รายงานการวิจัย

ผลของปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

Effect of Physical and Biological Parameters on Hydrogen Sulfide Removal Efficiency from Biogas by Mixed Consortium Biofilter

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากทุนงบประมาณแผ่นดิน (วช.)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

ชื่องานวิจัย ผลของปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

ผู้วิจัย เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์

คณะ วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปี 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการสำรวจโดยการสอบถามและการยืนยันผลในห้องปฏิบัติการให้ผลสอดคล้องกัน การสำรวจพบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดร้อยละ 98 คือ โรงงาน A และ P ทั้ง 8 โรงงาน มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วงร้อยละ 93-98 การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในห้องปฏิบัติการจากเชื้อจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพของโรงงานพบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงร้อยละ82-83 คือโรงงาน A และ P และมีกิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง 0.35 กรัมต่อลิตรต่อวันการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางเคมีและกายภาพของการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพโรงงาน A และ P พบว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.12 เป็น 6.40 สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้กลายเป็นซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มจาก 6,300 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 13,650 มิลลิกรัมต่อลิตรหลังการบำบัดและสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โครงสร้างประชากรแบคทีเรียในระบบตัวกรองชีวภาพจากโรงงาน A และ P เด่นด้วยกลุ่มแบคทีเรีย *Azospirillum* sp. โรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด) ได้ถูกคัดเลือกนำมาศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.331 จุลินทรีย์สามารถบำบัดให้ลดลงในระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.001 หลังการบำบัดภายในช่วงระยะเวลา 10 วันกลุ่มจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดซึ่งสูงถึงร้อยละ 99.77 และมีอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.33 กรัมต่อลิตรต่อวันการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางเคมีและกายภาพของการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตะกอนจุลินทรีย์ในระบบต่อเนื่อง พบว่าค่าพีเอชของระบบลดลงจาก 7.32 เป็น 6.41 มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,467 เป็น 15,133 มิลลิกรัมต่อลิตรและสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 18 เป็น 322 มิลลิกรัมต่อลิตร เด่นด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม *Azospirillum* sp.,

Sphingomonas sp. และ *Bacillus* sp. จากการศึกษาผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์โดยการเติมไนเตรทและให้ออกซิเจนลงไปในระบบพบว่าการเติมไนเตรทไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณซัลไฟด์ แต่ส่งผลต่อการลดลงของไฮโดรเจนซัลไฟด์เล็กน้อย แสดงว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่มไร้อากาศ และพบว่าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัสได้แก่ *Azospirillum* sp. และ*Paracoccus* sp. หลังเติมอากาศพบแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 3 จีนัส ได้แก่ *Enterobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp. และ*Sphingomonas* sp.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title Efficiency Evaluation on Hydrogen Sulfide Removal from Palm Oil Mill Biogas by Biofilter

Researcher Kiattisak Panpong

Faculty College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University

Year 2015

Abstract

This work was studied on hydrogen sulfide (H_2S) removal efficiency in biogas from palm oil mill industry by biofilter systems. H_2S removal efficiency from field survey and laboratory investigation gave the same results with high removal efficiency. Field survey found that plant A and P has high H_2S removal efficiency with 98%. All survey mill plant has H_2S removal efficiency ranged of 93-98%. Evaluation of performance efficiency of sludge form biofilter systems for H_2S removal in laboratory found that mill plant A and P has high H_2S removal efficiency of 82-83% and has H_2S removal activity of 0.35 g/l/d. The change of physical and chemical properties during H_2S removal by biofilter sludge from mill plant A and P was investigated. It was found that pH was decreased from 7.12 to 6.40, sulfur in liquid medium increasing from 6,300 to 13,650 mg/L and sulfate in liquid medium increasing from 20-300 mg/l after treatment. Microbial community structure of biofilter sludge from mill plant A and P was dominated by *Azospirillum* sp. Biofilter sludge from plant P was selected for hydrogen removal in continuous systems. It was found that biogas feeding rate 1,500 ml/d with hydrogen sulfide concentration of 0.331% was suitable for hydrogen sulfide removal in continuous system. Biofilter sludge could removed the hydrogen sulfide to 0.001% within 10 days with hydrogen sulfide removal efficiency of 99.7% and hydrogen sulfide removal rate of 0.33 g/l/d. The change of physical and chemical properties during H_2S removal by biofilter sludge from mill plant P in continuous system was investigated. It was found that pH was decreased from 7.32 to 6.41, sulfur in liquid medium increasing from 5,467 to 15,133 mg/L and sulfate in liquid medium increasing from 18-322 mg/l after treatment. Microbial community structure of biofilter reactor was dominated by *Azospirillum* sp., *Sphingomonas* sp. and *Bacillus* sp. The effect of oxygen on hydrogen sulfide removal efficiency of biofilter reactor was investigated by addition of nitrate and

oxygen into the pack column systems. It was found that oxygen in the form of nitrate and air, which have no positive effect on hydrogen sulfide removal efficiency. It was found that the first experiment (Before aeration), Microbial community was dominated by *Azospirillum* sp. and *Paracoccus* sp., While after aeration was dominated by *Enterobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp. and *Sphingomonas* sp.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ และงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่หน่วยวิจัย Microbial Resource Management Research Unit คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ขอขอบคุณผู้จัดการโรงงานบริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัดบริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน) บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัดและบริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

ทีมผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

(ลงชื่อ) .....

(ดร.เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์)

สังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

วันที่..23.. เดือน.. พฤษภาคม.. พ.ศ...2560....

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
กิตติกรรมประกาศ	**จ**
สารบัญ	**ฉ**
สารบัญตาราง	**ซ**
สารบัญรูปภาพ	**ญ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
ก๊าซชีวภาพและการเกิดก๊าซชีวภาพ	5
ก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	6
ระบบที่ใช้ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	7
วัฏจักรกำมะถัน (Sulfur Cycle)	11
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการทางชีวภาพ	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การทดลอง	**27**
ตัวอย่าง	27
วิธีการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการทดลองละวิจารณ์ผล	**36**
ผลการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	36
ผลการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	39

SUAN DUSIT RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองละวิจารณ์ผล (ต่อ)	
ผลการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)	46
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ	48
ผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์	56
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	**63**
สรุปผล	63
อภิปรายผล	65
ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	84
ภาคผนวก ค	90
ประวัติผู้วิจัย	101

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แหล่งพลังงานสำหรับแบคทีเรียกลุ่ม Representative Chemotroph	15
2.2	สภาวะในการเจริญของออโทโทรฟิกแบคทีเรียและเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรียที่สามารถบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดอื่น	16
2.3	ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	25
3.1	แบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวน8โรงงาน	28
3.2	องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อThiosulfate Mineral Medium.	29
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษากิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบตัวกรองชีวภาพ	29
3.4	แผนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	32
3.5	การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	33
3.6	แผนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	33
3.7	การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	34
4.1	แบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน	37
4.2	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	40
4.3	อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	50
4.4	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	52
4.5	อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์	57
4.6	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	58

สารบัญภาพ

รูปภาพ		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
2.1	ระบบที่ใช้ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	8
2.2	ระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber)	9
2.3	ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter)	10
2.4	ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter)	11
2.5	วัฏจักรกำมะถัน(Sulfur Cycle)	12
2.6	Van Niel Curveแสดงสภาวะสมดุลของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และปริมาณแสงต่อการเกิดและการสะสมของซัลเฟต	13
4.1	ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน	42
4.2	อัตราการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน	42
4.3	ค่าพีเอชที่ลดลงสำหรับกระบวนการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน	43
4.4	ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการบำบัดH_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง8โรงงาน	44
4.5	ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง8โรงงาน	45
4.6	ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงสำหรับกระบวนการบำบัดH_2Sจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน	45
4.7	โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง8โรงงาน	47
4.8	การสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อแบคทีเรีย	48
4.9	ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่อัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที	50
4.10	ค่าพีเอชที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที	54
4.11	ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ2,500 มิลลิลิตรต่อนาที	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ		หน้า
4.12	ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที	55
4.13	ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที	55
4.14	ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	57
4.15	ค่าพีเอชที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	59
4.16	ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	60
4.17	ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	60
4.18	ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	61
4.19	โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์จากตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพ8(ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)	62

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ระบบก๊าซชีวภาพได้รับความสนใจในการบำบัดหรือกำจัดของเสียและให้พลังงาน จึงลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของโรงงาน โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบการผลิตก๊าซ-ชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเกิดจากกระบวนการหมักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์แบบไร้ออกซิเจนแบบปิด (Closed Anaerobic Tank System)โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยและสารละลายได้ออกมาเป็นก๊าซชีวภาพโดยก๊าซชีวภาพของอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20-50 ไอน้ำร้อยละ0-10 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 0-5 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 0-2 ก๊าซแอมโมเนียร้อยละ0-1 และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ประมาณร้อยละ0.005-1.0 (50-10,000 ppm) (Lau, Mohamadnor, Mohamed and Lee. 2013 : 302) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่มีการย่อยสลาย เช่น ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำหนองแขมมีภาระบรรทุกซัลเฟตสูง 222 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน จะมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงตามไปด้วยถึง 167 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน (ปิยวัฒน์ จิรเดชนันท์ และสาโรช บุญยกิจสมบัติ. 2551 : 78)

โดยปกติแล้วน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากระบบตัวกรองชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 2,500–3,000 ppmและปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบบำบัดแบบตัวกรองชีวภาพอยู่ระหว่าง 0-250 ppm (ระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (H_2S Bio-Scrubber System), สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2557, จาก http://greenenergynet.net/h_2s-bio-scrubber-system) เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดการเผาไหม้ในชุดผลิตพลังงาน จะได้ผลิตภัณฑ์ คือก๊าซ-ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับไอน้ำจากการเผาไหม้จะเกิดเป็นกรดซัลฟูริกที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง ทำความเสียหายแก่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ถ้าก๊าซ-ไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต เมื่อรวมตัวกับไอน้ำและกลั่นตัวจะเกิดเป็นฝนกรด นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังมีกลิ่นเหม็นและมีความเป็นพิษสูง(ศุภาพร หวังศิริเจริญ และวสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 130)

การบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้โดยกระบวนการทางเคมี เช่น ใช้เทคโนโลยีทางกายภาพและทางเคมีแบบดั้งเดิม เช่นการเผาการดูดซับหรือการฟอกทางเคมีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงแต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องใช้สารเคมีและพลังงานปริมาณมาก (Namgung, Ahn

and Song. 2012 : 1143) ดังนั้นการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนกระบวนการทางเคมีซึ่งปัจจุบันระบบที่ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพเป็นที่นิยมเช่น การใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้แบคทีเรียกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่าร้อยละ93 (Su, Chang, Chen, Chang and Lee. 2013 : 1288)และการใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter)บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria และ *Acidithiobacillus thiooxidans* พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึงร้อยละ 97 (Namgung, Ahn and Song. 2012 : 1143-1148)

ระบบบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ มีปัญหาความไม่สม่ำเสมอของประสิทธิภาพในการบำบัดและความเสถียรของระบบบำบัด เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งประกอบด้วยอัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงเกินไปจะไปยับยั้งการเจริญของ Heterotrophic Sulfur Oxidizing Bacteria ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อให้เกิดสภาวะกรดขึ้นในระบบและทำให้ประสิทธิภาพบำบัดลดลง (Oyarzun, Arancibia, Canales and Aroca. 2003:165) รวมถึงอัตราการไหลของอากาศ เวลากักพัก ค่าพีเอชของระบบ ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงปริมาณซัลเฟอร์และซัลเฟตที่เกิดขึ้น เช่นถ้ามีผลิตภัณฑ์ที่เป็นซัลเฟตสะสมอยู่ในระบบมาก มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteriaที่ใช้บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบตัวกรองชีวภาพโดยประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์หาตัวบ่งชี้ของระบบตัวกรองชีวภาพและตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบตัวกรองชีวภาพโดยใช้แบบสอบถามเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน และประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพ

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพเพื่อดูประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพ

1.2.3 ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศ จุลินทรีย์ และไนเตรท) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

1.2.4 เพื่อหาตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพ คือ จุลินทรีย์ ปัจจัยทางกายภาพ (พีเอช) และปัจจัยทางเคมี (ปริมาณซัลเฟอร์ซัลเฟตและซัลไฟด์)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบตัวกรองชีวภาพโดยใช้แบบสอบถามเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบและแบคทีเรียเด่นจากระบบตัวกรองชีวภาพทั้ง8 โรงงาน

1.3.2 ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

1.3.3 ทราบถึงปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศ จุลินทรีย์ และไนเตรท) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

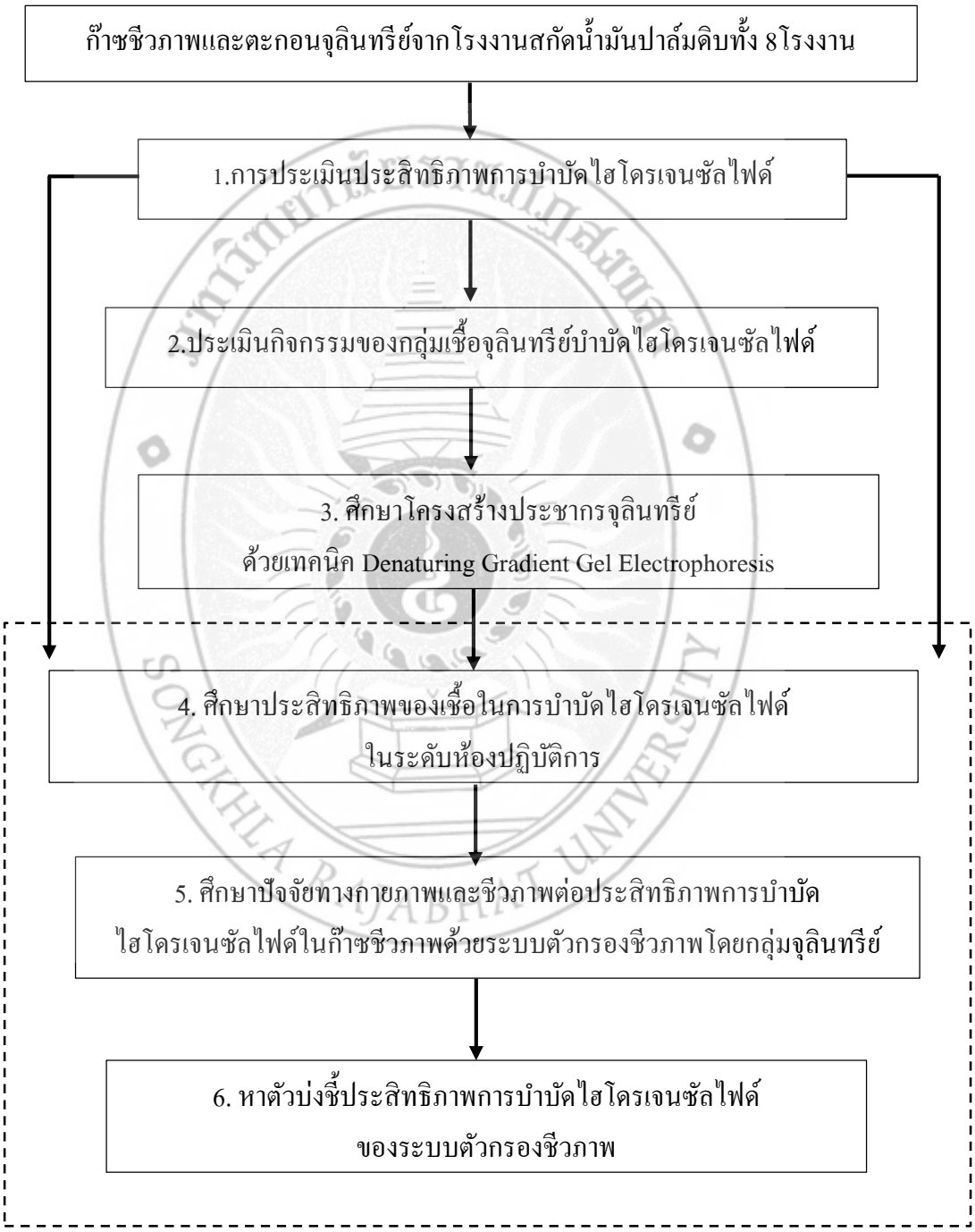
1.3.4 ทราบถึงตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพ คือ จุลินทรีย์ ปัจจัยทางกายภาพ (พีเอช) และปัจจัยทางเคมี (ปริมาณซัลเฟอร์ ซัลเฟต และซัลไฟด์)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน โดยใช้แบบสอบถามแล้วนำข้อมูลที่ได้มาเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพด้วยเทคนิคDenaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) เมื่อได้แหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดแล้วทำการติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อดูประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพ แล้วศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศ จุลินทรีย์ และไนเตรท) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์หาตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัว

กรองชีวภาพ คือ จุลินทรีย์ ปัจจัยทางกายภาพ (พีเอช) และปัจจัยทางเคมี (ปริมาณซัลเฟอร์ ซัลเฟต และซัลไฟด์)

การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ก๊าซชีวภาพและการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทนในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยพลังงานที่ได้จะถูกใช้ในการเจริญเติบโต สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกสลายให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และซัลไฟด์ ซึ่งจะเป็นสารที่อาร์เคียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic Archaea) นำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนต่อไป กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการหมักหรือการเกิดกรด (Fermentation/Acidogenesis) เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบเชิงเดี่ยวจากกระบวนแรกให้กลายเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดไพรโพโอลิก กรดวาเลอริก และกรดแลกติก โดยแบคทีเรียสร้างกรดซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติก และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดขึ้นด้วย

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) เป็นกระบวนการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่าย ที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่า 2 อะตอม เช่น กรดไพรพิออนิก และกรดบิวทิริก ให้มีอะตอมของคาร์บอนลดลง เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทน ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการย่อยสลายสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นกระบวนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (Methane Forming Bacteria) ซึ่งในกระบวนการนี้ ก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ การเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นมีเทน และการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้กลายเป็นมีเทน(ศุภาพร หวังศิริเจริญ. 2553 : 4)

แหล่งที่มาของก๊าซชีวภาพนอกจากได้จากการหมักของมูลสัตว์แล้ว ก๊าซชีวภาพยังได้จากแหล่งอุตสาหกรรมอื่นได้อีกด้วย เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ โรงกลั่นน้ำมัน โรงบำบัด-

น้ำเสีย โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานฆ่าสัตว์ ฟาร์มเลี้ยงหมู และขยะ-อินทรีย์ เป็นต้นโดยก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 50-70ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ20-50 ไอน้ำร้อยละ 0-10 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 0-5 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 0-2 ก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 0-1และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่ามีประมาณร้อยละ 0.005-2 (50-10,000 ppm) (คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการออกแบบการผลิต การควบคุมก๊าซชีวภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. 2553 : 38) โดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงตามไปด้วย เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับความชื้นที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ จะเกิดเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง ทำความเสียหายแก่วัสดุอุปกรณ์และเครื่องยนต์ของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเครื่องยนต์ต้องเปลี่ยนน้ำมันเครื่องเร็วขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ถ้าก๊าซชีวภาพถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต เมื่อรวมตัวกับไอน้ำและกลั่นตัวจะเกิดเป็นฝนกรด (ศุภาพร หวังศิริเจริญและ วสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 130)

นอกจากนี้ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังมีกลิ่นเหม็น และมีความเป็นพิษสูง เมื่อได้รับเข้าไปในร่างกายปริมาณน้อยๆ (15-50 ppm) จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก อาจก่อให้เกิดการปวดหัว คลื่นไส้ และอาเจียนได้ แต่ถ้าได้รับเข้าไปในปริมาณมาก (200-300 ppm) จะมีผลกระทบต่อระบบการหายใจ นำไปสู่อาการหมดสติได้ และถ้าได้รับที่ความเข้มข้นมากกว่า 700 ppmอาจทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งข้อกำหนดของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กำหนดให้มีไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบได้ ไม่เกิน 100 ppm ดังนั้นก่อนที่จะนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์จะต้องบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน เพื่อสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศุภาพร หวังศิริเจริญ และ วสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 130-131)

