

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลทำที่ห้องปฏิบัติการ ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

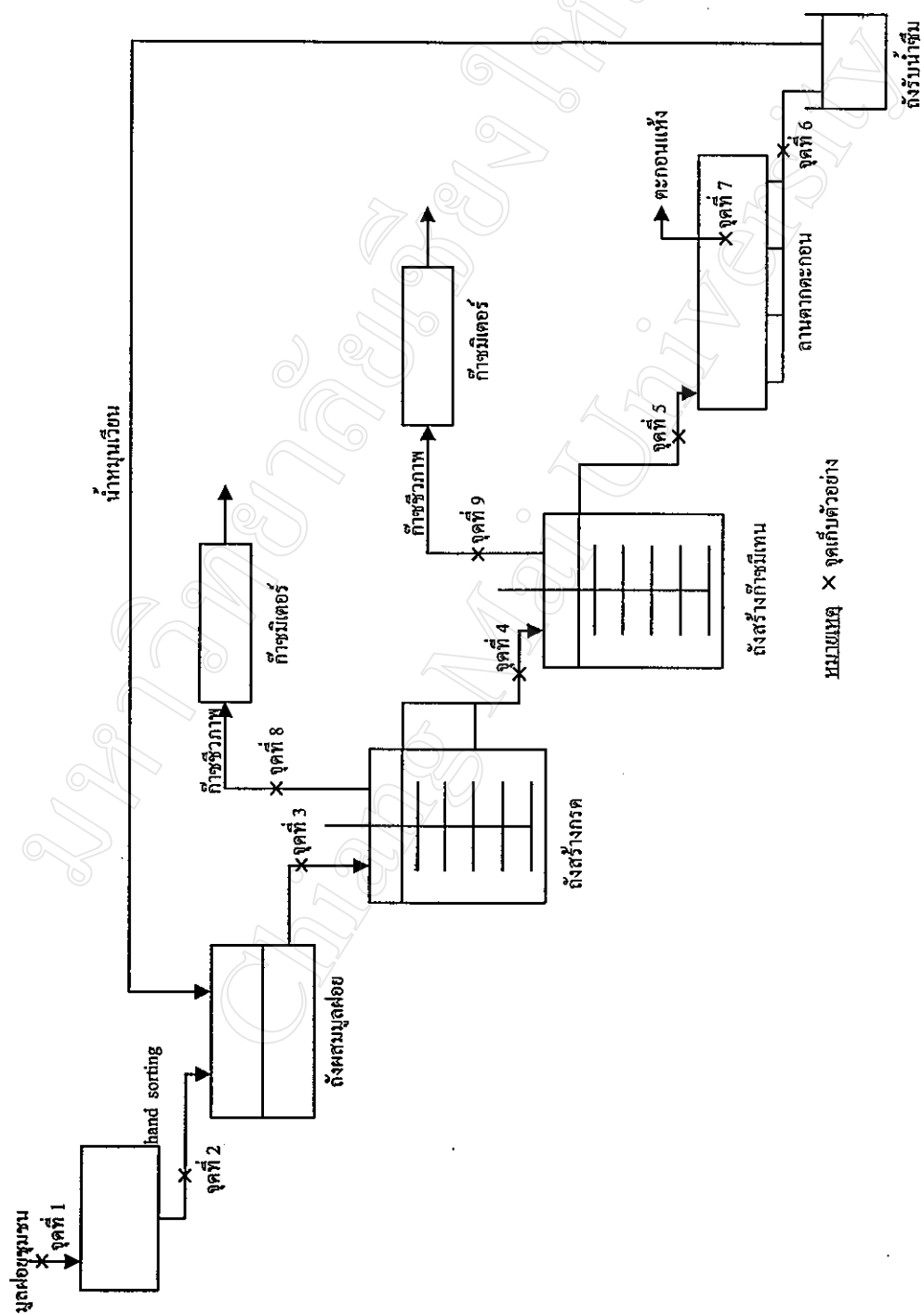
แบบจำลองของการดำเนินการวิจัยในการหมักมูลฝอยแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิด 2 ขั้นตอนนี้มี แผนภูมิการทำงานดังรูป 3.1 และมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ถังผสมมูลฝอย เป็นถังพลาสติกสีดำขนาด 50 แกลลอนที่ก้นถังเจาะรูเพื่อประกอบท่อ ขนาด 1.5" และวาล์วสำหรับป้อนมูลฝอยที่ผ่านการผสมกับน้ำทิ้งแล้ว ก่อนเข้าสู่ถังสร้างกรดโดยมีการ เชื่อมท่อเพิ่ม ขนาด 2" กับถังสร้างกรด

