

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แก๊สชีวภาพ	4
2.2 การทำความสะอาดและเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพ	8
2.3 สาหร่าย	9
2.3.1 โครงสร้างเซลล์ของสาหร่าย	10
2.3.2 การเคลื่อนไหวของสาหร่าย	10
2.3.3 การสืบพันธุ์ของ <i>Chlorella</i> sp.	10
2.3.4 ธาตุอาหาร และสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย	11
2.4 สภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย	14
2.5 สูตรอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่าย	15
2.6 ระยะของการเจริญเติบโตของสาหร่าย	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17
2.7.1 Superficial gas velocity	18
2.7.2 แรงตึงผิว	18
2.7.3 ความหนืด	18
2.7.4 ขนาดฟองอากาศ	18
2.7.5 Gas Hold Up	18
2.7.6 ผลของการเติมโซเดียมคลอไรด์ในระบบ	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	26
3.1 สถานที่ในการดำเนินการวิจัยก๊าซชีวภาพ	26
3.2 ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3 <i>Chlorella</i> sp. ที่นำมาทดลอง	27
3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.4.1 ระบบการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดย <i>Chlorella</i> sp. ในถัง โฟโตไบโอรีแอคเตอร์	28
3.4.2 ชุดเครื่องมือวัดและบันทึกผลการทดลอง	32
3.5 การทดลองเพื่อหาความสามารถในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ <i>Chlorella</i> sp. ที่สภาวะสมดุลโดยใช้ก๊าซชีวภาพที่กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	35
3.6 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของก๊าซชีวภาพดิบที่มีต่อ <i>Chlorella</i> sp. ในระบบ	36
3.7 การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
3.7.1 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์	38
3.7.2 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของมีเทน	38
3.7.3 การคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย	38
3.7.4 การคำนวณภาระการบรรทุก๊าซคาร์บอน	39
3.7.5 การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของคาร์บอนไดออกไซด์	39
3.7.6 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ของการทดลอง	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
4.1 ผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ <i>Chlorella</i> sp.	42
4.2 การศึกษาความสามารถในการลดคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ก๊าซชีวภาพ ที่ผ่านการลดไฮโดรเจนซัลไฟด์	44
4.2.1 ผลการแปรผันของค่าพีเอช	44
4.2.2 อัตราการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp.	50
4.2.3 ความสามารถในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ	53
4.2.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของคาร์บอนไดออกไซด์	60
4.2.5 ความสามารถในการเพิ่มก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ	68
4.2.6 เปรียบเทียบผลการทดลองของการศึกษาความสามารถในการลด คาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการลดไฮโดรเจน- ซัลไฟด์ เทียบกับงานวิจัยอ้างอิง	74
4.3 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์	76
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการทดลอง	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	85
ก ผลการทดลองในส่วนความเข้มข้นของ <i>Chlorella</i> sp. โดยใช้ก๊าซชีวภาพดิบ	86
ข ผลการทดลองของใช้ก๊าซชีวภาพดิบ	89
ค ผลการทดลองในส่วนของการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp. ใช้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	92
ง ผลการทดลองในส่วนของการปรับปรุงก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์	97
จ ตัวอย่างการคำนวณ	126
ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	4
2.2 ชนิดของก๊าซและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส	7
2.3 ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ยอมรับได้ในการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ	8
2.4 ความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่ยอมรับได้	9
2.5 สูตรอาหารสำหรับสาหร่ายคอลเลเรลาที่เหมาะสม	15
2.6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สาหร่ายเป็นตัวดูดซับ	25
3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง	27
3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ของการทดลอง	41
4.1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการไหลของก๊าซ กรณีที่ระบบมี <i>Chlorella</i> sp กับกรณีที่ระบบมีแต่สารอาหาร	65
4.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น	67
4.3 สรุปผล เปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอ้างอิง	75