2.2 ก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

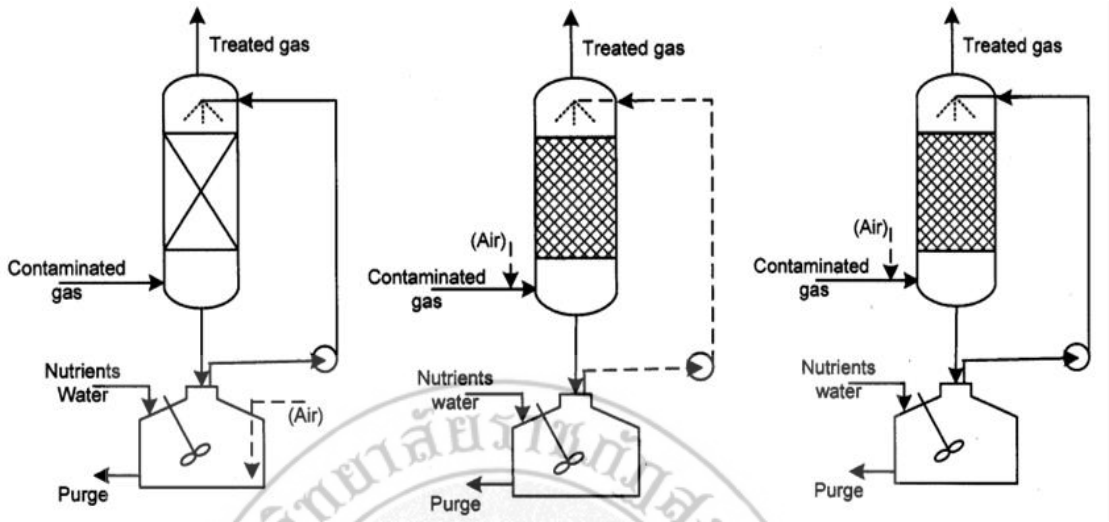
ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปัจจุบันมีโรงงานน้ำมันปาล์มที่สกัดและกลั่นน้ำมันปาล์มอยู่ 76 โรง มีกำลังการผลิต 5 ล้านตัน ต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียถึง 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำเสียจำนวน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่า COD 45,559 มิลลิกรัมต่อลิตรค่า BOD 26,666 มิลลิกรัมต่อลิตรการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่ามีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ4,295 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สูงสุด 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตประมาณ300 กิโลวัตต์ ได้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 2 ล้านหน่วยต่อปีหรือประมาณ 6-7 ล้านบาทต่อปี (ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานน้ำมันปาล์ม, สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2557, จาก http://www.fristweb.com/handsite/biogas/asainplam.html)

อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากน้ำทิ้งจากการสกัดปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Mill Effluent) นั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เกิดปัญหาการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เจือปนอยู่ในก๊าซชีวภาพประมาณร้อยละ 0-1(0-10,000 ppm) (Pipatmanomai, Kaewluan and Vitidsant. 2009 : 669) ก่อให้เกิดปัญหาในด้านมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชมใกล้เคียง อีกทั้งยังกลายเป็นรายจ่ายส่วนเกินที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นและน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต เพราะไม่มีระบบการบำบัดที่ดี จึงต้องควบคุมทั้งปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดี

2.3 ระบบที่ใช้ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration) เป็นระบบบำบัดอากาศเสียจากแหล่งกำเนิดที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยระบบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ข้อดีของระบบการกรองชีวภาพคือต้นทุนในการติดตั้งระบบและต้นทุนในการเดินระบบต่ำ ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย บำรุงรักษาระบบง่าย และไม่เกิดของเสียที่ต้องส่งต่อไปกำจัดด้วยวิธีการอื่นอย่างไรก็ตามระบบการกรองชีวภาพมีข้อเสียกล่าวคือ ต้องการอัตราการป้อนอากาศเสียที่ต่อเนื่องต้องรู้ชนิดและปริมาณความเข้มข้นที่แน่นอนของไอสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพราะสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบนอกจากนี้ระบบนี้ยังต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก ซึ่งระบบการกรองชีวภาพเหมาะสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 1,500 ส่วนในล้านส่วน(ppm)โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าร้อยละ 99 (Devinny, Deshusses and Webster.1999 : 7)

ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่ใช้ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีทางชีวภาพสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ (ก) ระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber) (ข) ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) และ (ค)ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



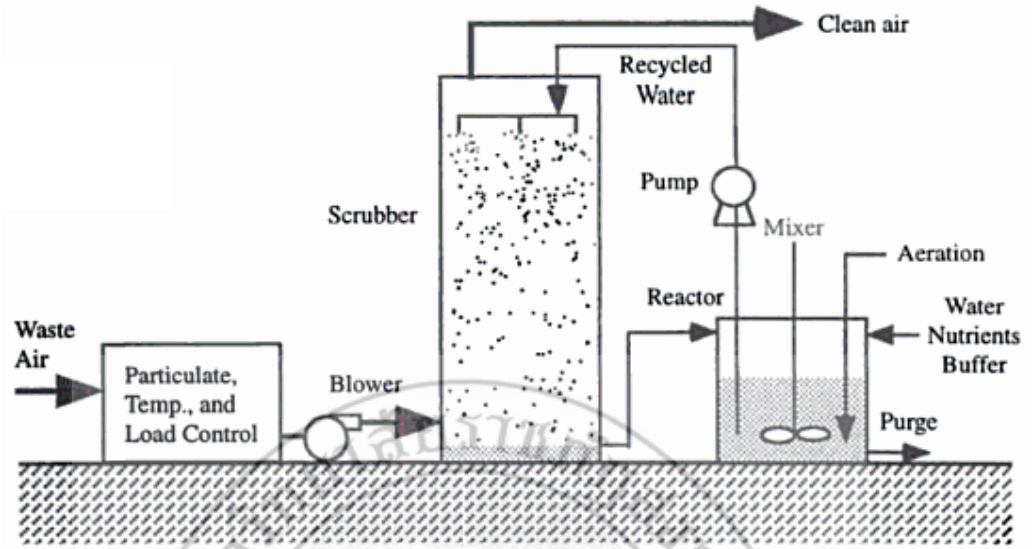
(ก) ระบบฟอกชีวภาพ (ข) ระบบตัวกรองชีวภาพ (ค) ระบบกรองชีวภาพแบบหยด

ภาพที่ 2.1 ระบบที่ใช้ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

(ที่มา : Syed, et al. 2006:1)

2.3.1 ระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber)

ระบบฟอกชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่า Bioscrubber Tower ซึ่งเป็นส่วนที่ก๊าซชีวภาพสัมผัสกับของเหลวและถูกของเหลวดูดซับไว้จากนั้นจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียออกซิไดซ์ซัลเฟอร์ (Sulfur Oxidizing Bacteria) ที่อยู่ในของเหลวก่อนที่จะเข้าสู่ถังที่มีการเติมอากาศต่อไป (Syed, et al. 2006: 7) หลักการของระบบนี้ คือ จุลินทรีย์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำและอากาศเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกน้ำที่มีจุลินทรีย์ดูดซับบริเวณหอสเปรย์(Spray Tower) หรือในแพ็คคอลัมน์ (Packed Column) จากนั้นน้ำที่มีส่วนผสมของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (อากาศที่มีสารปนเปื้อน) จะถูกส่งไปยังถังพัก (Storage Tank) (ภาพที่ 3) และการย่อยสลายทางชีวภาพจะเกิดขึ้นณบริเวณถังพักและน้ำจากกระบวนการย่อยสลายจากถังพักจะถูกนำไปใช้อีกครั้งเหลือเพียงบางส่วนถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter) (Devinny, Deshusses and Webster. 1999 : 11)

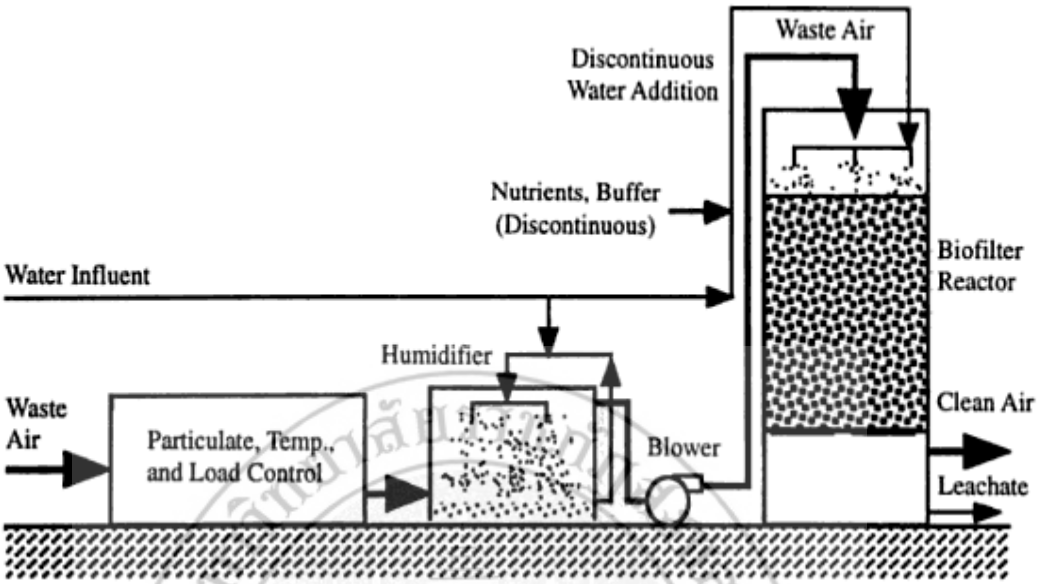


ภาพที่ 2.2 ระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber)

(ที่มา : Devinny, Deshusses and Webster, 1999 : 11)

2.3.2 ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter)

ระบบตัวกรองชีวภาพประกอบด้วยตัวกลางที่มีรูพรุนซึ่งอาจเป็นวัสดุสารประเภทอินทรีย์ โดยใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ได้แก่ ดินเปลือกไม้กากตะกอนน้ำเสียขยะอินทรีย์เป็นต้นหลักการของระบบตัวกรองชีวภาพ จุลินทรีย์จะเคลือบอยู่บนตัวกลางที่มีรูพรุนในรูปของฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) เมื่อผ่านอากาศเสียที่ต้องการบำบัดเข้าสู่ตัวกลางที่มีจุลินทรีย์อยู่ จุลินทรีย์จะดูดซับอากาศเสียบนตัวกลางที่มีรูพรุนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งบริเวณฟิล์มชีวภาพและในตัวกลางที่มีรูพรุนจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็กได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพคงที่ จะต้องมีการเติมน้ำและอาหารเป็นครั้งคราวเพื่อเพิ่มความชื้นและอาหารให้กับจุลินทรีย์ในระบบ (ภาพที่ 2.3) เนื่องจากมีการเติมน้ำและอาหารแบบเป็นครั้งคราวไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นน้ำชะที่ออกมาจากระบบมีสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายจุลินทรีย์ปะปนออกมาแต่มีปริมาณน้อยมาก (Devinny, Deshusses and Webster.1999 : 7)

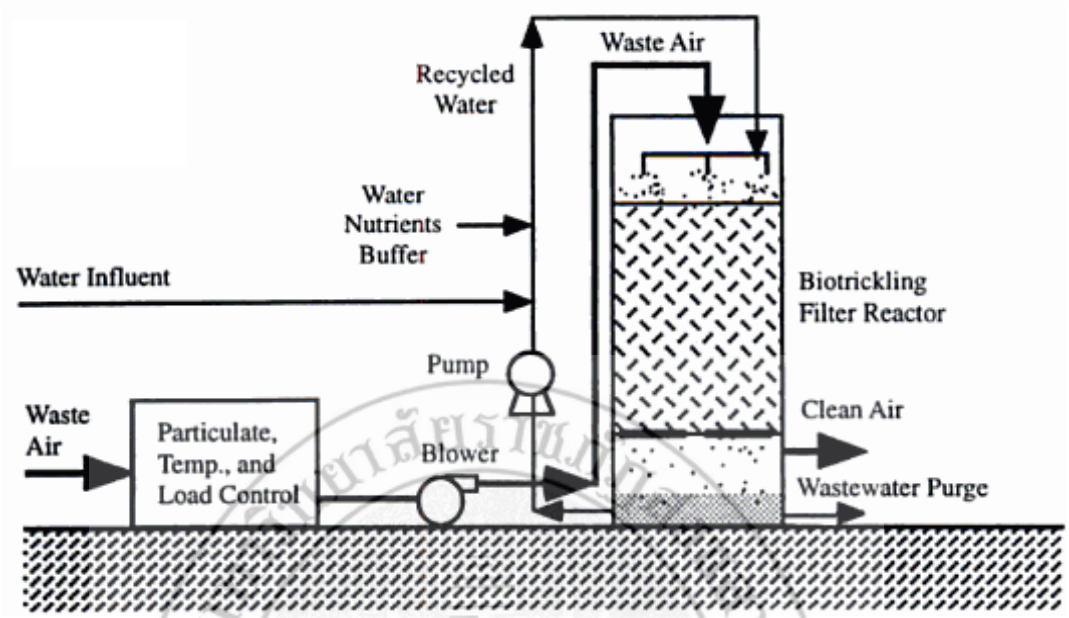


ภาพที่ 2.3 ระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter)

(ที่มา : Devinny, Deshusses and Webster,1999 : 7)

2.3.3 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter)

การกรองชีวภาพประเภทระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter)จุลินทรีย์จะถูกตรึงอยู่ในวัสดุอนินทรีย์ (Inorganic Packing Material) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์และบางส่วนจะแขวนลอยอยู่ในน้ำโดยน้ำอาหารและจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจะถูกพ่นให้สัมผัสกับอากาศเสียอย่างต่อเนื่องระบบนี้อากาศเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ถูกตรึงอยู่ในวัสดุอนินทรีย์และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำน้ำที่สัมผัสกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายแล้วจะไหลลงมาที่ส่วนล่างของระบบซึ่งบางส่วนจะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (ภาพที่2.4) เนื่องจากมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยง่ายแขวนลอยอยู่ดังนั้นจึงเหลือน้ำทิ้งในปริมาณน้อยที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Devinny, Deshusses and Webster.1999 : 11)



ภาพที่ 2.4 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biostrickling Filter)

(ที่มา : Devinny, Deshusses and Webster.1999 : 11)

2.4 วัฏจักรกำมะถัน (Sulfur Cycle)

กำมะถันหรือซัลเฟอร์เป็นธาตุที่มีปริมาณมากมายภายในโลกดังนั้นจะไม่พบว่าเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญ ยกเว้นกรณีที่มีการเพาะปลูกพืชมากซัลเฟอร์มีค่า Oxidation Level ได้หลายค่าไม่ว่าจะอยู่รูปสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์โดยหมุนเวียนระหว่าง +6 ของซัลเฟต (SO_4^{2-})ไปเป็น -2 ของซัลไฟด์ (S^{-2})ในเซลล์ต้องการซัลเฟอร์ในการสร้างกรดอะมิโนซีสเตอีนเมไทโอนีนและต้องการซัลเฟอร์สำหรับการสร้างวิตามิน ฮอร์โมนและโคเอนไซม์บางชนิดในการสร้างโปรตีนนั้นกรดอะมิโนซิสเตอีนซึ่งมีกำมะถันอยู่มีความสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากสะพาน Disulfide ที่สร้างขึ้นระหว่างซีสเตอีนช่วยทำให้โปรตีนม้วนพับ สภาวะทั้งหมดนี้จะทำให้ซัลเฟอร์อยู่ในรูปรีดิวซ์หรือซัลไฟด์ นอกจากนี้เซลล์ยังมีสารประกอบอินทรีย์ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์ เช่น ฟีนอลิกซัลเฟต กลูโคสซัลเฟต โคลีนซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟตซึ่ง ATP ที่เกิดในกระบวนการ Sulfate Assimilation และสามารถใช้เก็บสะสมซัลเฟอร์ภายในเซลล์จุลินทรีย์สามารถบำบัดซัลเฟอร์ ออกจากสารอินทรีย์ในสภาวะมีอากาศโดยทำให้เกิดเป็นซัลเฟต แต่หากอยู่ในสภาวะไร้อากาศจะให้ก๊าซไข่เน่า (H_2S) โดยก๊าซนี้อาจเกิดการใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจแบบไร้ออกซิเจน การสะสมก๊าซชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้เป็นโลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (วีรานุช หลาง.2551 : 75-77)

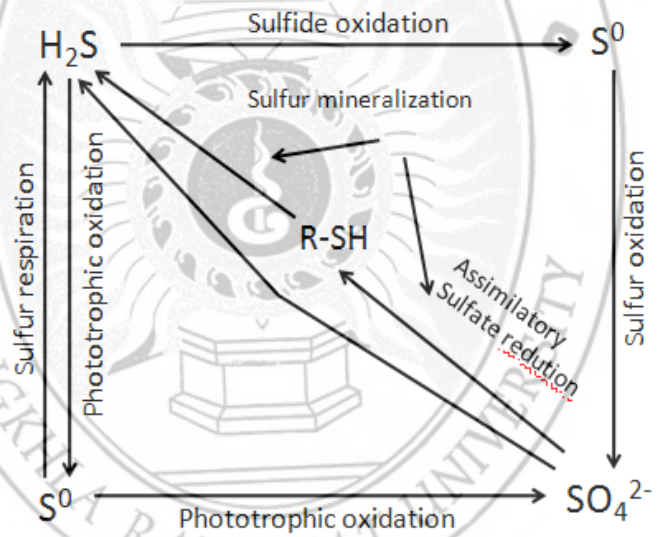
2.4.1 การออกซิไดซ์กำมะถัน

แบคทีเรียที่สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อสร้างพลังงาน ได้แก่ *Beggiatoa* sp. และ *Thiothrix* sp. เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นฟิลาเมนตัส (ชอบอากาศเล็กน้อย) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดังสมการที่ 2.1

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2S + 2H_2O \qquad (2.1)$$

ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นจะถูกสะสมไว้ภายในเซลล์แต่ในสภาวะที่ขาดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลเฟอร์จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟตดังสมการที่ 2.2

$$S^0 + 3/2O_2 + 2H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \qquad (2.2)$$



ภาพที่ 2.5 วัฏจักรกำมะถัน(Sulfur Cycle)

(ที่มา : วีรานุช หลาง. 2551 : 79)

สาระสำคัญของปฏิกิริยา

- กระบวนการออกซิไดซ์กำมะถันเป็นกระบวนการที่ต้องการอากาศ
- แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์กำมะถันเป็นพวก Microaerophilic
- แบคทีเรียเฮเทอโรโทรปบางชนิดออกซิไดซ์กำมะถันได้ แต่ไม่ได้รับพลังงาน
- กระบวนการนี้สามารถใช้ในการเก็บเกี่ยวแร่กำมะถัน (วีรานุชหลาง. 2551 : 79)

2.4.2 แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.4.2.1 กลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria หรือ Autotroph)คือกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารได้เองอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน (Phototrophic Bacteria หรือ Photoautotroph) และบางชนิดใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoautotroph)ตัวอย่างแบคทีเรียที่มีการศึกษาในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้แก่ *Acidithiobacillus thiooxidans*(Namgung, Ahn and Song. 2012 : 1143-1148), *Thiobacillus thioparus* (ATCC23645) (Ramirez, Gomez, Aroca and Cantero.2009 : 4989-4995)เป็นต้นแบคทีเรียเหล่านี้สามารถที่จะเจริญได้เองในระบบตัวกรองชีวภาพโดยต้องการสารอาหารที่จำเป็นในระบบเพียงเล็กน้อยสำหรับตัวอย่างปฏิกิริยาออกซิเดชันพบว่าเกิดขึ้นจากกลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรียแสดงได้ดังสมการที่ 2.3-2.7 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของแบคทีเรียเช่น *Cholorobium limicola* สามารถออกซิไดซ์ซัลไฟด์ให้เป็น Elemental Sulfur (S^0) ภายใต้สภาวะที่มีแสงดังแสดงในสมการ

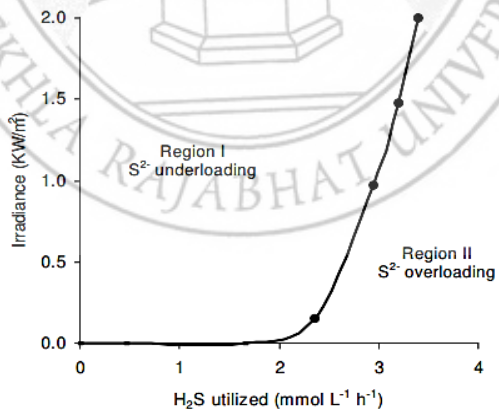
$$H_2S + CO_2 + O_2 \longrightarrow CH_2O + SO_4^{2-} \quad (2.3)\ \text{Chemoautotroph}$$

$$H_2S + CO_2 \xrightarrow{\text{light}} S^0 + CH_2O \quad (2.4)\ \text{Photoautotroph}$$

$$S^0 + CO_2 + O_2 \longrightarrow CH_2O + SO_4^{2-} \quad (2.5)\ \text{Chemoaututroph}$$

$$2HS^- + O_2 \longrightarrow 2S^0 + 2OH^- \quad (2.6)\ \text{Autotroph}$$

$$2S^0 + 3O_2 \longrightarrow 2SO_4^{2-} + 2H^+ \quad (2.7)\ \text{Autotroph}$$



ภาพที่ 2.6 Van Niel Curveแสดงสภาวะสมดุลของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และปริมาณแสงต่อการเกิดและการสะสมของซัลเฟต

(ที่มา: Syed, et al., 2006: 3)

Van Niel Curve ในภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบ(Feed Rate, m mol $L^{-1}h^{-1}$) และความเข้มข้นของแสง (Irradiance, KW/m^2) ของแบคทีเรียกลุ่ม Photoautotroph เมื่อระบบอยู่ในสมดุลคือปริมาณการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบและความเข้มข้นของแสงอยู่บนเส้นกราฟปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบจะถูกออกซิไดซ์เป็น Elemental Sulfurทั้งหมดแต่ถ้าปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบมีมากเกินไปปริมาณของแสงไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการสะสมของซัลไฟด์ขึ้นถ้าปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดมีน้อยเกินไปปริมาณแสงส่วนเกินจะทำให้เกิดการสะสมของซัลเฟตดังสมการที่ 2.8

$$nH_2S + 2nCO_2 + 2n\ H_{20} \longrightarrow nSO_4^{2-} + 2nH + 2n\ (CH_2 light) \qquad (2.8)$$

นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์นอกจากซัลเฟต (Sulfate) และอนุภาคซัลเฟอร์ (Elemental Sulfur) แล้วยังอาจเป็นซัลไฟต์ (Sulfite) และซัลไฟด์ (Sulfide)ได้อีกด้วย ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiobacillus* sp. เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการศึกษาการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดอื่นโดยวิธีทางชีวภาพแบคทีเรียในกลุ่มนี้มีความสามารถในการเจริญภายใต้สภาวะที่หลากหลาย เช่น สภาวะขาดออกซิเจนหรือสภาวะที่เป็นกรดมีอัตราการเติบโตที่สูงและไม่ต้องการแสงในการเติบโต แบคทีเรียจีนัส *Thiobacillus* sp. โดยทั่วไปเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในการออกซิไดซ์ซัลไฟด์ (Sulfide Oxidation) แบคทีเรียในจีนัสนี้ส่วนใหญ่เป็นพวก Chemolithotrophic (Autotrophic) และมีบางส่วนที่เป็นพวกMixotrophs คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่บริโภคได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น*Thiobaciilus ferrooxidans*สามารถออกซิไดซ์สารประกอบเหล็กและซัลเฟอร์เพื่อให้ได้พลังงานออกมาในรูปเมแทบอลิซึมโดยจะเกิดควบคู่ไปกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคาลวิน (Calvin Cycle) ที่ pH ต่ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนของสารประกอบ Ferric Oxide และ Hydroxide เกิดขึ้นจึงทำให้น้ำทิ้งของเหมืองแร่ที่เป็นกรด มีสีแดงและสีเหลืองปรากฏให้เห็น นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจะได้กรดซัลฟิวริกซึ่งส่งผลให้สภาพแวดล้อมบริเวณนั้นกลายเป็นสภาพแวดล้อมที่วิกฤตโดยอาจทำให้มี pH ต่ำมาก (pH≈1) เนื่องมาจากจุลินทรีย์เป็นผู้สร้างสภาพแวดล้อมนั้นขึ้นจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้อีกชนิดหนึ่งคือ *Thiobacillus thioxidans* แต่จุลินทรีย์ชนิดนี้จะออกซิไดซ์เฉพาะสารประกอบซัลเฟอร์ให้กลายเป็นกรดซัลฟิวริกเท่านั้น และยังพบว่าจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus* sp.ไม่มีโครงสร้างพิเศษใดๆที่ใช้ในการกำจัดโปรตอนออกจากเซลล์และในส่วนของผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus* sp. ซึ่งไม่ได้แตกต่างไปจากจุลินทรีย์พวกแกรมลบด้วยกัน (pH 1-6) (ศุภาพร หวังศิริเจริญ และ วสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 131-133)

ตารางที่ 2.1 แหล่งพลังงานสำหรับแบคทีเรียกลุ่ม Representative Chemotroph

Bacteria	Electron donor	Electron acceptor	Carbon Source	Products
Thiobacilllus sp.(general)	S^0, H_2S, $S_2O_3^{2-}$	O_2	CO_2	SO_4^{2-}
Thiobacilllus denitrifcans	S^0, H_2S, $S_2O_3^{2-}$	O_2, NO_3^-	CO_2	SO_4^{2-}, N_2
Thiobacilllus ferrooxidans	Fe^{2+}, S^0, H_2S	O_2	CO_2	Fe^{3+},SO_4^{2-}

(ที่มา : Syed, et al. 2006:3)

2.4.2.2 กลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria หรือ Heterotroph) คือ กลุ่มของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง ต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน บางชนิดใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน (Photoheterotroph) เช่น Green Nonsulfur Bacteria สกุล *Chloroflexus* หรือ Purple Nonsulfur Bacteria สกุล *Rhodopseudomonas* และบางชนิดใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoheterotroph) เช่น *Alcaligenes faecalis* T307(Rattanapan, Kantachote, Yan and Boonsawang. 2010 : 383-387), *Bordetella* sp. Sulf-8 (Nisola, et al. 2010: 1131-1138)ตัวอย่างของเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ*Bacillus* sp.ที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลสุกร (ศุภาพร หวังศิริเจริญ และวสุ ปฐมอารีย์, 2552) โดยพบว่าเชื้อ*Bacillus* sp.สามารถออกซิไดซ์ซัลไฟด์ได้จากการทำงานของเอนไซม์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกซิเดส ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนโดยมีผลิตภัณฑ์หลักที่ได้เป็น Elemental Sulfur ดังสมการที่ 2.9

$$H_2S + 1/2O_2 \longrightarrow S^0 + H_2O \qquad (2.9)$$

ตารางที่ 2.2 สภาวะในการเจริญของออโทโทรฟิกแบคทีเรียและเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรียที่สามารถบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดอื่น

Conditions	*Acidithiobacillus thiooxidans*	*Thiobacillus Thioparus* (ATCC 23645)	*Alcaligenes faecalis* T307	*Bordetella* sp. Sulf-8
pH Growth Range	1.5-6.3	6.0-8.2	6.23-7.32	2.0-9.0
Optimum pH	1.5	6.6-7.2	7.0-7.5	7.0
Temperature Growth(°C)	ND	28-30	27-32	28-30
Optimum Temperatur (°C)	30	28	30	30
G+C Content of DNA (%)	ND	ND	ND	56%
Cell Type	Gram Negative	Gram Negative	Gram Negative	Gram Negative
Group	ß -Proteobacteria	ß -Proteobacteria	ß -Proteobacteria	ß -Proteobacteria
Spore Formation	ND	ND	ND	ND
Motility	ND	Motile	Motile	ND
Shape	Rod, 0.5×1.1-2µm	Rod, 0.9-1-8 µm	Rod	Rod, 0.8-2.9 µm
Trophy	Obligate Chemoautotroph	Obligate Chemoautotroph	Obligate chemoheterotroph	Obligate chemoheterotroph
Energy Source	Thiosulfate, Sulfide	Elemental Sulfur	Thiosulfate, Sulfide	Thiosulfate, Sulfide
Carbon Source	Carbon Dioxide	Carbon Dioxide	Carbon Dioxide	Carbon Dioxide
Nitrogen Source	Nitrogen Ammonium Chloride	Nitrogen Ammonium Sulfate	Nitrogen Ammonium Chloride Potassium Nitrate	Nitrogen Ammonium Chloride Yeast
Oxygen Requirement	Strictly Aerobe	Strictly Aerobe	Strictly Aerobe	Strictly Aerobe
Reference	Namgung, Ahn and Song (2012: 1143-1148)	Ramírez, et al. (2009 : 4989-4995)	Rattanapan, et al. (2010:383-387)	Nisola, et al. (2010:1131-1138)

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการทางชีวภาพ

2.5.1 ชั้นตัวกลาง (Packing Media) หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษในอากาศมีหลายปัจจัยด้วยกันส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่ชั้นตัวกลางของระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration) ซึ่งได้รับการออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเจริญของฟิล์มจุลินทรีย์การมีเสถียรภาพทางกายภาพในระยะยาว ความดันที่ลดลง การรักษาความชื้น ความจุบัฟเฟอร์และธาตุอาหาร ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในระบบการกรองชีวภาพเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาถูกมีจุลินทรีย์เจริญอยู่และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์จำนวนมากส่วนตัวกลางสารอนินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีการดูดซับสารมลพิษที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่าปุ๋ยหมักแต่ราคาค่อนข้างแพงและตัวกลางประเภทสังเคราะห์ เช่น พลาสติก โพลีโพรพิลีน จะมีโครงสร้างที่แข็งแรง อายุการใช้งานยาวนานแต่ไม่มีสมบัติการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ จึงต้องมีการเติมน้ำและธาตุอาหารให้ระบบอย่างสม่ำเสมอ

2.5.2 ปริมาณความชื้น(Moisture Content) ปริมาณความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะทำให้การเดินระบบประสบความสำเร็จได้ โดยทั่วไปก๊าซมลพิษที่เข้าระบบ จะทำให้ชั้นตัวกลางของระบบการกรองชีวภาพแห้ง จึงทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เป็นผลให้ก๊าซที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดไหลออกสู่สภาวะแวดล้อมภายนอก ส่วนในกรณีที่มีน้ำอยู่ในชั้นตัวกลางมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดเขตไร้อากาศ (Anaerobic Zone) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่น และทำให้เกิดความดันลดมากขึ้น ปริมาณความชื้นในชั้นตัวกลางโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20-60 การเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับระบบสามารถทำได้ 2 ทาง คือการเพิ่มความชื้นแก่ก๊าซก่อนเข้าระบบปกติความชื้นของก๊าซควรมีค่าประมาณร้อยละ 95 และการเพิ่มปริมาณความชื้นโดยตรงที่บริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง

2.5.3 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการทำงานและเจริญอยู่ในช่วงประมาณ 10-40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ทำงานลดลง ดังนั้นในฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องทำความร้อนให้กับก๊าซที่เข้าระบบเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในกรณีที่ก๊าซเข้าระบบมีอุณหภูมิสูงเกินไป ควรจะทำให้ก๊าซนั้นเย็นก่อนที่จะเข้าระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าจุลินทรีย์จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2.5.4 ปริมาณออกซิเจน (Oxygen Content) ออกซิเจนมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบการกรองชีวภาพเพราะมีจุลินทรีย์เด่นนำมาใช้ในระบบตัวกรองชีวภาพโดยใช้อากาศและต้องการออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญ โดยกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรียแบบใช้อากาศ (Aerobic

Heterotrophic Bacteria) ที่มีอยู่ในชั้นตัวกรองต้องมีออกซิเจนอย่างน้อยร้อยละ5-15ที่ความเข้มข้นของก๊าซเข้าสู่ระบบเพื่อให้จุลินทรีย์ดำรงอยู่ได้และป้องกันการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Process)

2.5.5 ธาตุอาหาร (Nutrients) ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งในการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีปัจจัยที่สำคัญไม่แพ้กันคือ ธาตุอาหารอนินทรีย์ อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมัก การเติมธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราส่วนดังนี้ คือ ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: โพแทสเซียม อยู่ในช่วงร้อยละ 0.4 : 0.15 : 0.15 โดยน้ำหนัก

2.5.6 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นกรดด่างของระบบกรองชีวภาพควรมีค่าเป็นกลางโดยอยู่ในช่วง 7-8 เมื่อทำการบำบัดก๊าซอนินทรีย์จะเป็นผลทำให้เกิดกรดอนินทรีย์ขึ้น เช่น การบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ซึ่งกรดเหล่านี้จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวกลางต่ำลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสม โดยถ้ามีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป ควรจะต้องทำการเติมปูนขาวลงไปเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง

2.5.7 ความดันลดลง (Pressure Drop) ความดันในระบบการกรองชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทของตัวกลาง ความพรุน ปริมาณน้ำ และการอัดตัวของตัวกลาง เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลานาน จะทำให้ความพรุนของตัวกลางลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอัดตัวของชั้นตัวกรอง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงตัวกลางเมื่อครบอายุการใช้งานจะเป็นการป้องกันการอัดตัว และการเกิดความดันลดสูงได้ การเกิดความดันลดสูงๆนั้นเป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการเพิ่มความดันอากาศเข้ามาในระบบ ปกติระบบการกรองชีวภาพจะเกิดแรงดันลดประมาณ 1-3 นิ้วของน้ำ และใช้พลังงานในการขับดันอากาศประมาณ 1.8-2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหนึ่งพันลูกบาศก์เมตร ความดันลดยังมีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกพื้นผิว (Surface Loading) ในการกำกำจัดสารปนเปื้อนและประเภทของตัวกลาง

2.5.8 ความลึกของชั้นตัวกลาง (Medium Depth) ความลึกของชั้นตัวกลางในระบบการกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ที่ 0.5-2.5 เมตร ซึ่งปกติในการออกแบบจะกำหนดความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร เพื่อเป็นการป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง

2.5.9 การบำบัดก๊าซเสียขั้นต้น (Waste Gas Pretreatment) การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับก๊าซมลพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบกระจายอากาศ ทั้งยังมีจุดมุ่งหมายในการจัดเตรียมก๊าซเสียให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบการกรองชีวภาพ เช่น กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับก๊าซและการปรับสภาพอุณหภูมิของก๊าซให้เหมาะสม เป็นต้น

2.5.10 การดูแลรักษา (Maintenance) ระยะเวลาและความถี่ของการบำรุงรักษาระบบตัวกรองชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการรวมทั้งอุณหภูมิ ก๊าซเสียความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณความชื้นของชั้นตัวกรอง ความเสถียรของตัวกลางอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างและความดันต้านกลับซึ่งได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมต่อการใช้งาน และในส่วนของวัสดุตัวกลางที่ใช้ควรสามารถใช้งานได้ 2-4 ปี ก่อนจะถึงเวลากำจัด และราคาค่าวัสดุตัวกลางควรจะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่นรวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควรจะต่ำ การเปลี่ยนตัวกลางใหม่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลงกว่าค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อความดันลดสูงมาก (Mohseni, Allen and JNichols.1998: 205-211)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โตสาติ และจินสิริวานิต (Tosati and Jinsiriwanit. 2013 : 68) ได้พัฒนากระบวนการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในท้องถิ่น โดยใช้ระบบฟอกชีวภาพทดลองในระบบที่มีปริมาตร 1.5 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria ที่แยกได้จากโรงบำบัดน้ำเสียในท้องถิ่น ที่ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าในช่วง407-4,153ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร ใช้ระยะเวลากักเก็บก๊าซที่ 63 วินาทีที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 37 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงร้อยละ80

สุ และคณะ (Su, et al. 2013 : 1288-1293) ศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ ทดลองในระบบที่มีปริมาตร 730 ลิตรในระดับฟาร์มโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มSulfur Oxidizing Bacteria ตรึงบนพื้นผิว Light-Expanded Clay Aggregates และ Small Rasching Rings โดยใช้Polypropylene Columns เป็นวัสดุตัวกลางให้เชื้อจุลินทรีย์ยึดเกาะมีปริมาตรสำหรับบรรจุตัวกลาง Polypropylene Columns608 ลิตร ใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า 4,691 ± 1,532 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์130 ลิตรต่อนาทีพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าร้อยละ 93

เจียง และเทย์ (Jiang and Tay. 2010 : 1635-1641) ศึกษาโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพแบบหยด ในการย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในระดับห้องปฏิบัติการทดลองในระบบที่มีปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteriaอาหารเหลวที่ใช้คือ NH_4Cl–N KH_2PO_4 K_2HPO_4 $NaHCO_3$ และ Trace Element Solution ตรึงเชื้อแบคทีเรียบน Exhausted Carbonที่มีปริมาตรสำหรับบรรจุตัวกลาง 2 ลิตร พบว่า ที่ความเข้มข้นของก๊าซขาเข้า40

ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร ที่อัตราการไหลของก๊าซ137 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ระยะเวลากักเก็บก๊าซที่ 4 วินาทีพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าร้อยละ 90 และแอมโมเนีย มากกว่าร้อยละ95 ซึ่งถูกบำบัดโดยพร้อมกัน

รามิเรซ และคณะ (Ramirez, et al. 2009 : 4989-4995) ศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบกรองชีวภาพแบบหยด ทดลองในระบบที่มีปริมาตร1ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Thiobacillus thioparus* (ATCC 23645) อาหารเหลวที่ใช้คือ Na_2HPO_4 $KH_2PO_4$$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ $(NH_4)_2SO_4$$CaCl_2$ $FeCl_3$$MnSO_4$และ $Na_2S_2O_3$ตรึงเชื้อแบคทีเรียบน Polyurethane Foam พบว่า *Thiobacillus thioparus* (ATCC 23645) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูป-ท่อนเคลื่อนที่ได้ จัดอยู่ในกลุ่ม Beta Proteobacteria(ออโตโทรฟิกแบคทีเรีย) อยู่ในพวกObligate Chemoautotrophเป็นกลุ่ม Strictly Aerobe ต้องการแหล่งพลังงานจากการออกซิไดซ์ Sulfur และสารประกอบElemental Sulfurมีการเจริญในช่วง pH ระหว่าง 6.6-8.2 และเจริญในช่วง pHที่เหมาะสมระหว่าง6.6-7.2 ที่อุณหภูมิเหมาะสม 28 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซขาเข้า 18.5 ลิตรต่อชั่วโมงที่อัตราการไหลของก๊าซ2.89 ± 0.05, 11.5 ± 0.1 กรัมซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ระยะเวลากักเก็บก๊าซเท่ากับ 150 วินาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าร้อยละ99

นามกุง ฮาน และซอง (Namgung, Ahn and Song. 2012: 1143-1148) ได้พัฒนาระบบตัวกรองชีวภาพแบบ 2 ระยะ ซึ่งประกอบด้วยหอดูดซึมแบบไร้อากาศและตัวกรองชีวภาพแบบใช้อากาศในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการทางชีวภาพ ทดลองในระบบที่มีปริมาตร 2 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มSulfur Oxidizing Bacteria และ *Acidithiobacillus thiooxidans* ที่แยกได้จากมูลไส้เดือนเป็นหัวเชื้อในระบบตัวกรองชีวภาพแบบใช้อากาศ ซึ่งอาหารเหลวที่ใช้คือ$Na_2S_2O_3$$K_2HPO_4$ KH_2PO_4 $NH_4Cl$$MgCl_2 \cdot 7H_2O$ และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ตรึงเชื้อแบคทีเรียบนตัวกลาง Polyurethane Foam ที่มีปริมาตรสำหรับบรรจุตัวกลาง 1.5 ลิตร ซึ่งพบว่า *Acidithiobacillus thiooxidans*เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน จัดอยู่ในกลุ่ม Beta Proteobacteria (ออ-โตโทรฟิกแบคทีเรีย) อยู่ในพวกObligate Chemoautotrophเป็นกลุ่มStrictly Aerobe ต้องการแหล่งพลังงานจาก Thiosulfate, Sulfide มีการเจริญในช่วง pH ระหว่าง1.5-6.3 และเจริญในช่วงpH ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วนที่อัตราการไหลของก๊าซ0.5ลิตรต่อนาทีมีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าร้อยละ 97

นิโซลา และคณะ (Nisola, et al. 2010 : 1131-1138)ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพแบบหยด ทดลองในระบบที่มีปริมาตร500มิลลิลิตรใน

ระดับแบบกะโดยใช้แบคทีเรีย *Bordetella* sp. Sulf-8 ที่แยกได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิ-เวเต็ดสลัดจ์อาหารเหลวที่ใช้คือ Thiosulfate Broth ที่ประกอบด้วย$Na_2S_2O_35H_2O$ KH_2PO_4 K_2HPO_4 NH_4Cl $MgCl_2{\cdot}6H_2O$ $FeCl_3{\cdot}6H_2O$ และ yeast ตรึงเชื้อ*Bordetella* sp. Sulf-8บน Polyurethane Foam ที่มีปริมาตรสำหรับบรรจุตัวกลาง 3 ลิตรพบว่า*Bordetella* sp. Sulf-8 เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน ขนาด 0.8-2.9 ไมโครเมตรมีค่า G+C Content ร้อยละ 56 จัดอยู่ในกลุ่ม Beta Proteobacteria(เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย)อยู่ในพวก Obligate Chemoheterototroph เป็นกลุ่ม Strictly Aerobe ต้องการแหล่งพลังงานจากการ Metabolize Thiosulfate หรือ Sulfideไปเป็น Sulfateแหล่งคาร์บอนจาก Carbon Dioxideและแหล่งไนโตรเจนจาก Nitrogen, Ammonium Chloride และYeastExtract มีการเจริญในช่วง pH ระหว่าง 2.0-9.0 และเจริญในช่วง pHที่เหมาะสมเท่ากับ 7.0 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า134 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร(ppm_v) ที่ระยะเวลากักเก็บก๊าซ9 วินาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ99

รัตนพันธ์ และคณะ (Rattanapan, et al. 2010 :383-387) ศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ ทดลองในระบบที่มีปริมาตร 5 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Alcaligenes faecalis* T307 ที่แยกได้จากน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นอาหารเหลวที่ใช้คือ Thiosulfate Mineral Salt Medium ที่ประกอบด้วย KNO_3 NH_4Cl KH_2PO_4 $NaHCO_3$ $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ $Na_2S_2O_3{\cdot}5H_2O$ และ Trace Element Solution ตรึงแบคทีเรียบนถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon)พบว่า *Alcaligenes faecalis* T307เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปท่อน เคลื่อนที่ได้ จัดอยู่ในกลุ่มBeta Proteobacteria (เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย) อยู่ในพวก Obligate Chemoheterotroph ต้องการแหล่งพลังงานจากThiosulfate, Sulfideแหล่งคาร์บอนจาก Carbon Dioxideและแหล่งไนโตรเจนจาก Nitrogen, Ammonium Chloride, Potassium Nitrate มีการเจริญในช่วง pH ระหว่าง 6.23-7.32 และเจริญในช่วง pH ที่เหมาะสมระหว่าง 7.0-7.5 ที่อุณหภูมิระหว่าง 27-32 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิเหมาะสม 30 องศาเซลเซียส ใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าเท่ากับ 2,000-4,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 35 และ 5.86 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 100

