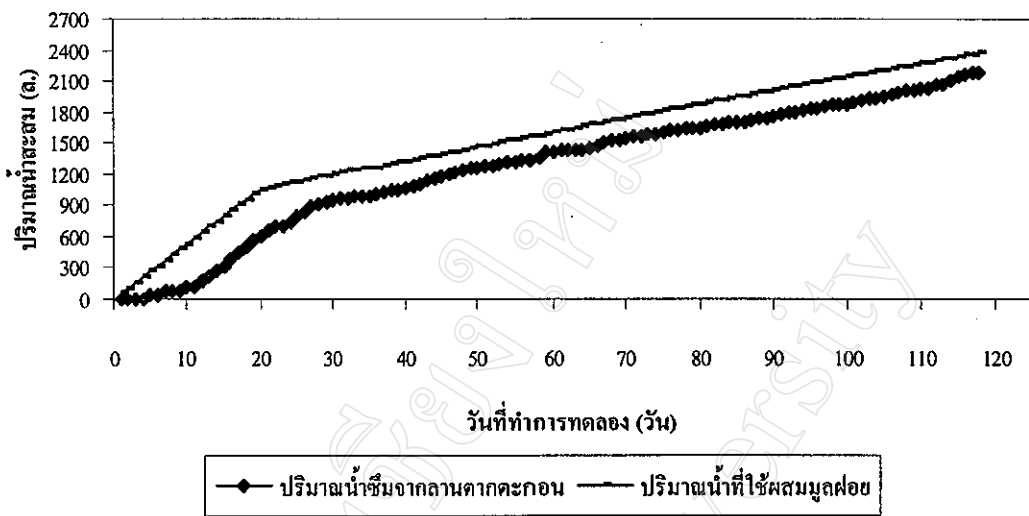


รูป 4.28 ลักษณะน้ำซึมออกจากลานตากตะกอน

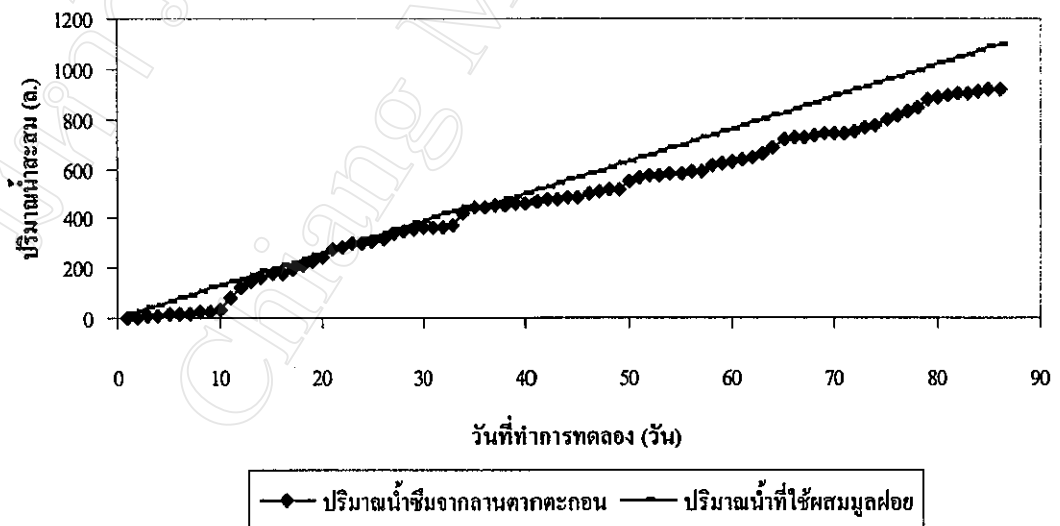
ปริมาณน้ำเสียทิ้งเป็นปริมาณน้ำที่เหลือจากการนำไปผสมกับมูลฝอยก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ
และในทางปฏิบัติจะต้องทำการบำบัดก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ในการทดลองได้ทำการเก็บ
น้ำไว้ในถังเก็บน้ำสำรองเพื่อนำกลับมาผสมกับมูลฝอยในบางวันที่เกิดการอุดตันของท่อทำให้ไม่มี
น้ำเพื่อทำการผสม จึงต้องใช้น้ำประปาผสมกับมูลฝอยก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ

ตาราง 4.10 ปริมาณน้ำซึมสะสมจากลานตากตะกอน ปริมาณน้ำใช้ผสมมูลฝอยและปริมาณน้ำ
ประปาสะสม

