

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการของการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการหมักไร้ออกซิเจนแบบลี้ซเบค	4
2.2 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน	4
2.3 ชีวิตเคมีของกระบวนการสร้างมีเทน	11
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย	13
2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้สลายในสภาพไร้ออกซิเจน	14
2.6 รูปแบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน	20
2.6.1 ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า	20
2.6.2 ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว	21
2.7 ก๊าซจากการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน	25
2.8 สัญญาณที่เตือนถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจน	27
2.9 การแบ่งประเภทของระบบหมักมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน	28
2.9.1 การแบ่งเป็นระบบเปียกและแห้ง	28
2.9.2 การแบ่งเป็นระบบการเติมครั้งเดียวหรือระบบต่อเนื่อง	29
2.9.3 ระบบหมักถังเดียวและหลายถัง	29
2.10 ความคล้ายคลึงภาพของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	30

2.11 ข้อดีของการใช้มูลฝอยในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	31
2.12 แบบจำลองของถังย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	31
2.13 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	38
3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา	38
3.2 มูลฝอยที่นำมาใช้ในการศึกษา	38
3.3 การดำเนินการวิจัย	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	50
4.1 การสร้างถังปฏิกรณ์ที่มีสถานะเสถียรในขั้นตอนแรก	50
4.1.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ	50
4.1.2 องค์ประกอบก๊าซและปริมาณก๊าซแต่ละชนิด	52
4.1.3 ลักษณะน้ำชะมูลฝอย	58
4.2 การทดลองย่อยมูลฝอยสดในขั้นตอนที่สอง	63
4.2.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ	63
4.2.2 องค์ประกอบก๊าซและปริมาณก๊าซแต่ละชนิด	65
4.2.3 ลักษณะน้ำชะมูลฝอย	75
4.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย	85
4.4 ลักษณะของมูลฝอยหลังการทดลอง	86
4.4.1 ความชื้น, ปริมาณของแข็งรวม และความหนาแน่นของมูลฝอย	86
4.4.2 Volatile Solid และ Fixed Solid	88
4.4.3 คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	90
4.4.4 ไนโตรเจนทั้งหมด	90
4.4.5 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน	90
4.4.6 ฟอสฟอรัส	91
4.4.7 โปตัสเซียม	91
4.4.8 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ	92
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปผลการศึกษา	93
5.2 ข้อเสนอแนะ สำหรับการศึกษาเพิ่มเติม	96
บรรณานุกรม	97

ภาคผนวก ก ปริมาณก๊าซ (การสร้างถึงปฏิกิริยาที่มีสถานะเสถียร)	101
ภาคผนวก ข องค์ประกอบก๊าซ (การสร้างถึงปฏิกิริยาที่มีสถานะเสถียร)	106
ภาคผนวก ค ปริมาณก๊าซแต่ละชนิด (การสร้างถึงปฏิกิริยาที่มีสถานะเสถียร)	110
ภาคผนวก ง ปริมาณก๊าซมีเทน (การสร้างถึงปฏิกิริยาที่มีสถานะเสถียร)	114
ภาคผนวก จ ลักษณะน้ำชะมูลฝอย (การสร้างถึงปฏิกิริยาที่มีสถานะเสถียร)	117
ภาคผนวก ฉ ปริมาณก๊าซ (ถึงปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยสด)	126
ภาคผนวก ช องค์ประกอบก๊าซ (ถึงปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยสด)	129
ภาคผนวก ซ ปริมาณก๊าซแต่ละชนิด (ถึงปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยสด)	131
ภาคผนวก ฌ ปริมาณก๊าซมีเทน (ถึงปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยสด)	133
ภาคผนวก ฎ ลักษณะน้ำชะมูลฝอย (ถึงปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยสด)	136
ประวัติผู้เขียน	143

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ชนิดของแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนที่พบในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน	8
2.2 ชนิดแบคทีเรียที่เป็นเชื้อพันธุ์บริสุทธิ์	9
2.3 อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบบางประเภท	15
2.4 ปริมาณสารพิษและโลหะหนักที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน	18
2.5 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน	25
2.6 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน	25
2.7 ปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากสารอินทรีย์ของวัสดุต่าง ๆ	26
3.1 รายละเอียดการดำเนินการทดลองในขั้นตอนการสร้างถังปฏิกรณ์ที่มีสถานะเสถียร	45
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	47
3.3 รายละเอียดของเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง	48
3.4 วิธีการวิเคราะห์	49
4.1 ค่าเฉลี่ยของซีไอดีและความเป็นกรดระเหยเมื่อเข้าสู่สถานะเสถียร	62
4.2 ลักษณะของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง	63
4.3 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนและอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์	72
4.4 อัตราเฉลี่ยการเกิดก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาการทดลอง 30, 45 และ 60 วัน	73
4.5 ค่าเริ่มต้น ค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยเมื่อเข้าสู่สถานะเสถียรของพารามิเตอร์ต่าง ๆ	79
4.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย	85
4.7 การเปลี่ยนแปลงมวลของมูลฝอยก่อนและหลังการหมัก	86
4.8 ร้อยละ Volatile Solid, Fixed Solid และคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	88
4.9 การเปลี่ยนแปลงของมวล Volatile Solid, Fixed Solid และคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์หลังการหมัก	89
4.10 ธาตุอาหารหลักและความสามารถในการแลกเปลี่ยนออสโมติก	91
4.11 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน	91