โพธิวิชยานนท์ โภคฐิติยุกต์ และ เครือตราชู (Potivichayanon, Pokethitiyook and Kruatrachue. 2006 : 708-715) ศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบฟอกชีวภาพแบบตรึงฟิล์ม จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate broth (TSB) มีเชื้อจุลินทรีย์เด่นที่พบคือ *Acinetobacter* sp.MU1_3 และ *Alcaligenes faecalis* MU2_03 โดยพบว่าเชื้อทั้ง 2 ชนิดให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าร้อยละ 91 ในขณะที่การใช้เชื้อ 2 ชนิดร่วมกันให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง

ร้อยละ 98 โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของก๊าซเข้าสู่ระบบลดลง ความสูงของตัวกลางและระยะเวลากักเก็บก๊าซ (EBRT) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในช่วงระหว่างการทดลองค่าpH ลดลงแต่ไม่ต่ำกว่า 6.4 เนื่องมาจากการใช้อาหารเหลวที่เหมาะสม ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องมาจากกระบวนการเกิดออกซิเดชันไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟต ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาเดียวกัน

ซิลวา เมซซารี อิเบลลี และเกรกอรี่ (Silva, Mezzari, Ibelli and Gregory. 86 : 248-25) ทำการศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรโดยใช้เชื้อ *Azospirillum* sp. ที่คล้ายกลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบไร้อากาศ โดยใช้การทดลองแบบกะ (Batch Experiment) ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า1,200 ส่วนในล้านส่วน (ppm) พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 97จากการพิสูจน์ชนิดของเชื้อแบคทีเรีย โดยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วนของ 16S rRNA พบว่าประชากรที่โดดเด่นมีความคล้ายกับไอโซเลท *Azospirillum* strain C5 (คล้ายกันถึงร้อยละ 99) และเมื่อนำเซลล์ของแบคทีเรีย *Azospirillum* sp.มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า จากภาพถ่ายแสดงให้เห็นกลุ่มเซลล์ที่อยู่ติดกันเป็นเม็ดเล็กๆคล้ายกับการจัดเก็บซัลเฟอร์ภายในเซลล์ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์นี้มีบทบาทสำคัญในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพ

โจว อิมาอิ อุกิตะ ลี และยัวซ่า (Zhou, Imai, Ukita, Li and Yuasa. 2007 : 924-929) ศึกษาถึงผลกระทบของการเติมอากาศในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พบว่าการมีอากาศอย่างเพียงพอในระบบจะช่วยทำให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศไม่โดนยับยั้ง เพราะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับอากาศกลายเป็นซัลเฟอร์ ทำให้ระบบไม่โดนยังยั้งโดยสารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

ดิแอซ โลเปส เปเรซ และโปลันโค (Diaz, Lopes, Perez and Polanco. 2010 : 7729) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตในระหว่างการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ทำการศึกษาโดยใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์อากาศและไนเตรทซึ่งทำการทดลองในระบบที่มีปริมาตร 200 ลิตรโดยใช้ระยะเวลากักเก็บ20 วัน ภายใต้สภาวะ Mesophilic โดยเติมออกซิเจนที่0.25 N m^3/m^3ส่งผลให้ระบบมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจาก15,811mg/N m^3ไปเป็น400 mg/N m^3 เมื่อเติมอากาศ 1.27 N m^3/m^3พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าร้อยละ 99 เมื่อความเข้มข้นสุดท้ายมีปริมาณซัลไฟด์เท่ากับ 55mg/N m^3 โดยที่ค่าCOD Removal, VS Reduction และMethane Yieldไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะที่มีออกซิเจน(Microaerobic Conditions) อย่างไรก็ตาม

ความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลงเมื่ออากาศถูกใช้เป็นผลจากการการลดสัดส่วนปริมาณไนโตรเจน นอกจากนี้ไนเตรทไม่ได้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

แจนส์เซน, สเลสเตอร์ แวน โจเคมเซน, บอนต์เซมา และลีตติงกา (Janssen, Sleyster, Van, Jochemsen, Bontsema. and Leettinga. 1998 : 327-333) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของของแข็งซัลเฟอร์ พบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถถูกออกซิไดซ์กลายเป็นของแข็งได้ โดยระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถผลิตซัลเฟอร์ได้ โดยซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นนั้น ถ้าปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมจะอยู่ที่ 5.8 ซึ่งทำให้โพลีเมอร์อยู่ในรูปที่ไม่ชอบน้ำ จึงทำให้แยกออกจากน้ำได้ง่าย

ชุง ลิน เซง (Chung, Lin and Tseng. 2005 : 1812-1820)ศึกษาความสามารถในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซผสมโดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพแบบหยด (Biotrickling Filter) โดยทำการตรึงเชื้อ *Pseudomonas putida* CH11 บนถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวกลางให้เชื้อยึดเกาะ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 100

อากีลาร์ คาร์เบรียเลส และเวการ์(Aguilar, Cabriales and Vega. 2008 : 359-370) ได้คัดแยกเชื้อจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในระบบตัวกรองชีวภาพซึ่งจากการคัดแยกพบว่ามีแบคทีเรียจีนัส *Ochrobactrum* sp. สามารออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria

บีเฮอรา มิสชราเดตตา และทาตออิ(Behera, Mishra, Dutta and Thatoi. 2014 : 2900) ได้ศึกษาแบคทีเรียกลุ่ม*Rhodopseudomonas* sp.โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autorotrophic Bacteria) ซึ่งจะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน แล้วเข้าสู่กระบวนการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต

ยูวว์ โยว์ ชอยย์ โชว์ และชาร์ (Ryu , Yoo, Choi, Cho, and Cha. 2009:501-506) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความสัมพันธ์กับการผกผันของความเข้มข้นขาเข้าไฮโดรเจนซัลไฟด์ และอัตราการไหลของก๊าซโดยใช้แบคทีเรียกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria ที่แยกได้จากการระบบตัวกรองชีวภาพโดยได้ระบุว่าเป็นเชื้อ*Bacillus* sp.

ฟรีดิช โรเธอร์ บาร์ดิสชิวสกายน์ ควีนไมเออร์ และฟิสเชอร์(Friedrich,Rother,Bardischewsky, Quentmeier and Fischer. 2001 : 2873-2882) ได้ศึกษาแบคทีเรียในกลุ่มSulfur Oxidizing Bacteriaในการเกิดออกซิเดชันทางชีวภาพของไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟตที่เป็นหนึ่งในปฏิกิริยาที่สำคัญของวัฏจักรซัลเฟอร์ โดยพบว่า *Methylobacterium* sp. เป็นหนึ่งในแบคทีเรียที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต

ซรีดาร์ วีเรนดาร์ สิวาจิ และ กายาร์ท (Sridar, Veerender, Sivaji and Gayath. 2015 : 72-80) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์ซัลเฟอร์จากระบบนิเวศที่แตกต่างกัน โดยพบว่า *Burkholderia* sp. เป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoautotroph)

เซาว์ ลูวัง ซัว และซาง (Zhao , Luo, Wang, Zhou and Zhang. 2010 : 2344-2351) ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากโรงงานน้ำยางข้น โดยใช้ *Sphingomonas* sp. ซึ่งพบว่าเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria โดยพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 86.7

ลู เทียน และลิน (Luo, Tian, and Lin. 2013 : 1393-1399)ได้คัดแยกเชื้อจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในระบบตัวกรองชีวภาพจากการคัดแยกพบว่ามีแบคทีเรียจีนัส *Paracoccus* sp. ซึ่งพบว่าจัดอยู่ในกลุ่มFacultative Chemolithotrophic สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

Scale	Process type	Type Bed	Bed Volume	Pollutants Treated and Inlet Gas Concentration	Gas Flow Rate and Empty Bed Residence Time	Bacteria	Removal Efficiency	Innoculation	Reference
Laboratory	Bioscrubber	-	1.5 L	407 - 4153 ppmv	37 g H_2S m^{-3} h^{-1} 63 s	Sulfur Oxidizing Bacteria	80% (H_2S)	Sulfur Oxidizer from a Local Waste Water Treatment Plant	Tosati, et al. (2013 : 68)
Farm	Biofilter	LECAs and Small Rasching Rings Polypropylene Columns	730 L	4,691± 1,532 mg/m^3	130 L/min	Sulfur Oxidizing Bacteria	93% (H_2S)	Immobilization of SOB on the Surface and Inside the Matrix	Su, et al. (2013 : 1288-1293)
Laboratory	Biotrickling filter	Exhausted Carbon	2 L	40 ppmv	137 g m^{-3} h^{-1} 4 s	Sulfur Oxidizing Bacteria	90% (H_2S) 95% (NH_3)	Activated sludge stream	Jiang, et al. (2010 : 1635-1641)
Laboratory	Biotrickling filter	Polyurethane Foam	1 L	18.5 L/h	2.89 ± 0.05, 11.5 ± 0.1 g S/m^{-3}/h^{-1} 150 s	*Thiobacillus thioparus* (ATCC 23645)	99% (H_2S)	Immobilization of *Thiobacillus thioparus* On PUF	Ramírez, et al. (2009 : 4989-4995)

ตารางที่ 2.3 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (ต่อ)

Scale	Process type	Type Bed	Bed Volume	Pollutant Treated and Inlet Gas Concentration	Gas Flow Rate and Empty Bed Residence Time	Bacteria	Removal Efficiency	Innoculation	Reference
Laboratory	Biofilter	Polyurethane Foam	1.5 L	400 ppm	0.5 L/min	*Acidithiobacillus thiooxidans,* Sulfur oxidizing bacteria	97% (H_2S)	Immobilization of *Acidithiobacillus thiooxidans* on PUF	Namgung, Ahn and Song (2012 : 1143-1148)
Bath	Biotrickling filter	Polyurethane Foam	500 mL	134 ppmv	9 s	*Bordetella* sp. Sulf-8	99% (H_2S)	Activated Sludge in Local Municipal Wastewater	Nisola, et al. (2010 : 1131-1138)
Laboratory	Biofilter	Granular Activated Carbon	1 L	200-4000 ppm	35 and 5.86 $l\ h^{-1}$	*Alcaligenes faecalis* T307	100% (H_2S)	Immobilization of *Alcaligenes faecalis* on GAC	Rattanapan,et al. (2010 : 383-387)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างก๊าซชีวภาพและตะกอนจุลินทรีย์ในระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber) ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

1.โรงงาน P=บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด

2.โรงงานL= บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

3.โรงงาน I = บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด

4.โรงงาน U= บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

5.โรงงานA= บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด

6 .โรงงาน S=บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

7 .โรงงาน N= บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัด

8 .โรงงาน T= บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด

3.2 วิธีการทดลอง

ประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงานโดยใช้แบบสอบถาม แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) เมื่อได้แหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดแล้ว ทำการติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อดูประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพ แล้วศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศ จุลินทรีย์ และไนเตรท) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์หาตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพ

3.2.1 การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในห้องปฏิบัติการ

ในขั้นตอนนี้ เป็นการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 8 โรงงาน จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้วนำข้อมูลที่ได้มาเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัด

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยออกแบบและติดตั้งระบบบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งแบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวน8โรงงาน

แบบสอบถาม	โรงงาน...	โรงงาน...	โรงงาน...	โรงงาน...
1. ชนิดของระบบ				
2. ปริมาตรของระบบ (m^3)				
3. ความสูงของระบบ (m)				
4. ความกว้างของระบบ (m)				
5.เส้นผ่าศูนย์กลางของระบบ (m)				
6. ชนิดของชั้นตัวกลางที่ใช้ในระบบ				
7. พื้นที่ผิวของตัวกลาง (m^3)				
8. ขนาดของตัวกลาง (mm)				
9.ความเข้มข้นของH_2S ขาเข้า (ppm_v)				
10. ความเข้มข้นของ H_2S ขาออก (ppm_v)				
11. อัตราการไหลของ H_2S (m^{-3} h^{-1})				
12. อัตราการไหลของอากาศ (m^{-3} h^{-1})				
13. ระยะเวลากักเก็บก๊าซ (hr)				
14. อุณหภูมิในระบบ (ºC)				
15. ความชื้นในระบบ (%)				
16. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบ				
17. ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S (%)				

3.2.2 ประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์บำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองในส่วนนี้ดำเนินการเพื่อศึกษากิจกรรมในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพโดยวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซ

ชีวภาพวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) วิเคราะห์ซัลเฟอร์(S^0)วิเคราะห์ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และวิเคราะห์ซัลไฟด์ (S^{2-}) โดยขั้นแรกเตรียมระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ขวดซีรั่มขนาด 500 มิลลิลิตร ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ปริมาตร 75 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium แสดงในตารางที่ 5 ปริมาตร 175 มิลลิลิตร (ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แทน $Na_2S_2O_3.5H_2O$) ปิดฝาขวดซีรั่ม เขย่า และป้อนก๊าซชีวภาพเข้าไปในขวดซีรั่มปริมาตร 300 มิลลิลิตร ติดตามกิจกรรมการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพ ดังตารางที่ 3.3 โดยเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อและเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 5 วัน

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อThiosulfate Mineral Medium

Composition	mg/L
KH_2PO_4	2
K_2HPO_4	2
NH_4Cl	0.4
$MgCl_2.6H_2O$	0.2
$FeSO_4.7H_2O$	0.01
$Na_2S_2O_3.5H_2O$	8.0

(ที่มา : Nisola, et al. 2010 : 1132)

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษากิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบตัวกรองชีวภาพ

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
Composition of Biogas	Gas Chromatography (O-Thong, Boe and Angelidaki. 2012 : 649)
H_2S	Cadmium Sulfide Method (Jacob. 1996 : 304-308)
pH	Electrometric Method (APHA.2012 : 4-91)
S^0	Gravimetric method (APHA. 2012 : 2-65)
SO_4^{2-}	Turbidimetric Method (APHA. 2012 : 4-190)
S^{2-}	Sulfide Test Kit

3.2.3 ศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis

ศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)โดยเริ่มจากขั้นตอนการสกัดดีเอ็นเอโดยสกัดด้วยเม็ดบีดส์ (Bead Extraction)นำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ 1 มิลลิลิตร มาละลายใน2x TENS buffer 500 ไมโครลิตร จากนั้นนำไป Homogenization ที่ 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาทีและนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที เตรียมทิวป์ขนาด 2 มิลลิลิตร แล้วดูดส่วนใสที่ได้ 450 ไมโครลิตรใส่ทิวป์ จากนั้นทำให้เซลล์แตกโดยเติม Lysozyme (100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)ปริมาณ 50 ไมโครลิตรเขย่าเบาๆให้เข้ากันนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงจากนั้นเติมSDS 200 ไมโครลิตรและเติมเอนไซม์ Proteinase K (20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)ปริมาณ 40ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงตกตะกอนโปรตีนด้วยPhenol : Chloroform : Isoamyl Alcohol ปริมาณ 450 ไมโครลิตรนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา10 นาทีจากนั้นดูดส่วนใสใส่หลอดใหม่และเติม Chloroform : Isoamyl Alcohol ปริมาณ400 ไมโครลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นดูดส่วนใสใส่หลอดใหม่ และตกตะกอนดีเอ็นเอด้วย3โมลาร์โซเดียมอะซีเตท 100 ไมโครลิตรและ Absolute Ethanol 400 ไมโครลิตรนำไปบ่มที่-20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2ชั่วโมงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว12,000รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีและล้างด้วย Ethanol 1,000ไมโครลิตรแล้วปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ทำตะกอนให้แห้ง 1.5 ชั่วโมง แล้วละลายตะกอนใน TE Buffer 30 ไมโครลิตรเก็บไว้ที่-20 องศาเซลเซียส สำหรับใช้เป็น PCR Template (Ausubel, Brent, Kingston, Moore, Seidman, Smith and Struhl. 1995 :2.1.1-2.1.3)

การเพิ่มปริมาณ 16SrDNA โดยวิธีPolymerase Chain Reaction(PCR)โดยนำตัวอย่างดีเอ็นเอที่สกัดได้มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1นาทีสำหรับการทำ PCR ครั้งแรก Reaction Mixture ประกอบด้วย Taq PCR Master Mix Kit (ประกอบด้วยQIAGEN PCR Buffer, Deoxynucleotide Triphosphate) 25 มิลลิลิตร, RNase Free Water 18 ไมโครลิตร, 5X CoralLoad Concentrate 5 ไมโครลิตร Universal Primer 1525r (5-AAG GAG GTG WTC CAR CC-3) 5 ไมโครลิตรและ 27f (5-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3) 0.5 ไมโครลิตร และ DNA Template2ไมโครลิตร โปรแกรม PCR แรกประกอบด้วย Pre Denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาทีสำหรับ Denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30วินาที Annealing ที่ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา40วินาทีและ Elongation ที่ 72องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 วินาทีรวมทั้งหมด 25 รอบและ Post-Elongation ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5นาทีหลังจากนั้นตรวจสอบ PCR Product

ในร้อยละ 1.5 Agarore Gel และนำ PCR Product ดังกล่าวไปใช้ในการทำ PCR ครั้งที่สองโดยใช้ Primer 518r (5-GTA TTA CCG CGG G CTG CTG-3) และ357f-GC (5-CTC CTA CGG GAG GCA GCA G–3) (ที่มี 40 bp GC clamp จบที่5' (Muyzer, et al. 1993 : 695-700)โดยโปรแกรมPCR ประกอบด้วย Denaturationที่94 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาทีAnnealing ที่ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.75 นาที และ Elongation ที่72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา1นาทีรวม30 Cycles ตามด้วย Post-Elongation ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา10 นาทีหลังจากนั้นนำPCR Products ไปวิเคราะห์บนร้อยละ1.5 Agarose Gel ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยDGGE ต่อไป (Kongjan, O-Thong, and Angelidaki. 2011:14261-14269)

เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) ใช้ PCR Products ครั้งที่สองวิเคราะห์บนร้อยละ 8(v/v) Polyacrylamide Gels Denaturant Gradient ที่ร้อยละ40-70, Electrophoresis ที่ 70 โวลต์ นาน 16 ชั่วโมงใน 0.5xTAE Buffer ที่ 60 องศาเซลเซียสย้อมสี DGGE Gels ด้วย SYBRGold นาน 1 ชม. แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gel Doc ตัดแถบแบนดีเอ็นเอเด่นจากเจล DGGE และทำให้บริสุทธิ์ โดยนำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธี PCR ดังวิธีข้างต้น โดยใช้ Primer 518r (5- GTA TTA CCG CGG G CTG CTG -3)และ Primer 357f (with out GC) (5 - CCT ACG GGA GGC AGC AG - 3) แล้วส่งไปวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับลำดับเบสของจุลินทรีย์อ้างอิงโดยใช้โปรแกรม SeqMatchในฐานข้อมูล Ribosomal Database Project (http://rdp.cme.msu.edu) และ NCBI Web Interface (http://www.ncbi.nlm.nih.gov)

3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

3.2.4.1 การออกแบบและติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

เตรียมตัวกลางพลาสติก(Plastic Media) ให้เชื้อแบคทีเรียยึดเกาะเพื่อนำไปศึกษากิจกรรมในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพ โดยตัวกลางพลาสติกมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 460 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ส่วนระบบตัวกรองชีวภาพในการทดลองนี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำจากคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตรโดยชั้นตัวกลางมีความสูง 30 เซนติเมตร มีปริมาตรสำหรับบรรจุตัวกลางที่มีเชื้อเกาะบนพื้นผิววัสดุ 1 ลิตรซึ่งบรรจุตัวกลางได้ 162 ชิ้น

3.2.4.2 การสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อแบคทีเรียบนตัวกลางพลาสติก

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาดูว่าเชื้อแบคทีเรียยึดเกาะบนอนุภาคของตัวกลางพลาสติก และมีการผลิตโครงสร้างที่เรียกว่า “ไบโอฟิล์ม” (Biofilm) เคลือบอยู่ที่ผิวนอกของอนุภาคตัวกลางพลาสติก จากการคัดเลือกแหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด จากการทดลองที่ 3.4.2โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในขวดรูปชมพู่ขนาด 1 ลิตร(ใช้ขวดรูปชมพู่เป็นถัง

ไหลวน) เติมตะกอนจุลินทรีย์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกยางที่ต่อด้วยสายยางจากเครื่องปั๊มสูบจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump)จากนั้นเตรียมระบบตัวกรองชีวภาพโดยใช้คอลัมน์ขนาด 1 ลิตรใส่ตัวกลางพลาสติกลงไปจำนวน 162 ชิ้นปิดด้วยจุกยางที่ต่อกับเครื่องปั๊มสูบจ่ายของเหลวและตั้งค่าอัตราการไหลเป็น 8 รอบต่อนาที (rpm) จากนั้นเดินระบบ เปลี่ยนอาหารเลี้ยงเชื้อกับตะกอนจุลินทรีย์ทุกๆ 7 วัน โดยเลี้ยงเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เชื้อเกาะบนตัวกลางพลาสติกได้มากที่สุด