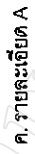
3.1.2 ถังสร้างกรด เป็นถังทรงกระบอกทำด้วยเหล็กแผ่นทาสีกันสนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 เมตรสูง 0.75 เมตร มีปริมาตรใช้งานจริง 250 ลิตรและมีท่อออกจากถังสร้างกรดขนาด 2" 3 ระดับ เพื่อปรับปริมาตรการใช้งานได้ในแต่ละการทดลอง มีใบพัดกวนสารภายในถังเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.36 เมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าและมีโซ่เป็นตัวขับเคลื่อนจำนวน 1 ชุด ซึ่งแสดงดังรูป 3.2-3.3

3.1.3 ถังสร้างก๊าซมีเทน เป็นถังทรงกระบอกทำด้วยเหล็กแผ่นทาสีกันสนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 เมตรสูง 0.75 เมตร มีปริมาตรใช้งานจริง 250 ลิตรและมีท่อขนาด 2" 2 ระดับเพื่อปรับปริมาตร การใช้งานได้ มีใบพัดกวนสารภายในถังเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.36 เมตรโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าและมีโซ่เป็นตัวขับเคลื่อนจำนวน 1 ชุด โดยท่อที่ออกจากถังสร้างกรดมาสู่ถังสร้างก๊าซมีเทนจะทำการต่อ เชื่อมและเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยอาศัยระดับท่อทางออกของถังสร้างกรดที่ระดับต่าง ๆ กันด้วยท่อ พีวีซี ขนาด 2" แสดงดังในรูป 3.2-3.3

3.1.4 ลานตากตะกอน ทำด้วยแผ่นสังกะสีทรงสี่เหลี่ยมกว้าง 0.3 เมตรยาว 1.0 เมตรสูง 0.8 เมตรมีท่อระบายน้ำที่ก้นถังเป็นท่อพีวีซีขนาด 2" เจาะรูเพื่อระบายน้ำออก ภายในลานตากตะกอนบรรจุ กรวด 0.1 เมตรและทรายสูง 0.4 เมตรจำนวน 7 ชุดต่อกัน ชุดรับน้ำจากการกรองเป็นท่อร่วมและต่อสาย ยางขนาด 0.5" ไปยังถังเก็บน้ำที่ผ่านการกรองแล้วแสดงดังในรูป 3.4



