สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางภาคผนวก	(14)
รายการภาพประกอบ	(19)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(23)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	35
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	35
1.5 ขอบเขตการวิจัย	35
2 วิธีการวิจัย	36
2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	36
2.1.1 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	36
2.1.2 การเริ่มต้นระบบ (Start-up)	36
2.1.3 สภาวะการทดลองที่ศึกษา	36
2.1.3.1 สภาวะการทำงานของระบบ ASBR ทั้ง 2 ชุดการทดลอง	36
2.1.3.2 ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ทั้ง 2 ชุดการทดลอง	40
2.1.4 การศึกษาก๊าซชีวภาพ	41
2.1.5 ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ	41
2.1.6 ความถี่การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบบำบัด ASBR	44
2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	44
2.3 วัสดุ	45
2.4 อุปกรณ์	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	47
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	47
3.2 ผลการทดลองของระบบบำบัด ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ	48
3.2.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นระบบ (Start-up)	48
3.2.2 ผลการทดลองของระบบ ASBR แบบ Thermophilic และ Mesophilic ภายใต้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ (Organic Loading Rate)	52
3.2.2.1 การทดลองที่ 1 ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว	52
3.2.2.2 การทดลองที่ 2 ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน	84
3.2.3 ตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกิริยา	117
3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอนในรูปแบบของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic	119
3.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso	119
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	122
4.1 บทสรุป	122
4.2 ข้อเสนอแนะ	126
4.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	127
บรรณานุกรม	128
ภาคผนวก	142
ประวัติผู้เขียน	202

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จากหม้อฆ่าเชื้อ จากเครื่อง Decanter หรือ Separator และ จากบ่อรวบรวมน้ำทิ้ง	8
2	คุณลักษณะน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากแหล่งต่างๆ	8
3	การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ	14
4	การบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ด้วยระบบ ASBR	27
5	การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน คือถังผลิตกรดและถังผลิตก๊าซ	30
6	เปรียบเทียบการทำงานของถังหมักไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียผลิตเครื่องดื่มในช่วง Mesophilic ($35^{O}C$)	32
7	เปรียบเทียบการทำงานของถังหมัก UASB แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียกากส่าในช่วง Thermophilic ($55^{O}C$)	33
8	เปรียบเทียบการทำงานของระบบหมัก UASB ขนาดอุตสาหกรรมที่ใช้งานจริงกับ ระบบหมัก UASB ในการบำบัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ	34
9	วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทางเคมี	37
10	วัฏจักรการทดลองของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน	37
11	ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic	40
12	ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR แบบสองขั้นของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic	41
13	ความถี่การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัด ASBR	44
14	ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	47
15	ผลการทดลองในช่วงการเริ่มต้นระบบ (Start-up) จนถึงสภาวะคงตัวของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	51
16	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	53
17	สภาพด่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ ถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	55

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
18 กรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	56
19 ความเข้มสีในน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	60
20 TCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	64
21 SCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	64
22 BOD_5 ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	65
23 SS ในน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	66
24 TKN ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	73
25 NH_4^+-N ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	73
26 TP ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	75
27 Oil and Grease ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอน เดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	79
28 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน	81
29 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการบำบัด น้ำเสียจำลองระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กับค่าทางทฤษฎี	83

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
30	pH ในน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	86
31	สภาพด่างในน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	88
32	กรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	88
33	ความเข้มสีในน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	95
34	TCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	97
35	SCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	97
36	สรุปข้อมูลการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศแบบต่างๆ	98
37	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	99
38	BOD_5 ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	105
39	SS ในน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	106
40	TKN ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	108
41	NH_4^+-N ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	108
42	TP ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	112
43	Oil and Grease ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	114

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
44 อัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน	114
45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic	120
46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso	121