3.2.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

เมื่อได้ระยะเวลาที่เชื้อเกาะบนตัวกลางพลาสติกได้มากที่สุด ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยป้อนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบ กำหนดการแปรผันอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ 60 รอบต่อนาที และกำหนดอัตราการไหลของของเหลวที่ 8 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลากักพัก 2, 1, 0.7, 0.5, 0.4 วินาที ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้ทำการเดินระบบแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 7 เก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ในคอลัมน์และก๊าซชีวภาพในระบบเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

วันที่	อัตราการไหลของก๊าซ H_2S (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลของของเหลว (รอบต่อนาที)	เวลากักพัก (วินาที)
1-10	500	8	2
11-20	1,000	8	1
21-30	1,500	8	0.7
31-40	2,000	8	0.5
41-50	2,500	8	0.4

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
H_2S	Cadmium Sulfide Method (Jacob. 1996 : 304-308)
Composition of Biogas	Gas Chromatography (O-Thong, Boe and Angelidaki. 2012 : 649)
pH	Electrometric Method (APHA. 2012 : 4-91)
S^0	Gravimetric method (APHA. 2012 : 2-65)
SO_4^{2-}	Turbidimetric Method (APHA. 2012 : 4-190)
S^{2-}	Sulfide Test Kit

3.2.5 ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

3.2.5.1 ศึกษาผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศจุลินทรีย์และไนเตรท) เพื่อดูปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงจากกระบวนการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพโดยเติมไนเตรท($NaNO_3$, $Mg(NO_3)_2$ KNO_3 (Nitrate) ปริมาตร 8.5 กรัมต่อลิตรในอัตราส่วนของ Na : Mg : K เท่ากับ 1 : 1 : 2 ลงไปในระบบตัวกรองชีวภาพ (Diaz, et al. 2010 : 7729) เปรียบเทียบ 2 ช่วงการทดลอง คือ การทดลองแรกมีการเติมไนเตรท และป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ไม่เติมอากาศ) ส่วนการทดลองที่ 2 เติมไนเตรท ป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเติมอากาศด้วยทำการเดินระบบดังตารางที่ 3.6 และทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 แผนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

วันที่	อัตราการไหลของก๊าซ H_2S (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลของอากาศ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลของของเหลว (รอบต่อนาที)	เวลากักพัก (วินาที)
1-7	1,500	-	8	0.7
8-14	1,500	10	8	0.7

ตารางที่ 3.7 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
H_2S	Cadmium Sulfide Method (Jacob. 1996 : 304-308)
Composition of Biogas	Gas Chromatography (O-Thong, Boe and Angelidaki. 2012 : 649)
pH	Electrometric Method (APHA. 2012 : 2-91)
S^0	Gravimetric method (APHA. 2012 : 4-65)
SO_4^{2-}	Turbidimetric Method (APHA 2012 : 4-190)
S^{2-}	Sulfide Test Kit

3.2.5.2 ศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

ศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในระบบ โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุด และเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังเติมอากาศ เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Kongjan, O-Thong, and Angelidaki. 2011:14261-14269)

3.2.6 ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพ

3.2.6.1 เวลากักพัก (Empty Bed Residence Time, EBRT) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของก๊าซ (อัตราการไหลของก๊าซ) และปริมาตรของตัวกลางภายในระบบตัวกรองชีวภาพ ดังสมการที่3.1

$$EBRT = V_f/Q_{Air} \quad (3.1)$$

โดยที่ V_f = ปริมาตรทั้งหมดของระบบตัวกรองชีวภาพ

Q_{Air} = อัตราการไหลของอากาศ

3.2.6.2 ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency) แสดงถึงความสามารถในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าระบบดังสมการที่ 3.2

$$\text{Removal Efficiency} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ C_{in} = ความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ขาเข้าระบบ

C_{out} = ความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ขาออกระบบ

3.2.7 ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพ

3.2.7.1 จุลินทรีย์ : จากการประเมินกิจกรรมของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์และการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresisเพื่อบ่งบอกถึงระบบที่ดีมีจุลินทรีย์เด่นสายพันธุ์ใดบ้าง ที่สามารถบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด

3.2.7.2 ปัจจัยทางกายภาพ : ค่าพีเอช (pH)ที่เปลี่ยนแปลงไป บ่งบอกถึงการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อของจุลินทรีย์ ในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แล้วเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์(S^0) และกลายเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-})

3.2.7.3 ปัจจัยทางเคมี : ปริมาณซัลไฟด์ (S^{2-}) ที่ลดลงปริมาณซัลเฟอร์ (S^0) และปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-})ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อของจุลินทรีย์ที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการสำรวจโดยการสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงานให้ผลสอดคล้องกัน พบว่าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงานใช้ระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber) สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากผลที่ได้พบว่า โรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 98 โรงงาน L (บริษัทล่ำสูง ประเทศไทย จำกัด มหาชน) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 95 โรงงาน I (บริษัท ไทยอินโดปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 91 โรงงาน U (บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 93โรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 98 โรงงาน S (บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 93 โรงงาน N (บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 95 และโรงงาน T (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 93 แสดงดังตารางที่ 4.1

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 แบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน

แบบสอบถาม	โรงงาน P	โรงงานL	โรงงาน I	โรงงานU
1. ชนิดของระบบ	Bioscrubber	Bioscrubber	Bioscrubber	Bioscrubber
2. ปริมาตรของระบบ (m^3)	57	57	57	70
3. ความสูงของระบบ (m)	8	8	8	10
4. ความกว้างของระบบ (m)	3	3	3	5
5. เส้นผ่าศูนย์กลางของระบบ (m)	1.5	1.5	1.5	2.5
6. ชนิดของชั้นตัวกลางที่ใช้ในระบบ	Bio Media Flower Fl-90	Bio Media Flower Fl-90	Bio Media Flower Fl-90	Big Bio Media
7. พื้นที่ผิวของตัวกลาง (m^3)	90×34	90×34	90×34	90×90
8. ขนาดของตัวกลาง (mm)	140	140	140	105
9.ความเข้มข้นของH_2S ขาเข้า (ppm_v)	2,000	1,500	1,500	2,000
10. ความเข้มข้นของ H_2S ขาออก (ppm_v)	20	15	20	25
11. อัตราการไหลของ H_2S (m^{-3} h^{-1})	500	500	500	500
12. อัตราการไหลของอากาศ (m^{-3} h^{-1})	-	-	-	-
13. ระยะเวลากักเก็บก๊าซ (hr)	24	24	24	24
14. อุณหภูมิในระบบ (ºC)	25-35	27-35	27-35	25-35
15. ความชื้นในระบบ (%)	-	75-80	-	80-90
16. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบ	7.29-7.32	7.20-7.30	7.25-7.30	7.25-7.36
17. ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S (%)	98	95	91	93

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

แบบสอบถาม	โรงงานA	โรงงานS	โรงงาน N	โรงงานT
1. ชนิดของระบบ	Bioscrubber	Bioscrubber	Bioscrubber	Bioscrubber
2. ปริมาตรของระบบ (m^3)	50	57	57	50
3. ความสูงของระบบ (m)	10	8	8	10
4. ความกว้างของระบบ (m)	5	4	4	5
5. เส้นผ่าศูนย์กลางของระบบ (m)	2.5	2	2	2.5
6. ชนิดของชั้นตัวกลางที่ใช้ในระบบ	Big Bio Media	Bio Media Flower Fl-90	Bio Media Flower Fl-90	Big Bio Media
7. พื้นที่ผิวของตัวกลาง (m^3)	90×90	90×34	90×34	90×90
8. ขนาดของตัวกลาง (mm)	105	140	140	105
9. ความเข้มข้นของH_2S ขาเข้า (ppm_v)	2,000	1,500	1,500	2,000
10. ความเข้มข้นของ H_2S ขาออก (ppm_v)	20	20	15	25
11. อัตราการไหลของ H_2S (m^{-3} h^{-1})	500	500	500	500
12. อัตราการไหลของอากาศ (m^{-3} h^{-1})	-	-	-	-
13. ระยะเวลากักเก็บก๊าซ (hr)	24	24	24	24
14. อุณหภูมิในระบบ (ºC)	25-35	25-35	27-35	27-35
15. ความชื้นในระบบ (%)	85-95	-	80-85	-
16. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบ	7.25-7.36	7.15-7.25	7.30-7.35	7.20-7.30
17. ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S (%)	98	93	95	93

*หมายเหตุ

โรงงาน P=บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด

โรงงานL=บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

โรงงาน I =บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด

โรงงาน U=บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

โรงงานA=บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด

โรงงาน S=บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

โรงงาน N= บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัด

โรงงาน T= บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด

4.2 ผลการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ (ตะกอนจุลินทรีย์)ในขวดขวดซีรั่มขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งใช้อาหารเลี้ยงเชื้อThiosulfate Mineral Medium (ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แทน $Na_2S_2O_3.5H_2O$) เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพและตะกอนจุลินทรีย์มาวิเคราะห์ทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 5 วันได้ผลดังนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน มาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออก พบว่า โรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด)มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 59-62 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 28-33 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วง ร้อยละ 76-82 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 17-24 และ H_2S ร้อยละ 0.17โรงงานL (บริษัท ล่ำสูง ประเทศไทย จำกัด มหาชน) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 57-61 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 29-35 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 67-78 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 16-26 และ H_2S ร้อยละ0.18โรงงาน I (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 55-59 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 28-33 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 69-85 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 19-27 และ H_2S ร้อยละ 0.20โรงงาน U (บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 59-63 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 27-36 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 59-68 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 19-25 และ H_2S ร้อยละ 0.19 โรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 57-64 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 26-30 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 69-77 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 18-22 และ H_2S ร้อยละ 0.16โรงงาน S (บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 52-64 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 26-32 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 72-79 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 18-26 และ H_2S ร้อยละ 0.19 โรงงาน S (บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 52-64 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 26-32 และ H_2S ร้อยละ 0.95องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 72-79 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 18-26 และ H_2S ร้อยละ 0.19 โรงงาน N

(บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 54-61 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 28-35 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 75-81 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 17-29 และ H_2S ร้อยละ 0.18 โรงงาน T (บริษัท ไทยทาโลว์แอนด์ออยล์ จำกัด) มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าดังนี้ CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 56-62 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 27-36 และ H_2S ร้อยละ 0.95 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาออก CH_4อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 68-74 CO_2 อยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 18-28 และ H_2S ร้อยละ 0.19 แสดงได้ตารางที่ 4.2

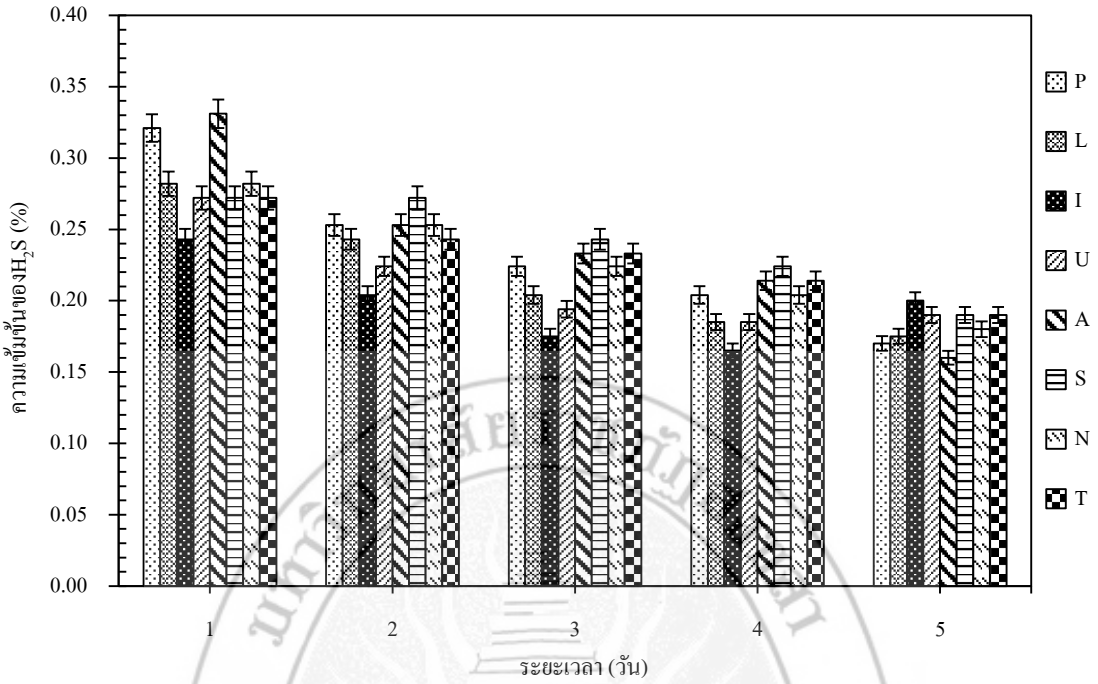
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

โรงงาน	ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ(%)		
		CH_4	CO_2	H_2S
P	ขาเข้า	59-62	28-33	0.95
	ขาออก	76-82	17-24	0.17
L	ขาเข้า	57-61	29-35	0.95
	ขาออก	67-78	16-26	0.18
I	ขาเข้า	55-59	28-33	0.95
	ขาออก	69-85	19-27	0.20
U	ขาเข้า	59-63	27-36	0.95
	ขาออก	59-68	19-25	0.19
A	ขาเข้า	57-64	26-30	0.95
	ขาออก	69-77	18-22	0.16
S	ขาเข้า	52-64	26-32	0.95
	ขาออก	72-79	18-26	0.19
N	ขาเข้า	54-61	28-35	0.95
	ขาออก	75-81	17-29	0.18
T	ขาเข้า	56-62	27-36	0.95
	ขาออก	68-74	18-28	0.19

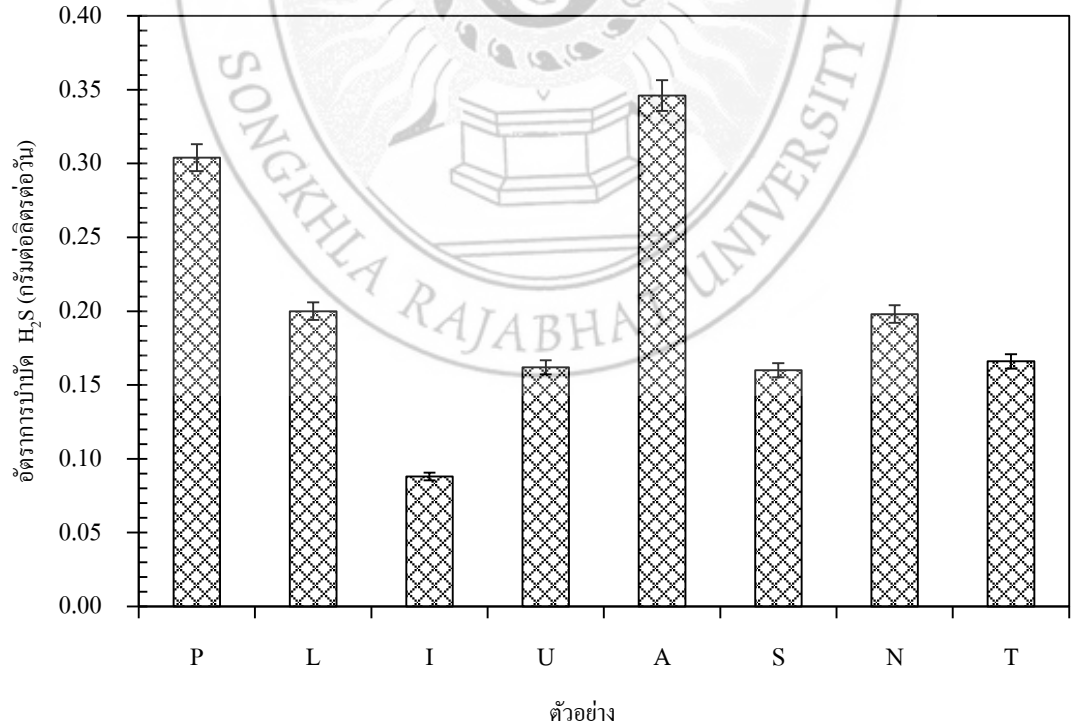
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 8 โรงงานพบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด คือ โรงงานA (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ0.33 และลดลงถึงร้อยละ0.16ภายในช่วงระยะเวลา 5 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 83 รองลงมา คือโรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.32 และลดลงถึงร้อยละ 0.17 ภายในช่วงระยะเวลา 5 วันทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 82 ตามมาด้วยโรงงาน L (บริษัทล่ำสูงประเทศไทยจำกัดมหาชน) และโรงงาน N (บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด) มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.28 และลดลงถึงร้อยละ 0.18 ภายในช่วงระยะเวลา 5 วันทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 81 ส่วนโรงงาน U (บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) โรงงาน S (บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) และโรงงาน T (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด) มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.27 และลดลงถึงร้อยละ 0.19 ภายในช่วงระยะเวลา 5 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ80 และโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำที่สุดคือโรงงาน I (บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด) ซึ่งมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ0.24 และลดลงถึงร้อยละ 0.20 ภายในช่วงระยะเวลา 5 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ 79 ดังแสดงในภาพที่ 4.1

จากผลการทดลองในภาพที่ 9 พบว่า อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอัตราการบำบัดสูงถึง 0.35 กรัมต่อลิตรต่อวันพบในโรงงานA (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) ในทางตรงกันข้าม พบว่าโรงงานI (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่จำกัด) มีอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำสุดเป็น 0.09 กรัมต่อลิตรต่อวัน



ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

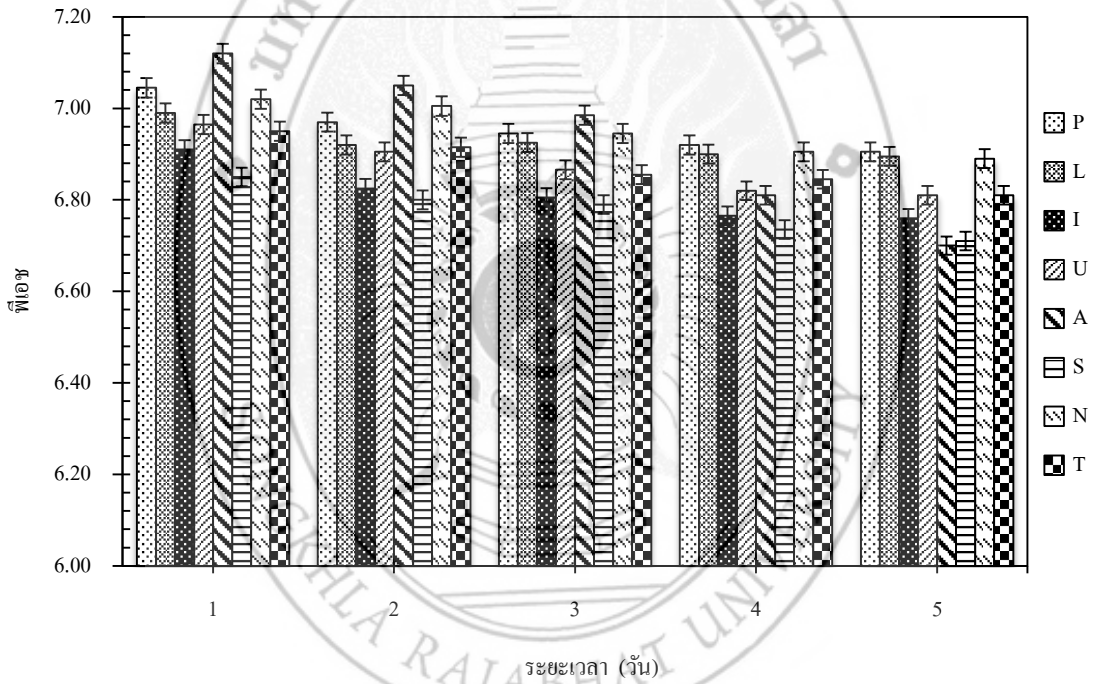


ภาพที่ 4.2 อัตราการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

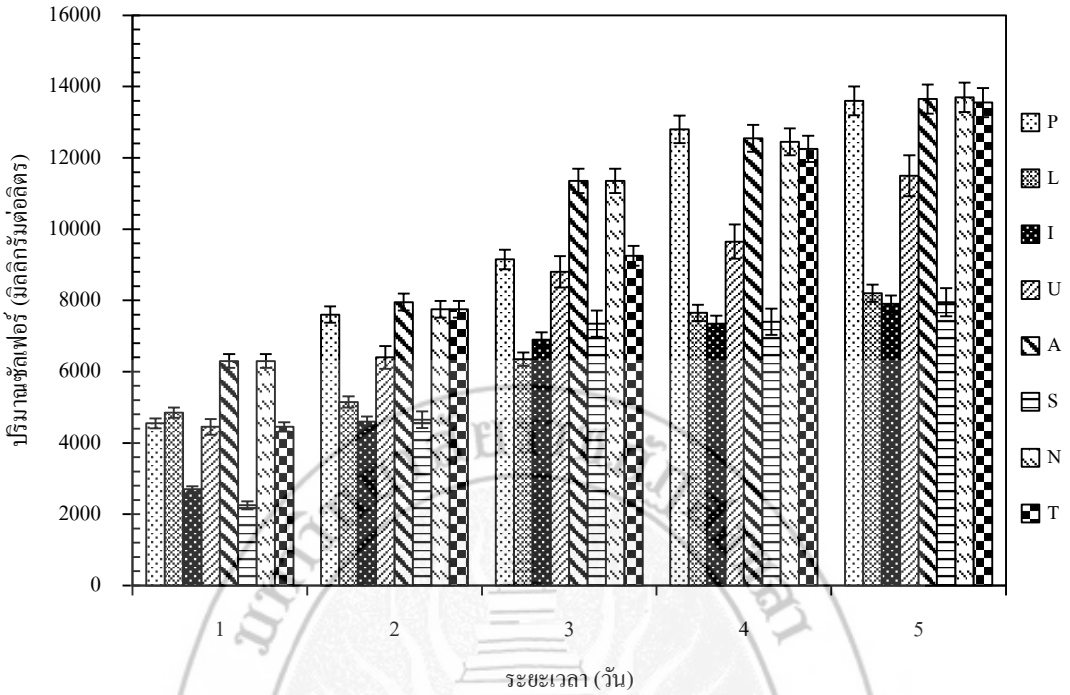
4.2.4 กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

จากการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) มีค่าพีเอชลดลงดีกว่าแหล่งอื่นจาก 7.12 เป็น 6.40 ดังแสดงในภาพที่ 4.3

นอกจากนั้น พบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟอร์ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์สูงกว่าแหล่งอื่น โดยมีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 6,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง13,650 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในระยะเวลา 5 วัน(ภาพที่ 11)



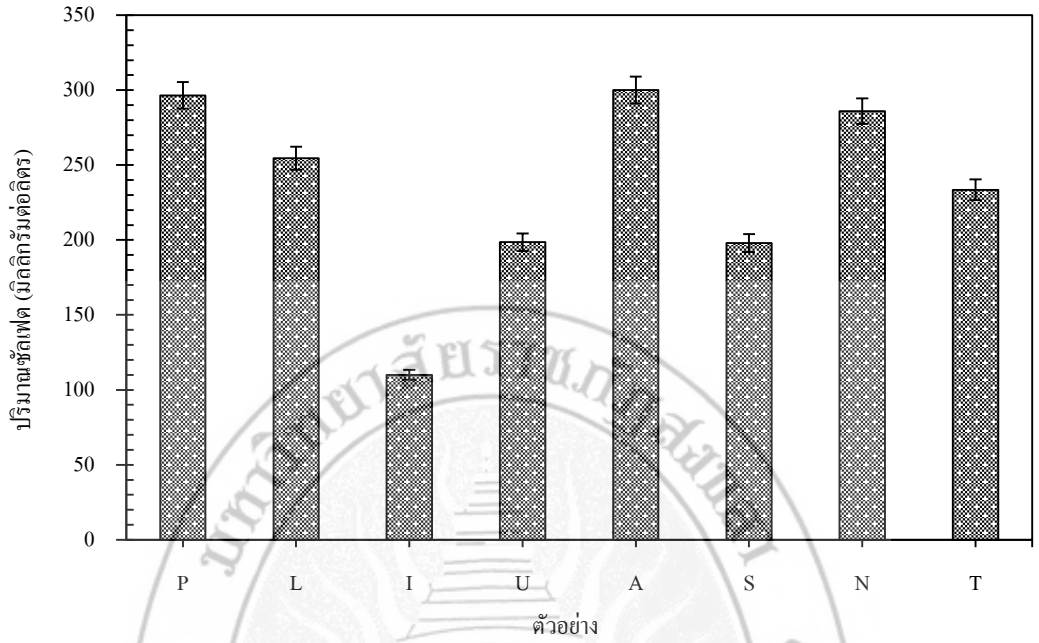
ภาพที่ 4.3 ค่าพีเอชที่ลดลงสำหรับกระบวนการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน



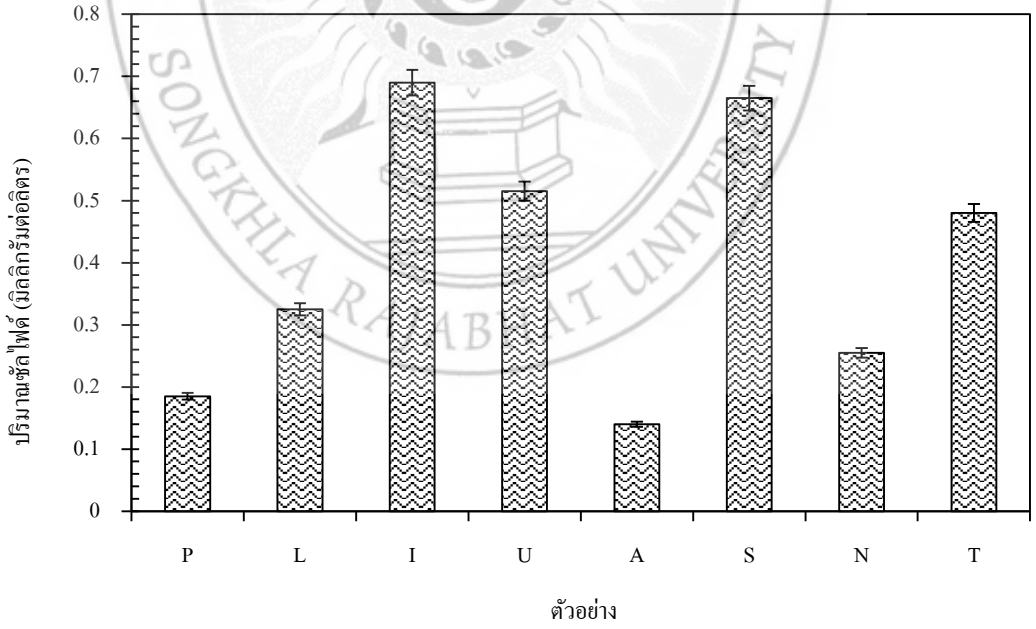
ภาพที่ 4.4 ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการบำบัดH_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

จากการศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตของเชื้อแบคทีเรีย โดยการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-}) พบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตได้ปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตสูงถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่โรงงาน I (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด) มีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตต่ำสุดเท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา 5 วัน (ภาพที่ 4.5)

นอกจากนี้แล้วยังพบว่าโรงงาน A (บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลไฟด์ได้ปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลไฟด์ต่ำสุดเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตรในทางตรงกันข้ามพบว่าโรงงาน I (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด) มีความเข้มข้นของปริมาณซัลไฟด์สูงสุดเท่ากับ 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 5 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการบำบัด H_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

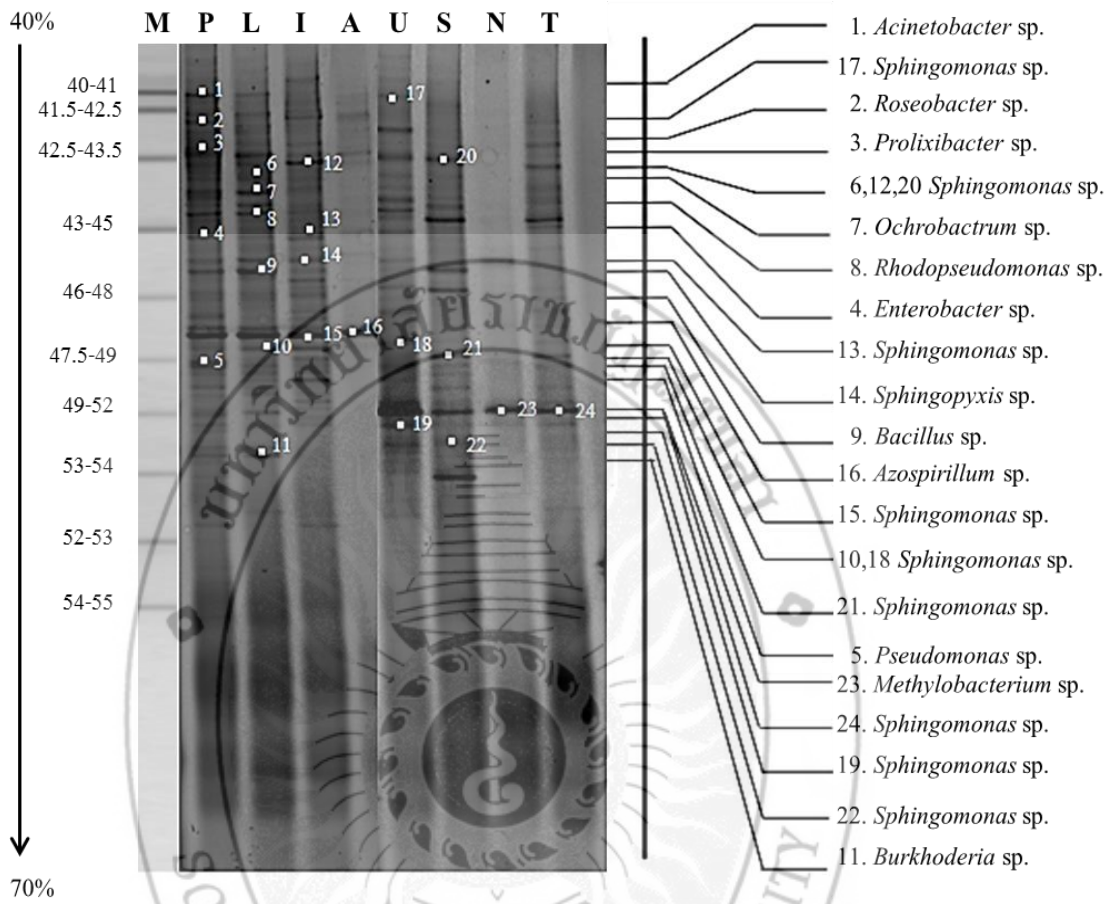


ภาพที่ 4.6 ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงสำหรับกระบวนการบำบัดH_2S จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

จากการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 8 โรงงาน พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพของทั้ง 8 โรงงานมีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 13 จีนัส โดยพบว่า บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด (P) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 5 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter* sp., *Roseobacter* sp., *Prolixibacter* sp., *Enterobacter* sp. และ*Pseudomonas* sp. บริษัท ล่ำสูง ประเทศไทย จำกัด มหาชน (L) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 6 จีนัส ได้แก่ *Sphingomonas* sp., *Ochrobactrum* sp.,*Rhodopseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Sphingomonas* sp.และ *Burkholderia* sp.บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด (I) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัสได้แก่ *Sphingomonas* sp.,*Sphingopyxis* sp. บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด (A) มีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ *Azospirillum* sp. บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน(U) มีแบคทีเรียเด่นเพียง 1จีนัส คือ *Sphingomonas* sp. บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) (S) มีแบคทีเรียเด่นเพียง1 จีนัส คือ *Sphingomonas* sp. บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด(N) มีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ *Methylobacterium* sp. และบริษัท ไทยทาโลว์แอนด์ออยล์ จำกัด (T) มีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ *Sphingomonas* sp. ดังแสดงในภาพที่ 4.7

โครงสร้างประชากรแบคทีเรียในระบบฟอกชีวภาพ (Biosrubber) จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ทั้ง 8 โรงงานพบว่าเด่นด้วยกลุ่มแบคทีเรียจีนัส *Sphingomonas* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่พบได้เกือบทุกโรงงาน และจากการเทียบเคียงประสิทธิภาพบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของโรงงานทั้ง 8 โรงงาน พบว่าแหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุด คือ บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด (A) โดยพบว่ามีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ *Azospirillum* sp. และรองลงมา คือ บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด (P) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 5 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter* sp., *Roseobacter* sp., *Prolixibacter* sp., *Enterobacter* sp. และ*Pseudomonas* sp. ซึ่งความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มากกว่าทำให้ระบบสามารถกำจัด H_2S ได้ในทุกสภาวะ ซึ่งเป็นขอได้เปรียบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกหัวเชื้อจากโรงงาน P เนื่องจากพบกลุ่มแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 5 จีนัส ซึ่งแบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัด H_2S คือ แบคทีเรียกลุ่ม Autotrophic Bacteria (สร้างอาหารได้เองโดยอาศัย CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนด์ บางชนิดใช้แสง และสารอนินทรีย์เป็นพลังงาน) แบคทีเรียอีกกลุ่มคือ Heterotrophic Bacteria (ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน บางชนิดใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน)



ภาพที่ 4.7 โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน

*หมายเหตุ

M= DGGE Marker

P=บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด

L=บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

I =บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด

A=บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด

U=บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

S= บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน)

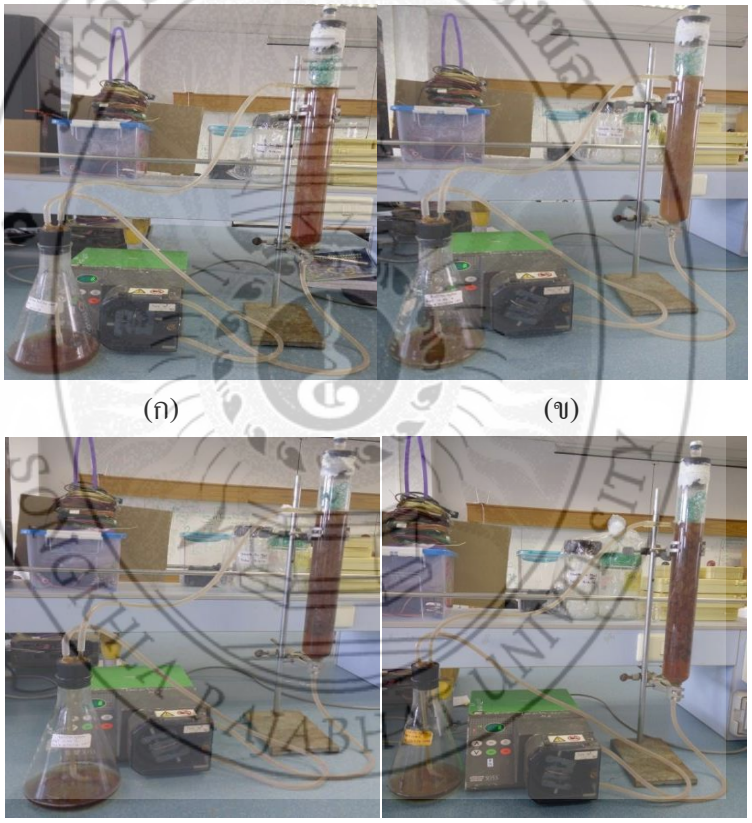
N= บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัด

T= บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

4.4.1 การสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อแบคทีเรียบนตัวกลางพลาสติก

เมื่อได้แหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์มาเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1 ลิตร (ใช้ขวดรูปชมพู่เป็นถังไหลวน) จากนั้นติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพโดยใช้คอลัมน์ขนาด 1 ลิตร ใส่ตัวกลางพลาสติกลงไปในคอลัมน์ ปิดด้วยจุกยางที่ต่อกับปั๊มสูบจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump) เพื่อนำตะกอนจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium ให้เคลื่อนที่จากขวดรูปชมพู่ไปยังคอลัมน์ที่ตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่ โดยเลี้ยงเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลที่ได้พบว่าเชื้อแบคทีเรียมีการสร้างไบโอฟิล์มได้มากที่สุดภายในสัปดาห์ที่ 4 ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อแบคทีเรีย

(ก) สัปดาห์ที่ 1 (ข) สัปดาห์ที่ 2

(ค) สัปดาห์ที่ 3 (ง) สัปดาห์ที่ 4

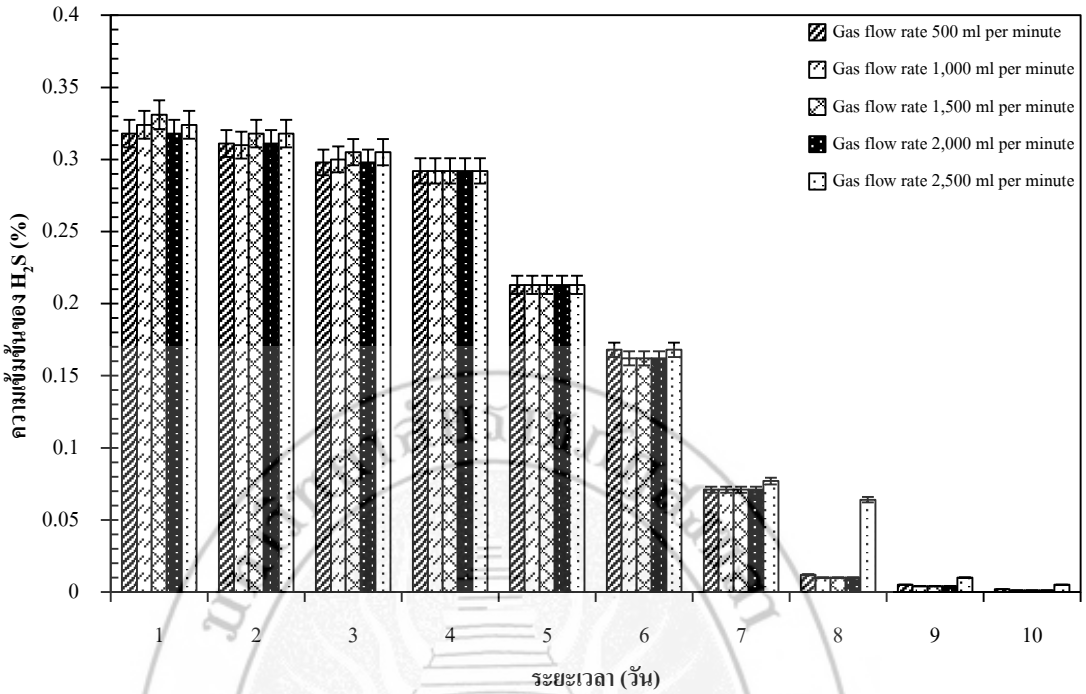
4.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเชื้อแบคทีเรีย โดยเมื่อได้ระยะเวลาที่เชื้อแบคทีเรียยึดเกาะบนตัวกลางพลาสติกได้มากที่สุด จากการป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบ กำหนดการแปรผันอัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ วิเคราะห์กิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) วิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ (S^0) วิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่เพิ่มขึ้น และวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ (S^{2-}) ที่ลดลง ได้ผลดังนี้

4.4.2.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เมื่อนำตัวอย่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบมาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.318 และลดลงเป็นร้อยละ 0.002 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.37 จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.324 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001 ภายในระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.65 ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.331 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.77 ส่วน ที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.318 และลดลงเป็นร้อยละ0.001ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.66 และที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.324 และลดลงเป็นร้อยละ 0.005ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 98.46 ดังแสดงในภาพที่ 4.9

จากนั้นเมื่อทำการศึกษาอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าเท่ากับ 0.32, 0.32, 0.33, 0.32 และ 0.32 กรัมต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด จึงเป็นตัวเลือกในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่อัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ 4.3 อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

อัตราการไหลของก๊าซ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตรต่อวัน)
500	0.32
1,000	0.32
1,500	0.33
2,000	0.32
2,500	0.32

4.4.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออกมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยที่อัตราการไหลของก๊าซ 500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 65 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 31 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.00 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1 มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 76 CO_2 มีค่าเท่ากับร้อยละ

24 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.69 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 77 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 22 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4เท่ากับร้อยละ 88 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 11 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.003 จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่า องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 66 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 29 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.87 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 76CO_2มีค่าเท่ากับร้อยละ 19 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.77 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 75 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 20 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.86 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4เท่ากับร้อยละ 88มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 13 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.003และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 34 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.88 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 70 CO_2มีค่าเท่ากับร้อยละ 22 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.73 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 34 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.88 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4 เท่ากับร้อยละ 70 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 18 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.001 ส่วนที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 62 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 30 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.85 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 75 CO_2มีค่าเท่ากับร้อยละ 20 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.70 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 72 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 22 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4 เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 19 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.002 และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 68 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 28 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.86 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 77 CO_2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 22 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.75 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 70 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 22 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4 เท่ากับร้อยละ 74 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 18 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.005 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

วันที่	อัตราการไหลของก๊าซ (มิลลิลิตรต่อนาที)	ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ(%)		
			CH_4	CO_2	H_2S
1	500	ขาเข้า	65	35	1.00
	500	ขาออก	76	24	0.69
10	500	ขาเข้า	77	22	0.72
	500	ขาออก	88	11	0.003
1	1,000	ขาเข้า	66	29	0.87
	1,000	ขาออก	76	18	0.77
10	1,000	ขาเข้า	75	20	0.86
	1,000	ขาออก	88	13	0.003
1	1,500	ขาเข้า	78	34	0.88
	1,500	ขาออก	70	22	0.73
10	1,500	ขาเข้า	78	34	0.88
	1,500	ขาออก	70	18	0.001
1	2,000	ขาเข้า	62	30	0.85
	2,000	ขาออก	75	21	0.70
10	2,000	ขาเข้า	72	22	0.72
	2,000	ขาออก	78	19	0.002
1	2,500	ขาเข้า	68	28	0.86
	2,500	ขาออก	70	22	0.75
10	2,500	ขาเข้า	77	22	0.72
	2,500	ขาออก	74	18	0.005