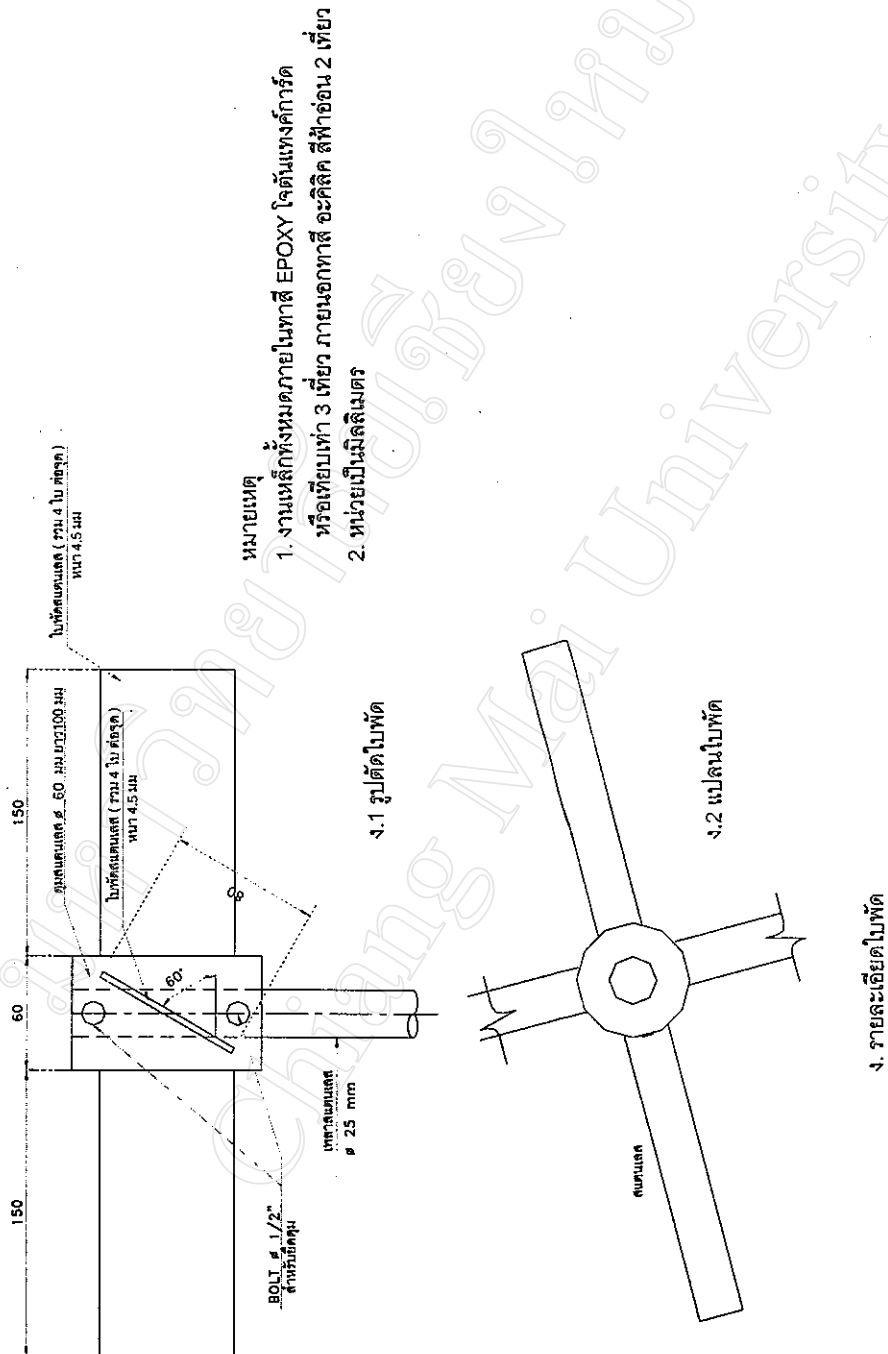
รูป 3.1 ๗ โต๊ะแถมการดำเนินการวิจัยการหมักกล้วยแบบไร้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน



1. ความเร็วรอบจากเกียร์ทด = 72.5 rpm
2. ความเร็วรอบใบพัดภายในถัง 1 ถึง 2 = 36.2 rpm
3. หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ข. รูปตัดด้านขวาง

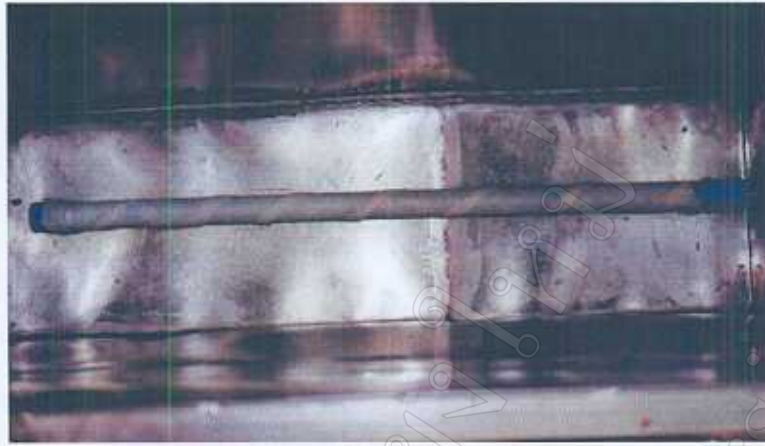
รูป 3.2 แบบผังสร้างกรดและถึงสร้างกษมทน (ต่อ)



