สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับองค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ	5
2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ	9
2.3 เทคโนโลยีการหมักร่วม	15
2.4 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	16
2.5 วิธีทำงานของระบบย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ	28
2.6 แบบจำลองของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ในการวิจัย	29
2.7 ระบบเก็บกักก๊าซชีวภาพ	31
2.8 ข้อดีของระบบการย่อยลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	31
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	36
3.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุหมัก	36
3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุดิบเบื้องต้น	38
3.3 การทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วม	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	63
4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบใบยางพาราและมูลสุกร	63
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบใบยางพาราและมูลสุกร	63
4.3 ผลการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการแบบแบทช์	64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยชุดการทดลองขนาดห้องปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่อง 72

4.5 ผลการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบแบบกึ่งต่อเนื่อง 77

4.6 โมเดลต้นแบบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานระดับครัวเรือน 85

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 88

5.1 สรุปผลการทดลอง 88

5.2 ข้อเสนอแนะ 89

เอกสารอ้างอิง 90

ภาคผนวก 98

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ 98

ภาคผนวก ข วิธีคำนวณ 108

ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์ 112

ประวัติผู้เขียน 119

รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2-1	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	5
ตารางที่ 2-2	คุณสมบัติก๊าซชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	7
ตารางที่ 2-3	ตารางเปรียบเทียบผลตอบแทนก๊าซชีวภาพแต่ละวิธี	7
ตารางที่ 2-4	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน	8
ตารางที่ 2-5	แสดงข้อดีและข้อจำกัดของการหมักร่วมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ	15
ตารางที่ 2-6	องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการหมักในสภาวะไร้อากาศ	16
ตารางที่ 2-7	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน	20
ตารางที่ 2-8	ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์	20
ตารางที่ 2-9	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง	21
ตารางที่ 2-10	ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็นปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็นต่อการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ	21
ตารางที่ 2-11	ความเข้มข้นกระตุ้นและยับยั้งของไอออนประจุบวกของโลหะเบา	22
ตารางที่ 2-12	ระดับความเป็นพิษของโลหะหนักในการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน	24
ตารางที่ 3-1	แสดงการกระจายขนาดของใบยางพาราหลังการบด	37
ตารางที่ 3-2	วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะวัสดุหมักชนิดมูลสุกรและใบยางพารา	38
ตารางที่ 3-3	แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	45
ตารางที่ 3-4	แสดงการออกแบบการทดลองชุดผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ	46
ตารางที่ 3-5	ชุดการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	53
ตารางที่ 3-6	การออกแบบการทดลองศึกษาผลของสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	54

รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 3-7	ชุดการทดลองศึกษาปริมาณวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	55
ตารางที่ 3-8	ชุดการทดลองสัดส่วนวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	56
ตารางที่ 3-9	ชุดการทดลองผลของปริมาณ TS ของวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	56
ตารางที่ 4-1	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างใบยางพาราและมูลสุกร	64
ตารางที่ 4-2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างหลังสิ้นสุดการทดลองสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระบบแบบแบทช์ระหว่างใบยางพาราและมูลสุกรในสภาวะต่างๆ	66
ตารางที่ 4-3	แสดงผลของขนาดใบยางพาราต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในการหมักร่วม	70
ตารางที่ 4-4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างหลังสิ้นสุดการทดลองเพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราในสภาวะต่างๆ	73
ตารางที่ 4-5	การป้อนวัตถุดิบสำหรับถังหมักระดับครัวเรือน	85
ตารางที่ 4-6	ข้อมูลของตัวแปรที่ใช้สำหรับสมการการประเมินกำลังการผลิตก๊าซชีวภาพ	86
ตารางที่ 4-7	ข้อมูลทางสถิติสำหรับสมการประเมินกำลังการผลิตก๊าซชีวภาพ	87

รายการภาพประกอบ

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2-1	กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ	10
ภาพประกอบที่ 2-2	ขั้นตอนและร้อยละของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	14
ภาพประกอบที่ 2-3	ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง	29
ภาพประกอบที่ 3-1	ลักษณะมูลสุกรที่ใช้ในการทดลอง	36
ภาพประกอบที่ 3-2	ลักษณะใบยางพาราก่อนการบด (ก) และลักษณะใบยางพาราหลังผ่านการบด (ข)	37
ภาพประกอบที่ 3-3	ไดอะแกรมชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	40
ภาพประกอบที่ 3-4	ชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	40
ภาพประกอบที่ 3-5	ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	41
ภาพประกอบที่ 3-6	ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	42
ภาพประกอบที่ 3-7	ไดอะแกรมชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	43
ภาพประกอบที่ 3-8	ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์	43
ภาพประกอบที่ 3-9	ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่อง	48
ภาพประกอบที่ 3-10	ชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่อง	48
ภาพประกอบที่ 3-11	ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	49
ภาพประกอบที่ 3-12	ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3-13	ไดอะแกรมของชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	51
ภาพประกอบที่ 3-14	ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	51
ภาพประกอบที่ 3-15	ไดอะแกรมชุดการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบแบบระบบกึ่งต่อเนื่อง	57
ภาพประกอบที่ 3-16	ชุดการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	58
ภาพประกอบที่ 3-17	ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	59
ภาพประกอบที่ 3-18	ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	59
ภาพประกอบที่ 3-19	ไดอะแกรมชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	60
ภาพประกอบที่ 3-20	ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	61
ภาพประกอบที่ 4-1	ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระบบแบบแบทช์ระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา	65
ภาพประกอบที่ 4-2	แสดงผลของอัตราส่วนของใบยางพาราในวัตถุดิบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมในระบบแบบแบทช์ที่ TS 16%	67
ภาพประกอบที่ 4-3	แสดงผลของร้อยละความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด (% TS) ในวัตถุดิบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมด้วยระบบแบบแบทช์ระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่อัตราส่วนระหว่างมูลสุกรกับใบยางพารา 50:50	69

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 4-4	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมด้วยระบบแบบแบทช์ที่ TS 16%	70
ภาพประกอบที่ 4-5	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	78
ภาพประกอบที่ 4-6	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	78
ภาพประกอบที่ 4-7	ปริมาณก๊าซมีเทนในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	79
ภาพประกอบที่ 4-8	ค่า pH ในระบบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	80
ภาพประกอบที่ 4-9	กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	81
ภาพประกอบที่ 4-10	สภาพด่างในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	82
ภาพประกอบที่ 4-11	อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพด่างในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	83
ภาพประกอบที่ 4-12	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	84
ภาพประกอบที่ 4-13	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	84