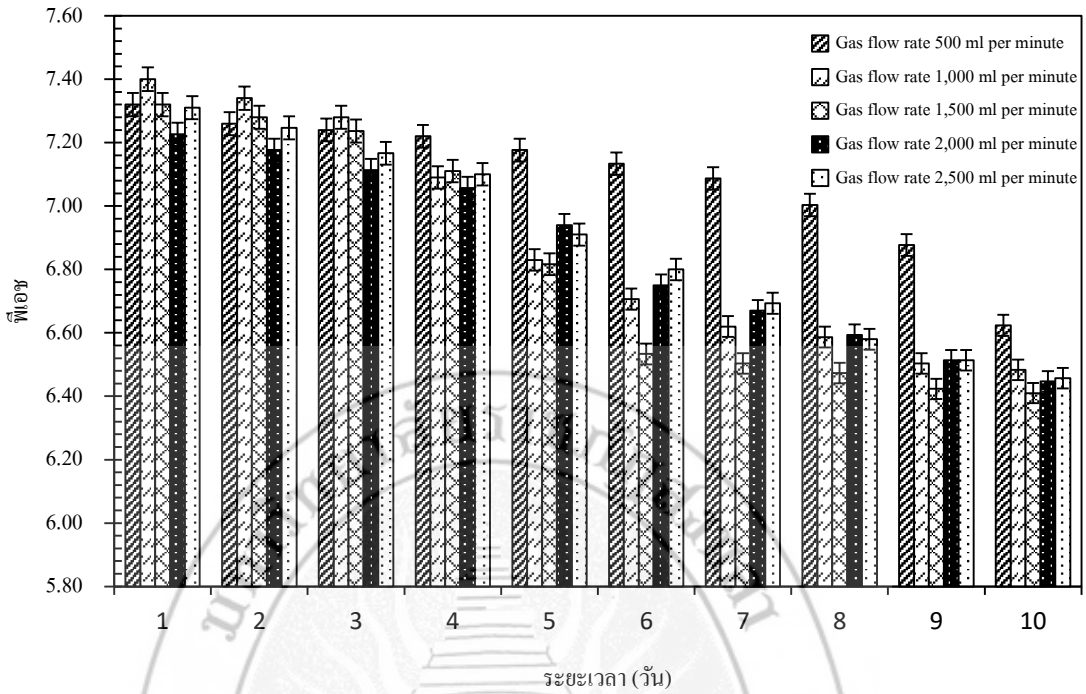
4.4.2.3 กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าพีเอชที่อัตราการไหลของก๊าซ 500 มิลลิลิตรต่อนาทีลดลงจาก 7.32 เป็น 6.62 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.40 เป็น 6.48 ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.23 เป็น 6.45 ส่วนที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.32 เป็น 6.41 และที่

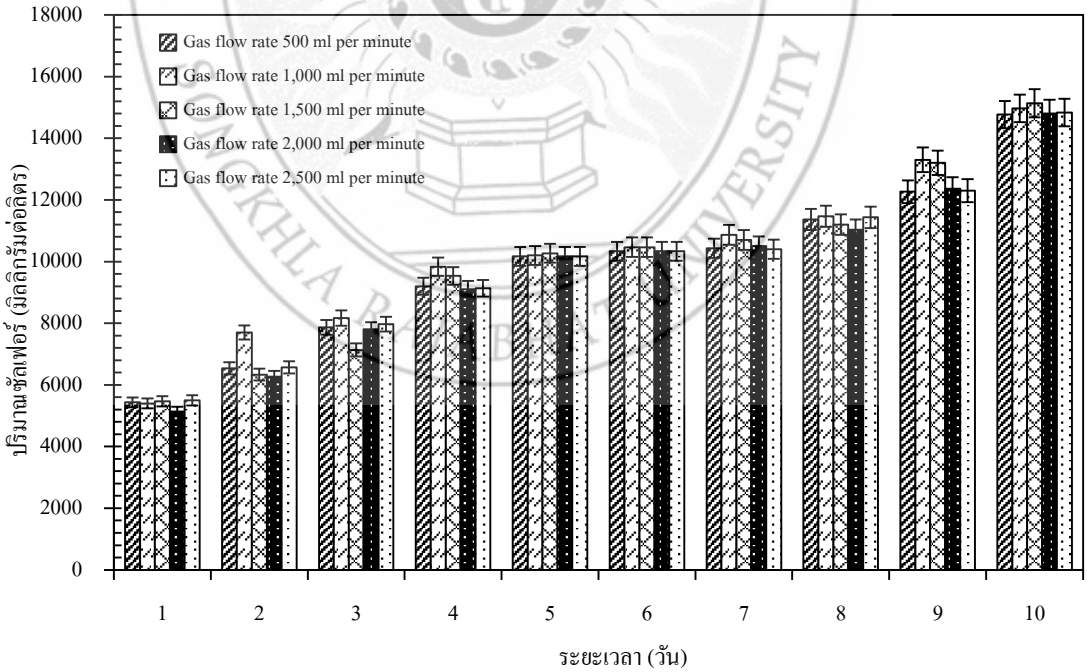
อัตราการไหลของก๊าซ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.31 เป็น 6.46 ตามลำดับ (ภาพที่ 17) เมื่อศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ซัลเฟอร์พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,433 เป็น 14,767 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีมีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,400 เป็น 14,967 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,467 เป็น 15,133 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,133 เป็น 14,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจาก 5,500 เป็น 14,833 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10)

จากนั้นเมื่อศึกษาศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ซัลเฟต พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 17.14 เป็น 320.43 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 18.87 เป็น 321.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่ามีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 18 เป็น 322 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่ามีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 17.68 เป็น 324.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่ามีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 17.61 เป็น 321.27 มิลลิกรัมต่อลิตรภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 19) และพบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที ลดลงถึง 0.04, 0.02, 0.01, 0.01 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.11

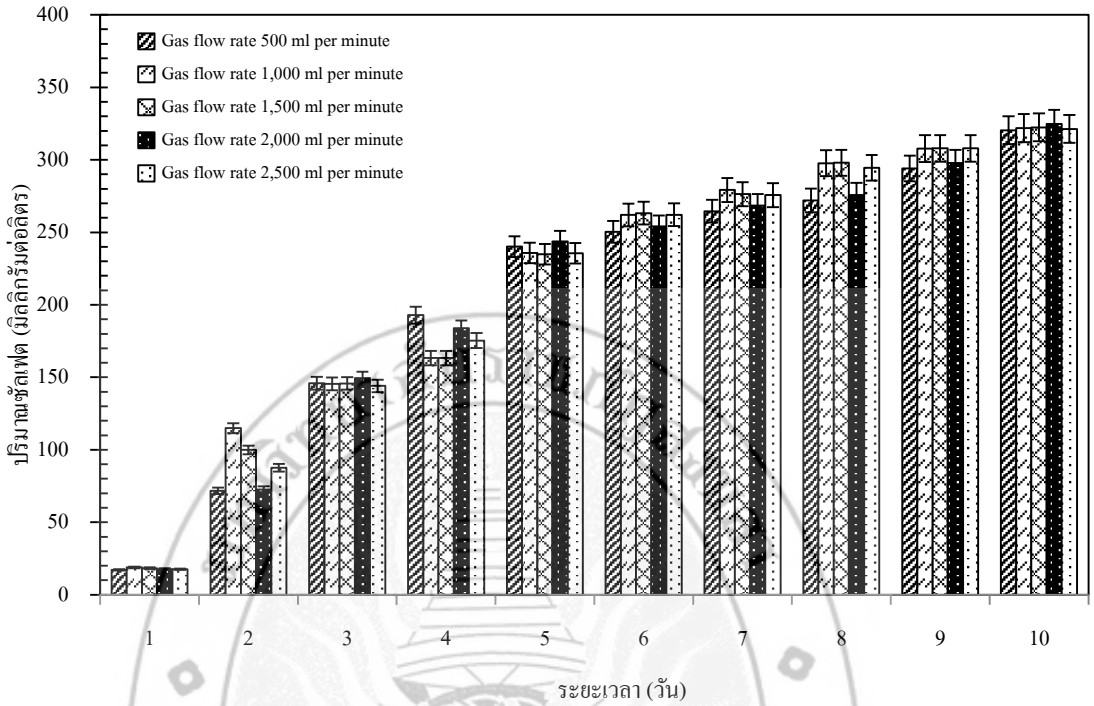
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



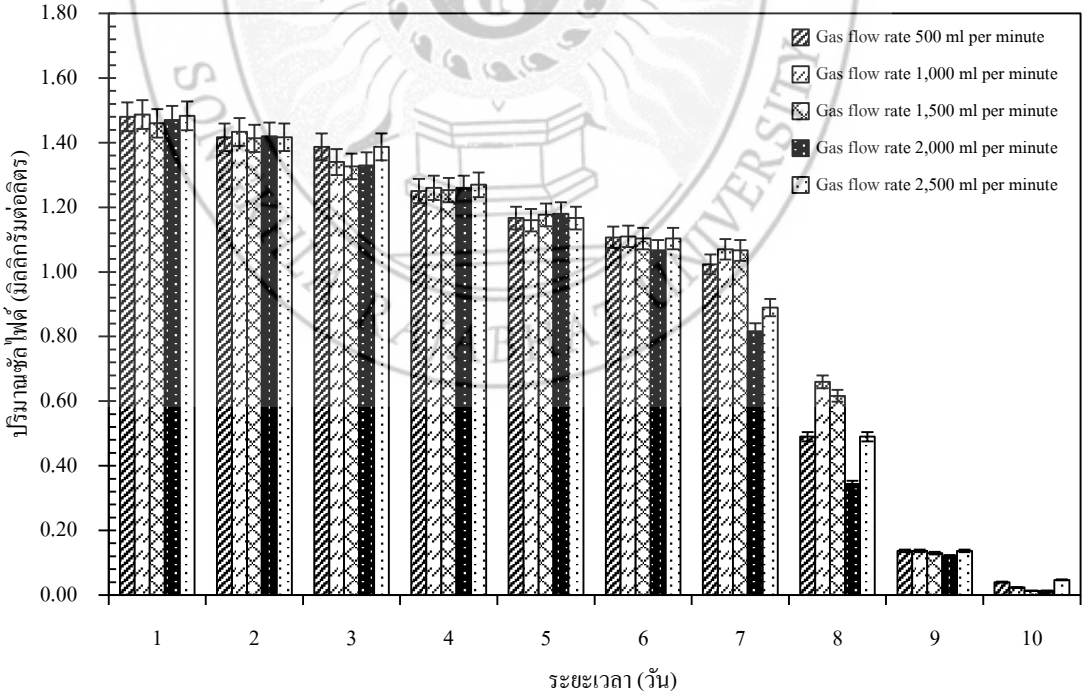
ภาพที่ 4.10 ค่าพีเอชที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4.11 ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 แล 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4.12 ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4.13 ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที

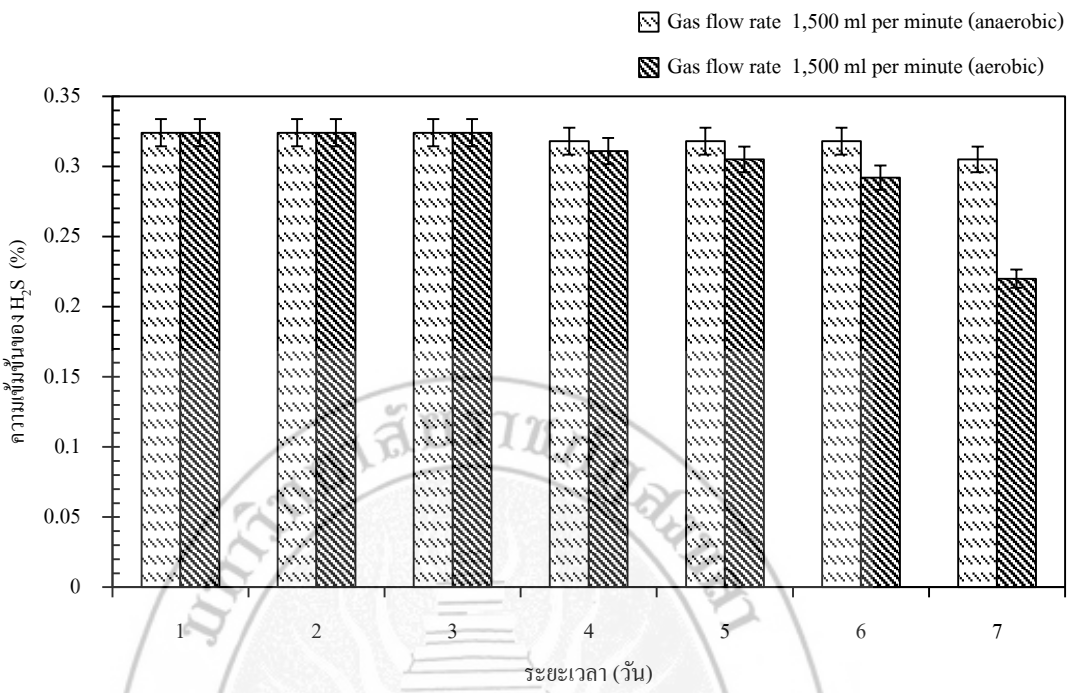
4.5 ผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

ในการทดลองขั้นนี้เป็นการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (ผลของอากาศ จุลินทรีย์และไนเตรท) เพื่อดูปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงจากกระบวนการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพ โดยเติมไนเตรท ($NaNO_3$, $Mg(NO_3)_2$ KNO_3 (Nitrate) ลงไปในระบบตัวกรองชีวภาพ เปรียบเทียบ 2 ช่วงการทดลอง คือการทดลองที่ 1 มีการเติมไนเตรท และป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ไม่เติมอากาศ) ส่วนการทดลองที่ 2 เติมไนเตรท ป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเติมอากาศด้วย ได้ผลดังนี้

4.5.1 ผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการศึกษาผลของออกซิเจนที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเชื้อแบคทีเรียในระบบตัวกรองชีวภาพ ซึ่งในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจากร้อยละ 0.324 เป็นร้อยละ 0.305 ภายในระยะเวลา 7 วัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ16.05 และเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจากร้อยละ 0.324 เป็นร้อยละ 0.220 ภายในระยะเวลา 7 วันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ 44.05 ดังแสดงในภาพที่ 21และจากการศึกษาอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 0.28 กรัมต่อลิตรต่อวัน และในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) มีอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 0.29 กรัมต่อลิตรต่อวันดังแสดงในตารางที่ 4.5

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)

ตารางที่ 4.5 อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองที่	อัตราการไหลของก๊าซ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลของอากาศ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตรต่อวัน)
1	1,500	-	0.28
2	1,500	10	0.29

4.5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออก พบว่า ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) ของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 70 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 28 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.85 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 21 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.75 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

ขาเข้าในวันที่ 7 มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 70 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 21 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.81 ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 7 มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 76 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 19 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.68 จากนั้นเมื่อทำการทดลองในช่วงที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่า ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าของวันที่ 1มีค่าCH_4เท่ากับร้อยละ 73 มีค่า CO_2 เท่ากับ 23 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.81 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 69 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 21 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.85 และจากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 7 มีค่าCH_4เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 34 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.84 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 7 CH_4มีค่าเท่ากับร้อยละ 71CO_2มีค่าเท่ากับร้อยละ 20 และมีค่า H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.47 แสดงได้ตารางที่ 4.6

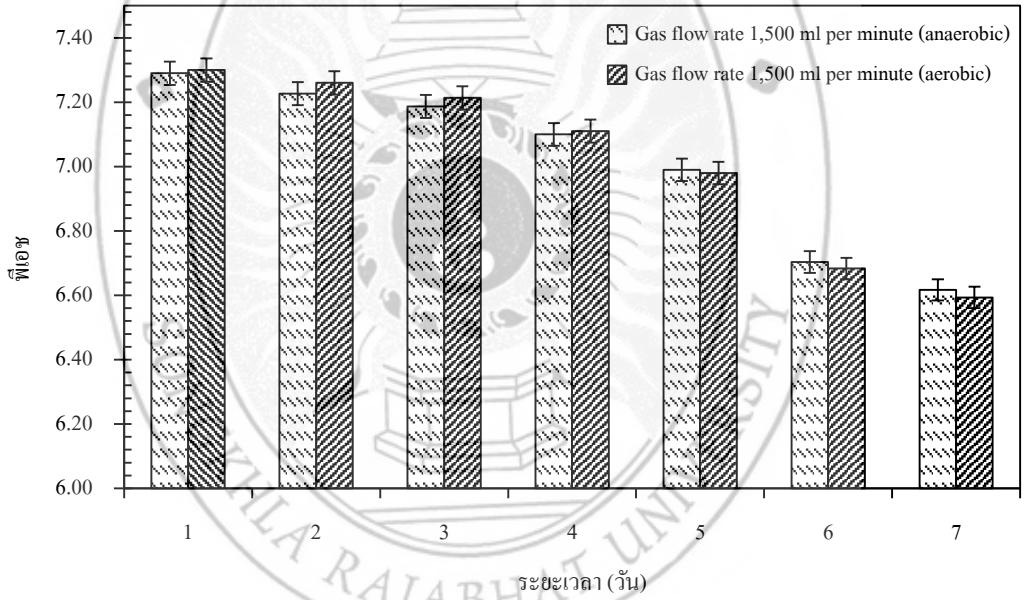
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

การเติมอากาศ	วันที่	อัตราการไหลของก๊าซ (มิลลิลิตรต่อนาที)	ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (%)		
				CH_4	CO_2	H_2S
ก่อนเติมอากาศ	1	1,500	ขาเข้า	70	28	0.85
		1,500	ขาออก	78	21	0.75
	7	1,500	ขาเข้า	70	21	0.81
		1,500	ขาออก	76	19	0.68
หลังเติมอากาศ	1	1,500	ขาเข้า	73	23	0.81
		1,500	ขาออก	69	21	0.75
	7	1,500	ขาเข้า	78	34	0.84
		1,500	ขาออก	71	20	0.47

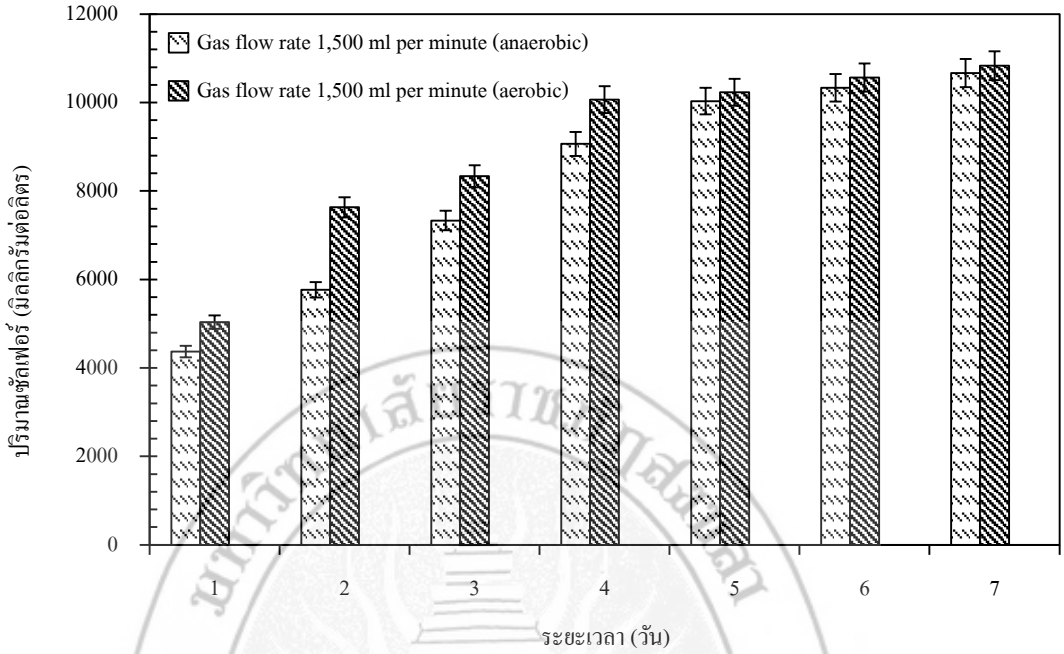
4.5.3 กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) ค่าพีเอชลดลงจาก 7.29 เป็น 6.62 ภายในช่วงระยะเวลา 7 วัน ส่วนในช่วงการทดลองที่2 (หลังเติมอากาศ) พบว่า ค่าพีเอชลดลงจาก 7.30 เป็น 6.59 (ภาพที่ 4.15) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ พบว่า ในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้น