รูป 3.2 แบบร่างสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน (ต่อ)



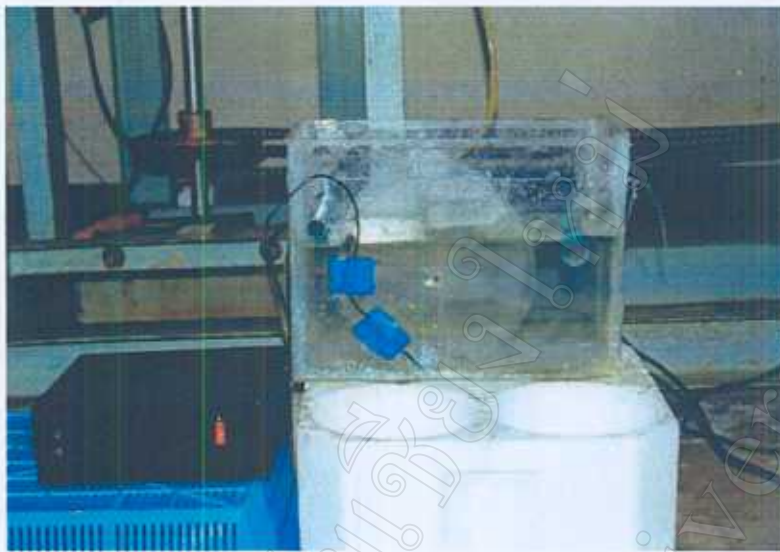
รูป 3.3 รูปถ่ายแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา



รูป 3.4 ท่อรับน้ำซึมภายในลานตากตะกอน



รูป 3.5 ถังรับน้ำซึมจากลานตากตะกอน



รูป 3.6 ก๊าซมิเตอร์

3.1.5 ถังรองรับน้ำซึมเป็นถังพลาสติกขนาด 20 ล. จำนวน 3 ถังตั้งอยู่ระดับต่ำกว่าท่อทางออกของน้ำซึมที่ผ่านลานตากตะกอนดังรูป 3.5 และถังเก็บน้ำสำรองขนาด 120 ล. จำนวน 1 ถัง

3.1.6 ก๊าซมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพใช้แบบวงจรมัดจำนวนรอบ โดยต่อกับตัววัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำในแต่ละส่วนของวงล้อ เพื่อทำการวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันดังรูป 3.6

3.2 มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษา

มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษานำมาจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยเทศบาลเมืองนครเชียงใหม่ ตั้งอยู่ที่บริษัทนัมซีเส็ง จำกัด ถนนเชียงใหม่-ลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำมูลฝอยที่ได้นำมาทำการคัดแยกเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจำพวก เศษอาหาร ใบไม้ เศษผักผลไม้ เศษกระดาษ ทำการบดมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกแล้วด้วยเครื่องบดให้มีขนาดประมาณ 1" แสดงดังรูป 3.7 จากนั้นทำการชั่งมูลฝอยแบ่งใส่ถุง ๆ ละ 5.22 กก. เพื่อไว้ใช้ป้อนมูลฝอยเข้าสู่ระบบในแต่ละวันซึ่งมูลฝอยที่ชั่งแล้วจะนำไปเก็บรักษาไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ (0-4 °ซ) ก่อนนำไปใช้งาน การป้อนมูลฝอยจะนำไปผสมกับน้ำซึมเพื่อให้มีค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ประมาณ 5% ก่อนที่จะทำการป้อนเข้าสู่ถัง

ปฏิกิริยา ตาราง 3.1 แสดงลักษณะของมูลฝอยของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเทศบาลเมืองนครเชียงใหม่ก่อนทำการแยก และลักษณะสมบัติของส่วนที่เป็นสารอินทรีย์หลังจากทำการแยกส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ออกแล้ว

ตาราง 3.1 ลักษณะมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายเทศบาลเมืองนครเชียงใหม่