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง Decanter	5
2	การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่อง Separator	6
3	ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน	10
4	การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้อากาศ	14
5	กลไกการทำงานของระบบ ASBR	17
6	อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบไร้อากาศในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic)	20
7	อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบไร้อากาศของสลัดจ์ปฐมภูมิ (Primary sludge)	21
8	จุดเก็บตัวอย่างและผังลำดับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ศึกษา	38
9	ลักษณะของบ่อดักไขมันบ่อที่ 1 ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (1) และจุดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (2)	39
10	แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR ในห้องปฏิบัติการ	42
11	ลักษณะของชุดอุปกรณ์ประกอบของระบบ ASBR ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	43
12	ลักษณะและขนาดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบ (Start-up)	49
13	TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ในช่วงของการเริ่มต้นระบบ (Start-up)	51
14	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	53
15	สภาพด่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยาThermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	55
16	กรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยาThermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	57
17	อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	58
18	ความสามารถในการลดความเข้มสีจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic และที่ถังปฏิกิริยา Mesophilic	61

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
19	ความเข้มสีของน้ำเสียเข้าระบบ (1) และน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกิริยา Thermophilic (2) และถังปฏิกิริยา Mesophilic (3)	61
20	TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	67
21	SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	67
22	ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวตลอดการทดลองของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	68
23	ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวตลอดการทดลองของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	68
24	ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	69
25	ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	69
26	BOD_5 ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	70
27	SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	70
28	TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	77
29	NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	77
30	TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	78

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
31 Oil and Graese ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	78
32 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดแทนที่น้ำจากระบบ ASBR แบบขั้นตอน เดียวของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	82
33 pH น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	91
34 สภาพด่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	91
35 ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	92
36 อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยาThermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	92
37 ความสามารถในการลดความเข้มสีจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	95
38 TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	101
39 SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	101
40 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD จากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ตลอดการทดลองของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	102
41 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD จากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ตลอดการทดลองของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	102
42 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic	103

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
43	ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ ถังปฏิกิริยา Mesophilic	103
44	BOD_5 ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	104
45	SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	104
46	TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	111
47	NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	111
48	TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	112
49	ความเข้มข้นของ Oil and Grease ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	116
50	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ ถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic	116
51	ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถัง ปฏิกิริยา Thermophilic (1) และถังปฏิกิริยา Mesophilic (2) หลังสิ้นสุดการทดลอง	118

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งจากระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว และปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ ในช่วงของการเริ่มต้นระบบ	143
2	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	146
3	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของการทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	149
4	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของการทดลองที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	152
5	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของการทดลองที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	154
6	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของการทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	156
7	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบสองขั้นตอนของการทดลองที่ OLR รวม 2.5 กก./ลบ.ม./วัน โดยถังแรกเป็นถัง Thermophilic และถังที่สองเป็นถัง Mesophilic (Thermo-Meso)	159
8	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบสองขั้นตอนของการทดลองที่ OLR รวม 3.0 กก./ลบ.ม./วัน โดยถังแรกเป็นถัง Thermophilic และถังที่สองเป็นถัง Mesophilic (Thermo-Meso)	161
9	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบสองขั้นตอนของการทดลองที่ OLR รวม 3.5 กก./ลบ.ม./วัน โดยถังแรกเป็นถัง Thermophilic และถังที่สองเป็นถัง Mesophilic (Thermo-Meso)	163
10	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำในระบบบำบัดจำลอง ASBR แบบสองขั้นตอนของการทดลองที่ OLR รวม 3.5 กก./ลบ.ม./วัน โดยเป็นถัง Mesophilic ทั้งสอง (Meso-Meso)	170
11	ช่วงของ BOD_5 และวิธีการเจือจางน้ำ	175
12	การเจือจางของน้ำตัวอย่างในการวิเคราะห์ NH_4^+-N	187

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
13	เปรียบเทียบความเข้มสีของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	189
14	เปรียบเทียบความเข้มสีของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และMesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	189
15	เปรียบเทียบความเข้มสีของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และMesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	189
16	เปรียบเทียบความเข้มสีของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และMesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	190
17	เปรียบเทียบความเข้มสีของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และMesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	190
18	เปรียบเทียบ TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	190
19	เปรียบเทียบ TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	190
20	เปรียบเทียบ TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	191
21	เปรียบเทียบ TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	191
22	เปรียบเทียบ TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	191
23	เปรียบเทียบ SCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	191
24	เปรียบเทียบ SCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	192
25	เปรียบเทียบ SCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	192