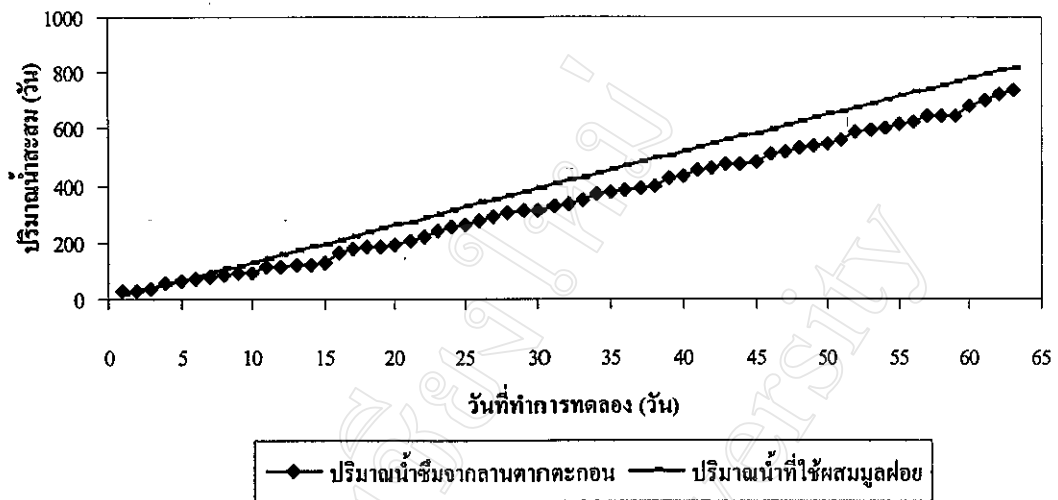
ลักษณะสมบัติ	อัตราการระบายทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรด (กก.VS/ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
ปริมาณน้ำซึมสะสมจากลานตากตะกอน (ล.)	2,180	920.5	736
ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมูลฝอยสะสม (ล.)	2,375	1,098	819
ปริมาณน้ำประปาสะสมที่ต้องใช้จริง (ล.)	195	177.5	83



รูป 4.29 ปริมาณน้ำสะสมต่าง ๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 5 (กก.VS/ม.³-วัน)



รูป 4.30 ปริมาณน้ำสะสมต่าง ๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 15 (กก.VS/ม.³-วัน)



รูป 4.31 ปริมาณน้ำสะสมต่าง ๆ ที่อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ถึงสร้างกรด 25 (กก.VS/ม.³-วัน)

4.2.11 ตะกอนแห้ง และองค์ประกอบของตะกอนแห้ง

ปริมาณตะกอนแห้งที่ได้ทั้ง 3 การทดลองมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 0.22 0.27 และ 0.24 กก./กก.มูลฝอยเปียก ตามลำดับดังตารางที่ 4.11 ในการศึกษาตะกอนแห้งที่ได้จากลานตากตะกอนปริมาณตะกอนแห้งที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้เนื่องจากมีการปนเปื้อนจากปริมาณทรายที่ผิวหน้าของลานตากตะกอน

องค์ประกอบของตะกอนแห้ง จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตะกอนแห้งเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของแต่ละการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.27 1.90 และ 2.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับดังตารางที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตะกอนแห้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละที่สภาวะคงตัวคือ 0.40 0.90 และ 0.75 ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 4.11 ค่าของแฉะทั้งหมดของตะกอนแห้งที่ได้จากการทดลองมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 51.02 32.33 และ 35.78 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของแฉะระเหยของตะกอนแห้งมีค่าเฉลี่ยคือ 65.74 73.86 และ 70.31 เปอร์เซ็นต์ของของแฉะทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งค่าของแฉะระเหยของตะกอนแห้งมีค่าสูงอยู่หลังจาก ผ่านกระบวนการหมักแล้วซึ่งของแฉะระเหยของตะกอนแห้ง คือเซลล์ของจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากการย่อยสลายลักษณะของตะกอนแห้งที่ได้จากการทดลอง มีลักษณะเป็นเส้นใยของมูลฝอยหลังจากเกิดการย่อยสลายแล้วมีขนาดเล็กกลวงและเมื่อแห้งแล้วมีสีน้ำตาล ไม่มีกลิ่นเหม็นและจับตัวกันเป็นก้อน

การนำตะกอนแห้งที่ได้จากการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงดิน เมื่อพิจารณาค่าเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสกับคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักที่ทางกองอนุรักษ์ดินและน้ำ

กรมพัฒนาที่ดิน (2537) มีค่าไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.0 ± 0.37 และฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.35 ± 0.26 พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดของตะกอนแห้งที่ได้จากการทดลองมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักสูงกว่าเกณฑ์การสำรวจดังกล่าว แสดงว่ามูลฝอยที่ได้หลังจากการทดลองสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินได้

ตาราง 4.11 ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของตะกอนแห้ง

ลักษณะสมบัติ	อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ตั้งสร้างกรด (กก.VS/ม. ³ -วัน)		
	5	15	25
ปริมาณตะกอนแห้ง (กก./วัน)	1.16	1.40	1.26
อัตราการเกิดตะกอนแห้ง (กก./กก.มูลฝอยเปียก)	0.22	0.27	0.24
ไนโตรเจนทั้งหมดของตะกอนแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	2.27	1.90	2.46
ฟอสฟอรัสของตะกอนแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	0.4	0.90	0.75
ของแข็งทั้งหมดของตะกอนแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	51.02	32.33	35.78
ของแข็งระเหยของตะกอนแห้ง (เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมด)	65.74	73.86	70.31