ลักษณะ	พืดยก่อนแยก**	พืดยหลังแยก***
สารอินทรีย์ (ร้อยละของนน.มูลฝอย)	-	36-50
สารอินทรีย์ (ร้อยละของนน.มูลฝอย)	-	41-58
ความชื้น (ร้อยละของนน.มูลฝอย)	49-60	66-71
ของแข็งทั้งหมด (TS) (ร้อยละของนน.มูลฝอย)	35-51	29-33
ของแข็งระเหย (VS) (ร้อยละของนน.มูลฝอย)*	70-82	78-85
ของแข็งระเหย (VS) (ร้อยละของ TS)*	30-35	23-26
ซีเถ้า (ร้อยละของนน.มูลฝอย)	18-24	15-20

หมายเหตุ : * ปริมาณ VS ของมูลฝอยก่อนแยกและหลังแยก มีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากเครื่องบดมีขีดจำกัดการบดคือ ไม่สามารถบดเศษ แก้ว เหล็ก พลาสติกให้มีขนาดเล็กลงได้

** พืดยก่อนแยกคือ ค่าที่ได้จากมูลฝอยทั้งหมดที่นำมาจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยเทศบาลนครเชียงใหม่โดยมิได้ทำการแยก

*** ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มูลฝอยในส่วนของสารอินทรีย์ที่ผ่านการแยกแล้ว



รูป 3.7 มูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง



รูป 3.7 มูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

3.3 การดำเนินการศึกษา

3.3.1 การเริ่มต้นระบบ

ทำการเริ่มต้นระบบโดยใช้ตะกอนหัวเชื้อจากถังหมักตะกอนแบบไร้ออกซิเจนของโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของของแข็งระเหยเท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์ มาเติมในถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5000 มก. VS/ลิตรโดยใช้ตะกอนหัวเชื้อปริมาณ 66 ลิตร ในดังปฏิกิริยาทั้งสองจากนั้นนำมูลฝอยที่ทำการเตรียมไว้แล้ว 2.0 กก. ผสมน้ำประปา 20 ลิตรป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรดโดยทำการป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรดทุกวันจนได้ปริมาณตามที่ต้องการจึงเริ่มทำการทดลองที่ 1 โดยทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ถังสร้างกรดที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก. VS/(ม.³-วัน)

3.3.2 การดำเนินการศึกษา

หลังจากได้ทำการปรับสภาพให้แก่ตะกอน โดยสังเกตได้จากค่าพีเอช และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้เริ่มเกิดขึ้นบ้างแล้วจึงทำการทดลอง โดยการทดลองมีทั้งหมด 3 ชุด ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ในถังสร้างกรด 3 ค่าคือ 5 15 และ 25 กก. VS/(ม.³-วัน) โดยทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ถังสร้างกรดเท่ากับ 5.22 กก. น้ำหนักเปียก/วัน นำมาผสมน้ำประมาณ 13 ลิตร เพื่อให้มูลฝอยที่ทำการป้อนมีค่าของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 ในการทดลองทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ระบบแบบ

Semi-batch คือทำการป้อนมูลฝอยเข้าระบบเป็นครั้งคราวคือ 1 ครั้งต่อวัน ส่วนในการทดลองที่ 2 และ 3 ใช้ปริมาณมูลฝอยเท่ากับการทดลองที่ 1 แต่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรใช้งานของถังสร้างกรดเป็น 83.3 และ 50 ลิตรเพื่อปรับให้มีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสร้างกรดเท่ากับ 15 และ 25 กก.VS/(ม.³-วัน) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3.2 สำหรับถังสร้างก๊าซมีเทนให้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าถังสร้างก๊าซมีเทนมีค่าคงที่คือ 5 กก.VS/(ม.³-วัน) โดยมีปริมาตรของถังที่ใช้งานจริงเท่ากับ 250 ลิตรดังแสดงในตาราง 3.3 การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้กระทำภายใต้อุณหภูมิและบรรยากาศของห้องปฏิบัติการใช้เวลาเริ่มต้นระบบทั้งสิ้น 335 วัน โดยระหว่างการทำการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างเพื่อรวบรวมข้อมูลปริมาณและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน รวมทั้งลักษณะของมูลฝอยภายในระบบ แต่ละชุดการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว รายละเอียดการทดลองเป็นไปตามตาราง 3.4