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ไคอะแกรมของระบบ Leach Bed Anaerobic Digestion	5
2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจน	10
2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์	12
2.5 ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และความเป็นด่างของถังหมักไร้ออกซิเจน	17
2.6 ผลของพีเอชต่อการเกิดก๊าซ	17
2.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์	18
2.8 ก. ถังหมักแบบลูกลอย ข. ถังหมักแบบโคลนคงที่	22
2.9 ระบบ Anaerobic Contact Process	23
2.10 ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket	24
2.11 ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบ Anaerobic Filter Digester	25
2.12 ถังปฏิกิริยาแบบเท	31
3.1 หน้าตัดของถังจำลองที่จะใช้ในการศึกษา	39
3.2 รายละเอียดของท่อหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย	40
3.3 ถังจำลองที่ใช้ในการศึกษา	41
3.4 แผ่นพีวีซีเจาะรู	41
3.5 ท่อเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย	42
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาตรก๊าซ (แทนที่น้ำ)	42
3.7 การบดมูลฝอยให้มีขนาดเล็ก	43
3.8 มูลฝอยที่ผ่านการบดให้เป็นชิ้นเล็กแล้ว	43
3.9 ไคอะแกรมการทดลองการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการหมักไร้ออกซิเจนแบบถัษเบด	46
4.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน	51
4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม	51

รูป	หน้า
4.3 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ ST 1-1	53
4.4 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ ST 1-2	53
4.5 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ ST 1-3	54
4.6 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ ST 1-4	54
4.7 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ ST 1-1	55
4.8 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ ST 1-2	55
4.9 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ ST 1-3	56
4.10 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ ST 1-4	56
4.11 ปริมาณก๊าซมีเทน	57
4.12 พีเอชของน้ำชะมูลฝอย	58
4.13 ความเป็นด่างรวมของน้ำชะมูลฝอย	61
4.14 ความเป็นกรดระเหยง่าย	61
4.15 ซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย	61
4.16 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน	64
4.17 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม	64
4.18 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ FR 2-1 (5)	66
4.19 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ FR 2-2 (10)	66
4.20 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ FR 2-3 (20)	67
4.21 องค์ประกอบก๊าซจากถังปฏิกรณ์ FR 2-4 (30)	67
4.22 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ FR 2-1 (5)	68
4.23 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ FR 2-2 (10)	68
4.24 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ FR 2-3 (20)	69
4.25 ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดจากถังปฏิกรณ์ FR 2-4 (30)	69
4.26 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน	71
4.27 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม	71
4.28 อัตราเฉลี่ยการเกิดก๊าซมีเทนที่อัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่าง ๆ	74
4.29 อัตราเฉลี่ยการเกิดก๊าซมีเทนที่อัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่าง ๆ	74
4.30 พีเอชของน้ำชะมูลฝอย	75

รูป	หน้า
4.31 ความเป็นค่ารวมของน้ำชะมูลฝอย	77
4.32 ความเป็นกรดระเหยง่ายน้ำชะมูลฝอย	77
4.33 ซีไอดีของน้ำชะมูลฝอย	80
4.34 บีไอดีของน้ำชะมูลฝอย	80
4.35 อัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดี	81
4.36 ไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกิริยา FR 2-1 (5)	83
4.37 ไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกิริยา FR 2-2 (10)	83
4.38 ไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกิริยา FR 2-3 (20)	84
4.39 ไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอยจากถังปฏิกิริยา FR 2-4 (30)	84
4.40 ลักษณะของมูลฝอยเมื่อนำออกจากถังปฏิกิริยา	87
4.41 ร้อยละมวลมูลฝอยแห้ง, Volatile Solid และคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ที่ลดลง	89

อักษรย่อ

กก.	กิโลกรัม
ก./ล.	กรัมต่อลิตร
กก./ลบ.ม.	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ซม.	เซนติเมตร
มก./ล	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./ล CaCO ₃	มิลลิกรัมต่อลิตร calcium carbonate
มม.	มิลลิเมตร
ล./กก.	ลิตรต่อกิโลกรัม
CEC	Cation Exchange Capacity
CH ₄	Methane gas
cm.	centimeter
CO ₂	Carbondioxide gas
g/kg dry wt.	Gram per kilogram dry weight
K	Potassium
kg/m ³	kilogram per cubic metre
l	litre
l/d	litre per day
N	Nitrogen
N ₂	Nitrogen gas
NH ₃ -N	Ammonia Nitrogen
O ₂	Oxygen gas
Org-N	Organic Nitrogen
P	Phosphorus