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
26	เปรียบเทียบ SCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	192
27	เปรียบเทียบ SCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	192
28	เปรียบเทียบ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	193
29	เปรียบเทียบ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	193
30	เปรียบเทียบ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	193
31	เปรียบเทียบ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	193
32	เปรียบเทียบ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	194
33	เปรียบเทียบ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	194
34	เปรียบเทียบ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	194
35	เปรียบเทียบ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	194
36	เปรียบเทียบ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	195
37	เปรียบเทียบ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	195
38	เปรียบเทียบ TKN ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	195

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
39	เปรียบเทียบ TKN ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	195
40	เปรียบเทียบ TKN ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	196
41	เปรียบเทียบ TKN ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	196
42	เปรียบเทียบ TKN ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	196
43	เปรียบเทียบ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	196
44	เปรียบเทียบ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	197
45	เปรียบเทียบ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	197
46	เปรียบเทียบ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	197
47	เปรียบเทียบ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	197
48	เปรียบเทียบ TP ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	198
49	เปรียบเทียบ TP ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	198
50	เปรียบเทียบ TP ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	198
51	เปรียบเทียบ TP ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	198

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
52	เปรียบเทียบ TP ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	199
53	เปรียบเทียบ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	199
54	เปรียบเทียบ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	199
55	เปรียบเทียบ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	199
56	เปรียบเทียบ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	200
57	เปรียบเทียบ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	200
58	เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน	200
59	เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน	200
60	เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 2.0 กก./ลบ.ม./วัน	201
61	เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน	201
62	เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกิริยา Thermophilic และ Mesophilic ที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน	202

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ASBR = Anaerobic Sequencing Batch Reactor คือ ระบบไร้อากาศที่มีลักษณะเป็นถังเดียว มีการเปิดและปิดเครื่องกวน การย่อยสลาย ตกตะกอนและสูบน้ำเข้า-ออกภายในถังเดียวกัน

ThASBR = Thermophilic ASBR คือ ระบบ ASBR ที่มีการควบคุมอุณหภูมิสูง (55±1 ^{O}C)

MeASBR = Mesophilic ASBR คือ ระบบ ASBR ที่มีการควบคุมอุณหภูมิปานกลาง (35±1 ^{O}C)

Thermo-Meso = Thermophilic ASBR-Mesophilic ASBR ระบบสองขั้นตอนที่ถังปฏิกิริยาแรกเป็น ThASBR และถังปฏิกิริยาที่สองเป็น MeASBR

Meso-Meso = Mesophilic ASBR-Mesophilic ASBR ระบบสองขั้นตอนที่ถังปฏิกิริยาแรกและถังที่สองเป็น MeASBR

OLR = Organic Loading Rate คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน

HRT = Hydraulic Retention Time คือ ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกิริยา

Inf = Influent คือ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

Eff = Effluent คือ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ

MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids คือ ปริมาณหรือความเข้มข้นโดยประมาณของตะกอน จุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา

MLVSS = Mixed Liquor Volatile Suspended Solids คือ ส่วนหนึ่งของ MLSS ที่เป็นอินทรีย์สารมีค่าประมาณ 80-90 % ของ MLSS

TCOD = Total Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ

SCOD = Soluble Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยวิธีทางเคมี

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

BOD_5 = Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ชนิดที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ

SS = Suspended Solids คือ ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

TKN = Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน

NH_4^+-N = Ammonia Nitrogen คือ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

TP = Total Phosphorus คือ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ประกอบด้วย ออโธฟอสเฟต คอนเดนส์ฟอสเฟตและอินทรีย์ฟอสเฟต

VFA = Volatile Fatty Acid คือ กรดอินทรีย์ที่มี C อะตอมไม่เกิน 6 สามารถละลายน้ำได้ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถกลั่นได้ที่ความดันบรรยากาศ

Alk = Alkalinity คือ ความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน ส่วนใหญ่เกิดจากองค์ประกอบของสารละลายคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต

Range = ช่วงของข้อมูลต่ำสุดและสูงสุด

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ย

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลบ.ม./วัน = ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

มก./ล. = มิลลิกรัมต่อลิตร

กก./ลบ.ม./วัน = กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ล./ล./วัน = ลิตรต่อลิตรต่อวัน