ตาราง 3.2 สภาวะการดำเนินการศึกษาในถังสร้างกรด

การทดลอง ที่	วันที่	อัตราการบรรทุกสาร อินทรีย์ * กก.VS/(ม. ³ -วัน)	ปริมาณมูลฝอย ที่เติม* (กก./วัน)	ปริมาณน้ำที่เติม (ล./วัน)	ปริมาตรน้ำและ มูลฝอย (ล./วัน)	ปริมาตรถัง (ล.)
1	1-121	5	5.22	13	23.2	250
2	122-206	15	5.22	13	23.2	83.3
3	207-269	25	5.22	13	23.2	50

ตาราง 3.3 สภาวะการดำเนินการศึกษาในถังสร้างก๊าซมีเทน

การทดลอง ที่	วันที่	อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์** กก.VS/(ม. ³ -วัน)	ปริมาตรถัง (ล.)	อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์รวม ของระบบหมัก 2 ถัง กก.VS/(ม. ³ -วัน)
1	1-121	5	250	2.5
2	122-206	5	250	3.8
3	207-269	5	250	4.2

หมายเหตุ : * องค์ประกอบมูลฝอยโดยประมาณ ความชื้น 68%, TS 31%, VS 24%, องค์ประกอบที่ย่อย

สลายได้ทางชีวภาพ 60%, ความถ่วงจำเพาะ 224 กก./ม³

** คัดจากค่ามูลฝอยที่เข้าถังสร้างกรด

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างมูลฝอยและน้ำภายในถังปฏิบัติการและก๊าซในการทดลองนี้ใช้การเก็บแบบจ้วง (Grab Sample) โดยทำการเก็บตัวอย่างตามลำดับดังนี้คือ มูลฝอยภายในถังสร้างกรดโดยเก็บที่ท่อทางออกของถังสร้างกรด มูลฝอยภายในถังสร้างก๊าซมีเทนโดยเก็บที่ท่อทางออกของถังสร้างก๊าซมีเทนและน้ำซึมจากลานตากทรายโดยเก็บที่ถังรับน้ำซึมจากลานตากทราย มูลฝอยก่อนทำการป้อนภายในถังผสม มูลฝอย ปริมาณตัวอย่างที่เก็บในแต่ละครั้งประมาณ 500 มิลลิตร ส่วนตัวอย่างที่เป็นก๊าซทำการเก็บตัวอย่างก๊าซจากสายยางที่ต่อระหว่างถังปฏิบัติการกับก๊าซมิเตอร์โดยใช้กระบอกฉีดยา และทำการเก็บตัวอย่างก๊าซก่อนทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่ระบบ ลักษณะสมบัติของตัวอย่างที่วิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ สภาพต่างทั้งหมด พีเอช อุณหภูมิ กระแสไหลง่าย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย เจคาห์ลไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ปริมาณน้ำซึม ปริมาณน้ำหมุนเวียน ปริมาณตะกอนแห้ง ตำแหน่งและความถี่ของการเก็บตัวอย่างแสดงดังตาราง 3.4 และรูป 3.1 ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods (APHA, AWWA and WPCF, 1995) ยกเว้นกระแสไหลง่ายและสภาพต่างทั้งหมด จะใช้วิธีวิเคราะห์ของ Dilallo and Albertson, 1960 โดยวิธีวิเคราะห์เป็นไปตามตาราง 3.5