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน
2.2	สาหร่ายใน Order Chlorellales
2.3	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก
3.1	ภาพขยายเซลล์ <i>Chlorella</i> sp. ที่ใช้ในการทดลอง
3.2	ห้องเลี้ยงและขยายพันธุ์สาหร่ายพันธุ์เดียว
3.3	ถังโฟโตไบโอรีแอกเตอร์
3.4	แผนผังระบบการจับคาร์บอนไดออกไซด์โดย <i>Chlorella</i> sp. ในถังปฏิริยาโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบอากาศยกตัว และทิศทางการไหล
3.5	ถังเก็บก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง
3.6	ถังฟลอย์เหล็กที่ใช้ในระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
3.7	ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง
3.8	แผงควบคุมอัตราการไหลของก๊าซและอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟ
3.9	เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพแบบพกพา
3.10	อุปกรณ์วัดอัตราการไหลก๊าซแบบลูกกลอย
3.11	เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลและนาฬิกาจับเวลาดิจิทัล
3.12	เครื่องวัดค่าพีเอชแบบพกพา EZDO 6011
3.13	เครื่องวัดความทึบแสง Jenway 6400 Spectrophotometer
3.14	ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลอง
4.1	ความเข้มข้น <i>Chlorella</i> sp. เมื่อใช้ก๊าซชีวภาพดิบที่อัตราการจ่ายก๊าซ 0.05 ลิตร/วินาที
4.2	ค่าของแรงดันลอจระยะเหยได้ในโฟโตไบโอรีแอกเตอร์เมื่อเดินระบบด้วยก๊าซชีวภาพดิบที่อัตราการไหล 0.05 ลิตร/วินาที
4.3	อัตราการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp. ในสภาวะสมดุล 7 วัน และค่า R^2 เมื่ออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.050 ลิตร/วินาที

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.4	อัตราการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp. ในสภาวะสมดุล 7 วัน และค่า R^2 เมื่ออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.035 วิวี่เอ็ม	46
4.5	อัตราการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp. ในสภาวะสมดุล 7 วัน และค่า R^2 เมื่ออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.020 วิวี่เอ็ม	47
4.6	อัตราการเจริญเติบโตของ <i>Chlorella</i> sp. ในสภาวะสมดุล 7 วัน และค่า R^2 เมื่ออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.005 วิวี่เอ็ม	48
4.7	การแปรผันของค่าพีเอช เมื่อแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ	50
4.8	เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้เมื่อแปรค่าอัตราการไหล ของก๊าซชีวภาพ	53
4.9	เปอร์เซ็นต์ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อแปรค่าอัตราการไหล ของก๊าซชีวภาพ	57
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C^*-C_{in})-\ln(C^*-C_{out})$ กับเวลา ที่อัตราการไหลของก๊าซ 0.050 วิวี่เอ็ม	61
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C^*-C_{in})-\ln(C^*-C_{out})$ กับเวลา ที่อัตราการไหลของก๊าซ 0.035 วิวี่เอ็ม	62
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C^*-C_{in})-\ln(C^*-C_{out})$ กับเวลา ที่อัตราการไหลของก๊าซ 0.020 วิวี่เอ็ม	63
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C^*-C_{in})-\ln(C^*-C_{out})$ กับเวลา ที่อัตราการไหลของก๊าซ 0.005 วิวี่เอ็ม	64
4.14	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบที่มี <i>Chlorella</i> sp และระบบที่มีแต่สารอาหาร เมื่อแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซ	66
4.15	เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในระบบ เมื่อแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ	68
4.16	เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบความสามารถในการทำให้ก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น เมื่อแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ	71

อักษรย่อและสัญลักษณ์

°ซ.	องศาเซลเซียส
ก./ล.	กรัมต่อลิตร
ก./ล. ว ⁻¹	กรัมต่อลิตรต่อวัน
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
วีวีเอ็ม	อัตราการจ่ายก๊าซคิดเป็นปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรถังปฏิบัติการต่อ นาที่
CH ₄	ก๊าซมีเทน
CO ₂	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
H ₂ S	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
N ₂	ก๊าซไนโตรเจน
O ₂	ก๊าซออกซิเจน
CLR.	ภาระโหลดคาร์บอนไดออกไซด์
SRT	ระยะเวลาที่เก็บของแข็งในระบบ
K _{La}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของคาร์บอนไดออกไซด์ในของเหลว