ตาราง 3.4 รายละเอียดของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ลักษณะสมบัติ	ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่	
		ก่อนเข้าสู่ภาวะคงตัว	หลังเข้าสู่ภาวะคงตัว
สภาพล่างทั้งหมด	3-6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
พีเอช	3-6	ทุกวัน	ทุกวัน
อุณหภูมิ	3-6	ทุกวัน	ทุกวัน
กรดระเหยง่าย	3-6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
ของแข็งทั้งหมด	3-6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
	7	1 ครั้ง/สัปดาห์	1 ครั้ง/สัปดาห์
ของแข็งระเหย	3-6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
	7	1 ครั้ง/สัปดาห์	1 ครั้ง/สัปดาห์
ซีโอดีทั้งหมด	6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
ซีโอดีละลายน้ำ	6	2 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
บีโอดี	6	1 ครั้ง/สัปดาห์	1 ครั้ง/สัปดาห์
แอมโมเนีย	3-6	2 ครั้ง/เดือน	2 ครั้ง/เดือน
เจคาร์ลไนโตรเจน	3-7	2 ครั้ง/เดือน	2 ครั้ง/เดือน
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	3-7	2 ครั้ง/เดือน	2 ครั้ง/เดือน
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	8-9	ทุกวัน	ทุกวัน
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	8-9	1 ครั้ง/สัปดาห์	วันเว้นวัน
ปริมาณน้ำทิ้ง	6	ทุกวัน	ทุกวัน
ปริมาณน้ำหมุนเวียน	6	ทุกวัน	ทุกวัน
ปริมาณตะกอนแห้ง	7	ทุกวัน	ทุกวัน

หมายเหตุ : 1) หลังจากกระบวนเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วจะทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ อีกประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงทำการเปลี่ยน

การทดลอง

2) จุดเก็บตัวอย่าง ตำแหน่งที่ 1 และ 2 จะทำการวิเคราะห์เป็นครั้งคราว

ตาราง 3.5 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ก) มูลฝอยก่อนเข้าและตะกอนแห้ง ความชื้น องค์ประกอบมูลฝอย ปริมาณแฉะและปริมาณของแข็ง ระเหย ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ในรูป ของมูลฝอย) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณตะกอนแห้ง	อบในเตาอบ 90 ± 5 °C เวลา 5 วัน แยกองค์ประกอบหลังจากผ่านการแยกและชั่ง น้ำหนัก บดมูลฝอยรวมให้มีขนาด 1 มม. อบในตู้อบ 100°C 2 ชม. และนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 600-650°C 2 ชม. นน. ที่หายไปคือ Volatile Solid & น้ำหนักที่เหลืออยู่คือ Ash มูลฝอยนำมาอบในเตาอบที่ 90 ± 5 °C เวลา 5 วัน Kjeldahl Method Acid Digestion and Ascorbic Acid โดยการวัดดวง	CMU and JICA (1992) CMU and JICA (1992) CMU and JICA (1992) CMU and JICA (1992) Black (1965) Black (1965)
ข) มูลฝอยในระบบ กรดระเหยง่าย ปริมาณของแข็งระเหย ของแข็งทั้งหมด ซีโอไลต์ทั้งหมด ซีโอไลต์ละลายน้ำ สภาพค่างทั้งหมด เจดาร์ลไนโตรเจน แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสทั้งหมด พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณน้ำซึมจากลานตากตะกอน ปริมาณน้ำหนุณเวียน	Titration Method Gravimetric method Gravimetric method Dicromate reflux Dicromate reflux Alkaline Titration Kjeldahl Distillation and Titration Acid digestion and ascorbic acid pH meter ซีโอดี Horiba รุ่น D-14E pH meter ซีโอดี Horiba รุ่น D-14E โดยการวัดดวง โดยการวัดดวง	Dilallo and Albertson (1960) APHA, AWWA and WPCF (1995) APHA, AWWA and WPCF (1995) APHA, AWWA and WPCF (1995) APHA, AWWA and WPCF (1995) Dilallo and Albertson (1960) APHA, AWWA and WPCF (1995) APHA, AWWA and WPCF (1995) APHA, AWWA and WPCF (1995)
ค) ปริมาณก๊าซ องค์ประกอบของก๊าซ	Gas Meter แบบ Counter Gas Chromatography (TCD detector ซีโอดี SHIMADZU รุ่น GC-8A Column: Molecular Sieve 5A สำหรับวิเคราะห์ H_2 , O_2 , N_2 และ CH_4 ใช้ Column: Porapake O_2 สำหรับวิเคราะห์ CO_2	