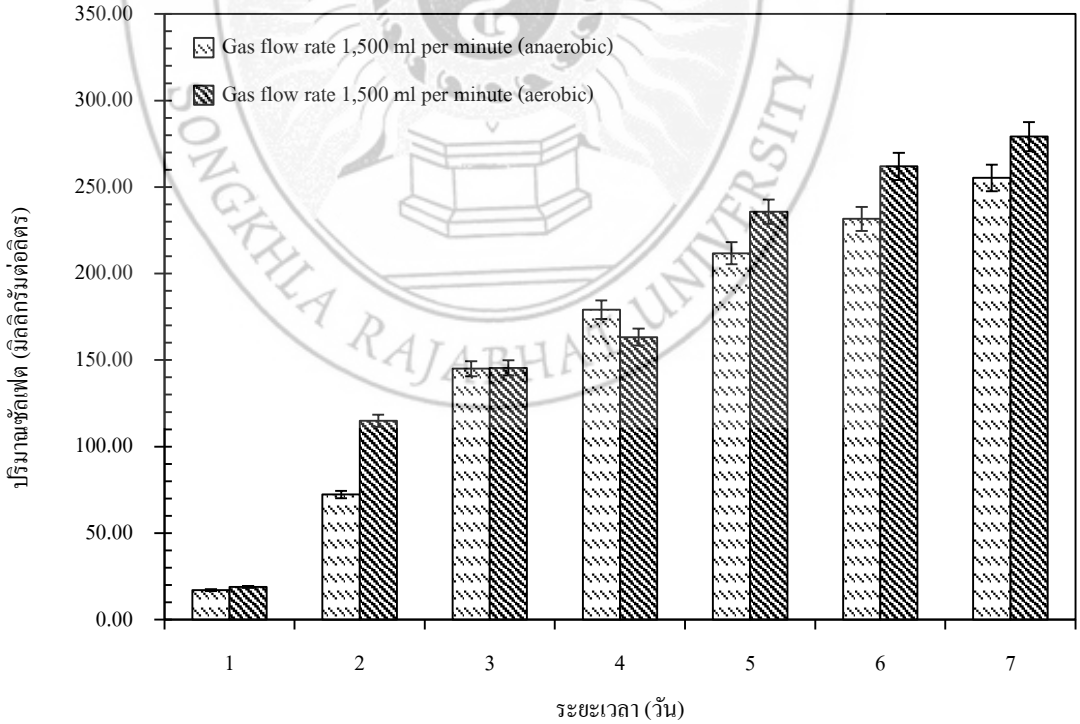
ที่4,367 มิลลิกรัมต่อลิตรและสูงถึง 10,667 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา 7 วัน ส่วนในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 5,033 มิลลิกรัมต่อลิตรและสูงถึง 10,833 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา 7 วัน (ภาพที่ 4.16) จากนั้นเมื่อศึกษาปริมาณซัลเฟต พบว่า ในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ)มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้นที่ 17.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง 255.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 7 วัน ในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ)พบว่า มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้นที่ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง 279 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 7 วัน (ภาพที่ 4.17) และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ ในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) พบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ ลดลงจาก 1.39 เป็น 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) มีปริมาณซัลไฟด์ ลดลงจาก 1.39 เป็น 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 4.18



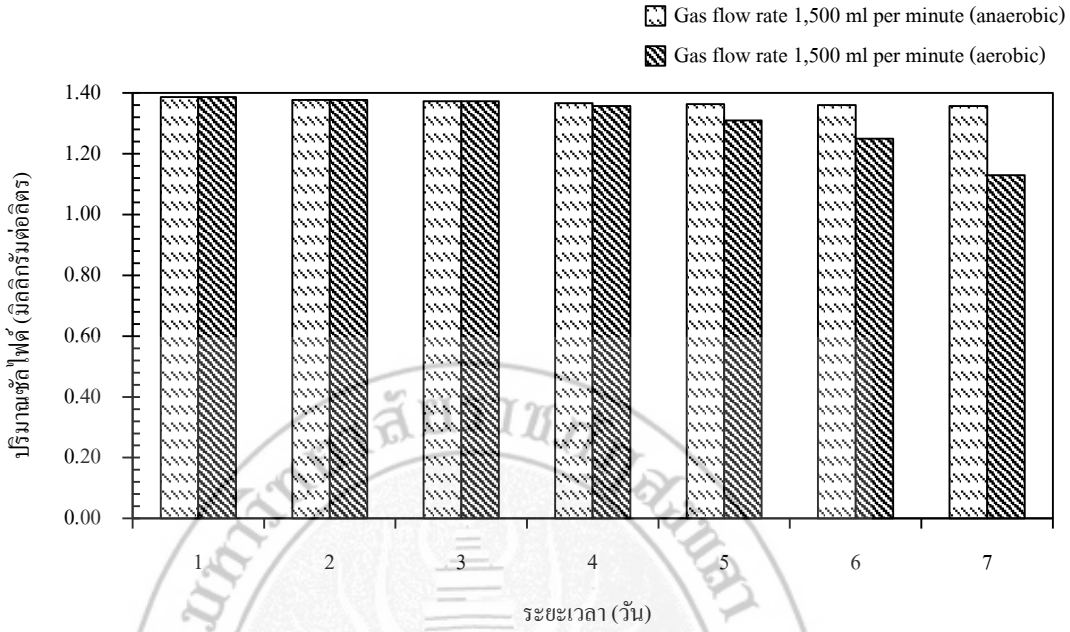
ภาพที่ 4.15 ค่าพีเอชที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)



ภาพที่ 4.16 ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)



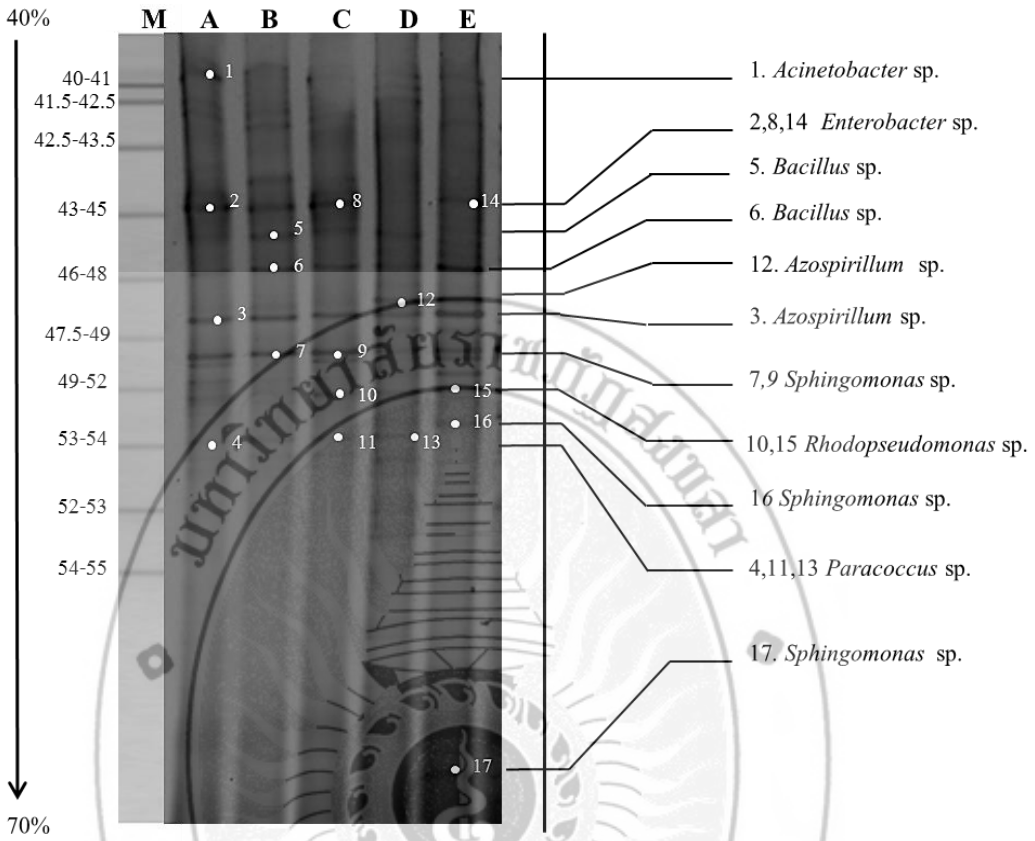
ภาพที่ 4.17 ปริมาณซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)



ภาพที่ 4.18 ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงของอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)

4.5.4 ผลศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

จากการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) พบว่าที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 4 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter* sp., *Enterobacter* sp.,*Azospirillum* sp. และ*Paracoccus* sp. ส่วนที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีมี แบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัสได้แก่ *Bacillus* sp.และ *Sphingomonas* sp. และที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 4 จีนัสได้แก่*Enterobacter* sp., *Sphingomonas* sp., *Rhodopseudomonas* sp.และ *Paracoccus* sp. จากนั้นเมื่อเติมไนเตรทลงในระบบที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมอากาศ) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัสได้แก่ *Azospirillum* sp.และ *Paracoccus*sp. และที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (หลังเติมอากาศ) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 3 จีนัสได้แก่*Enterobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp.และ *Sphingomonas* sp. ดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์จากตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพ (ก่อนเติมและหลังเติมอากาศ)

***หมายเหตุ**

M =DGGE Marker

A=ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของ H_2S 500 มิลลิลิตรต่อนาที

B=ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของ H_2S 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที

C=ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของ H_2S 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที

D=ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของ H_2S 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (ก่อนเติมอากาศ)

E=ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการไหลของ H_2S 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที (หลังเติมอากาศ)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการทางชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนกระบวนการทางเคมี ซึ่งปัจจุบันระบบที่ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพที่เป็นที่นิยม คือระบบตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) ซึ่งจากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการสำรวจโดยการสอบถามและการยืนยันผลในห้องปฏิบัติการให้ผลสอดคล้องกัน การสำรวจพบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดร้อยละ 98 คือโรงงาน P และ A ทั้ง 8โรงงานมีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 93-98 การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในห้องปฏิบัติการจากเชื้อจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพของโรงงาน พบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงร้อยละ 82-83 คือโรงงาน A และ P และมีกิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง 0.35 กรัมต่อลิตรต่อวันการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางเคมีและกายภาพของการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตะกอนจุลินทรีย์จากระบบตัวกรองชีวภาพโรงงาน A และ P พบว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.12 เป็น 6.40 เนื่องมาจากการละลายของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อThiosulfate Mineral Medium ได้ดีกว่าแหล่งอื่น โดยอาศัยกระบวนการเมทาบอลิซึมของเชื้อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Degradation)และยังพบว่าสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟอร์สูงกว่าแหล่งอื่น โดยมีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 6,300 มิลลิกรัมต่อลิตรและสูงถึง13,650 มิลลิกรัมต่อลิตรและสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตสูงถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลไฟด์ได้ปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลไฟด์ต่ำสุดเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยที่โครงสร้างประชากรแบคทีเรียในระบบฟอกชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงาน พบว่าเด่นด้วยกลุ่มแบคทีเรียจีนัส *Sphingomonas* sp.ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่พบได้เกือบทุกแหล่ง และจากการเทียบเคียงประสิทธิภาพบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของโรงงานทั้ง 8 โรงงาน พบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุดคือ โรงงาน A พบว่ามีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ*Azospirillum* sp.รองลงมา คือ โรงงาน Pมีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 5 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter* sp., *Roseobacter* sp., *Prolixibacter* sp., *Enterobacter* sp. และ *Pseudomonas* sp. ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบอาศัยกระบวนการ

ออกซิเดชันของจุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของกลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย(Autotrophic Bacteria)อาศัยปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน (Phototrophic Oxidation) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน และออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ และกลายเป็นซัลเฟต ดังสมการที่ 5.1 ส่วนกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย(Heterotrophic Bacteria)อาศัยปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน (Sulfide Oxidation)ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารตั้งต้นแล้วออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ และอาศัยปฏิกิริยาซัลเฟอร์ออกซิเดชัน (Sulfur Oxidation)ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตดังสมการที่ 5.2 และ 5.3 (ศุภาพร หวังศิริเจริญ และวสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 131)

$$H_2S \longrightarrow S^0 \longrightarrow SO_4^{2-} \qquad (5.1)$$

$$H_2S \longrightarrow S^0 \qquad (5.2)$$

$$H_2S \longrightarrow S^0 \longrightarrow SO_4^{2-} \qquad (5.2)$$

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และกิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากโรงงานทั้ง 8โรงงาน พบว่าโรงงาน P และ A มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่แตกต่างกัน อีกทั้งโรงงาน P มีความหลากหลายของจุลินทรีย์มากกว่า ประกอบกับโรงงาน A ปิดปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จึงได้คัดเลือกโรงงาน P ไปทำการศึกษาในประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อคัดเลือกโรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) มาศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.331 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดซึ่งสูงถึงร้อยละ 99.77 และมีกิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.33 กรัมต่อ-ลิตรต่อวันจากการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดพบว่า ค่าพีเอช ลดลงจาก 7.32 เป็น 6.41เมื่อศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลด์ไปเป็นซัลเฟอร์พบว่ามีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 15,133 มิลลิกรัมต่อลิตรและสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟตสูงถึง 322.39 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณซัลไฟด์ลดลงถึง 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน

ซึ่งพบว่ามีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 3 จีนัสได้แก่ *Azospirillum*sp., *Sphingomonas* sp.และ *Bacillus*sp. ซึ่งจากการศึกษาผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์โดยเติมไนเตรท และอากาศลงไปในระบบ พบว่าการเติมไนเตรทไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณซัลไฟด์ ส่วนการให้อากาศส่งผลต่อการลดลงของไฮโดรเจนซัลไฟด์เล็กน้อย แสดงว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่มไร้อากาศ และพบว่าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัส ได้แก่ *Azospirillum* sp. และ *Paracoccus* sp. หลังเติมอากาศพบแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 3 จีนัส ได้แก่ *Enterobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp. และ*Sphingomonas* sp.

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถามการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8 โรงงานพบว่า โรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) และโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 98 ส่วนโรงงาน L (บริษัทล่ำสูง ประเทศไทย จำกัด มหาชน)และโรงงาน N (บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัด)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 95 โรงงาน U (บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) โรงงาน S (บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) และโรงงาน T (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 93 และโรงงาน I (บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ91 ตามลำดับซึ่งสรุปได้ว่าจากผลการเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าทั้งโรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) และโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ซึ่งทั้ง 2 โรงงานจึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาการคัดเลือกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

5.2.2 ผลการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

5.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน มาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออก โดยเฉพาะในส่วนของค่า H_2S พบว่า โรงงาน P(บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด) มีH_2Sขาเข้าร้อยละ 0.95และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.17 โรงงาน L

(บริษัท ล่ำสูง ประเทศไทยจำกัด มหาชน) มีH_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.18โรงงาน I (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด) มี H_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.20โรงงานU(บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน)มีH_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.19 โรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) มีH_2Sขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.16โรงงาน S (บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด มหาชน)มีH_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ลดลงร้อยละ 0.19 โรงงาน Nบริษัท นามหงส์) (น้ำมันปาล์ม จำกัดมีH_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.18 โรงงานT (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์ จำกัด) มีH_2S ขาเข้าร้อยละ 0.95 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.19 ซึ่งจากผลวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง8 โรงงาน สรุปได้ว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด คือโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) เนื่องจากมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงต่ำที่สุดจากการที่ปริมาณ H_2S หายไปเพราะแบคทีเรียในระบบออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ และซัลเฟตส่งผลให้ปริมาณซัลไฟด์ในระบบลดลง (Nisola, et al. 2010 : 1131-1138)

5.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในห้องปฏิบัติการ

จากการเทียบเคียงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 8 โรงงาน พบว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด คือ โรงงานA (บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ83 รองลงมา คือโรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ82 ตามมาด้วยโรงงานL (บริษัทล่ำสูงประเทศไทยจำกัดมหาชน) และโรงงาน N (บริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์มจำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงร้อยละ81 ส่วนโรงงาน U (บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) โรงงาน S (บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน)และโรงงาน T (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด)มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงร้อยละ 80 และโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำที่สุดคือโรงงาน I (บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด) ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ 79 สรุปได้ว่าโรงงานที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดคือโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงที่สุด โดยมีกิจกรรมการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอัตราการบำบัดสูงถึง 0.35 กรัมต่อลิตรต่อวัน สอดคล้องกับงานวิจัยของโตสาติ และจินสิริวานิต (Tosati and Jinsiriwanit. 2013 : 68) ได้พัฒนากระบวนการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในท้องถิ่น โดยใช้ระบบฟอกชีวภาพทดลองใน

ระบบที่มีปริมาตร 1.5 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มSulfur Oxidizing Bacteria ที่แยกได้จากโรงบำบัดน้ำเสียในท้องถิ่น ที่ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าในช่วง 407-4,153 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร ใช้ระยะเวลากักเก็บก๊าซที่ 63 วินาทีที่อัตราการไหลของก๊าซที่37 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงร้อยละ 80

5.2.2.3 ผลการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง8 โรงงาน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางเคมีและกายภาพของการบำบัดซัลไฟด์ในการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ลดลง สรุปได้ว่าโรงงาน A (บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) และโรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ ปาล์มออยล์ จำกัด) มีการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium ได้ดีกว่าตัวอย่างจากแหล่งอื่น โดยอาศัยกระบวนการเมทาบอลิซึมของเชื้อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Ramirez, et al. 2009 : 4989-4992)จากการศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์พบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟอร์ซึ่งมีปริมาณซัลเฟอร์สูงกว่าแหล่งอื่น โดยมีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 6,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง13,650 มิลลิกรัมต่อลิตรภายในระยะเวลา 5 วันจากงานวิจัยก่อนหน้าของ แจนส์เซนและคณะ(Janssen, et al. 1998 : 327-333)ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำเสียและก๊าซด้วยวิธีทางชีวภาพโดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของของแข็งซัลเฟอร์พบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถถูกออกซิไดซ์กลายเป็นของแข็งได้โดยระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถผลิตซัลเฟอร์ได้โดยซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นนั้นถ้าปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมจะอยู่ที่5.8ซึ่งทำให้โพลีเมอร์อยู่ในรูปที่ไม่ชอบน้ำจึงทำให้แยกออกจากน้ำได้ง่าย และจากการศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตของเชื้อแบคทีเรียพบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟตได้ปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตสูงถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตรในขณะโรงงานI (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด)มีความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตต่ำสุดเท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงระยะเวลา 5 วัน ส่งผลให้ค่าซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นเมื่อประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น(Oyarzun, et al. 2003: 165) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันในระบบฟอกชีวภาพ (Bioscrubber)ก่อให้เกิดซัลเฟตเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่พบมากที่สุดของปฏิกิริยาการเกิดเกิดออกซิเดชัน ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นซัลเฟต(Potivichayanon, Pokethitiyook and Kruatrachue. 2006 : 714)นอกจากนี้แล้วยังพบว่าโรงงานA (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด)สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์กลายเป็นซัลไฟด์ได้ปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นโดยมีความเข้มข้นของปริมาณซัลไฟด์ต่ำสุดเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตรในทางตรงกัน

ข้ามพบว่าโรงงานI (บริษัท ไทยอินโด ปาล์มออยล์ แฟคทอรี่ จำกัด)มีความเข้มข้นของปริมาณซัลไฟด์ต่ำสุดเท่ากับ 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 5 วัน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และกิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากโรงงานทั้ง8โรงงาน พบว่าโรงงาน A (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากโรงงานA (บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์มจำกัด) ปิดปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จึงได้คัดเลือกโรงงาน P (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด) ที่มีอันดับรองลงมา ไปทำการศึกษาในประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

5.2.3 ผลการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

จากการวิเคราะห์ BLAST ตัวอย่างเพื่อศึกษาแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteria พบว่า โรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด) มีแบคทีเรียเด่นที่พบคือ*Acinetobacter* sp.ที่เป็นประชากรแบคทีเรียเด่น จัดอยู่ในกลุ่มHeterotrophic Bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีจากสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน(Chemoorganoheterotroph)สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาการใช้เชื้อ *Acinetobacter* sp. และ *Alcaligenes faecalis*ร่วมกันในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดถึงร้อยละ 98 โดยพบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต (Potivichayanon, Pokethitiyook and Kruatrachue, 2006 : 708)และแบคทีเรียเด่นที่พบคือ *Pseudomonas* sp.จัดอยู่ในกลุ่ม Heterotrophic Bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีจากสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoorganoheterotroph) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟตซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่พบเชื้อ *Pseudomonas putida* CH11 โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพแบบหยด (Biotrickling filter) ที่มีถ่านกัมมันต์เป็นตัวกลาง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ100(Chung, Lin and Tseng. 2005 : 1812-1820) ส่วนโรงงาน L (บริษัทล่ำสูง ประเทศไทย จำกัด มหาชน) มีแบคทีเรียเด่นที่พบคือ*Sphingomonas* sp. และ*Ochrobactrum* sp. ซึ่งทั้ง 2 จีนัสจัดอยู่ในกลุ่ม Heterotrophic Bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีจากสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน(Chemoorganoheterotroph) สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟตใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้คัดแยกเชื้อจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในระบบตัวกรองชีวภาพจากการคัดแยกพบว่ามีแบคทีเรียจีนัส *Ochrobactrum* sp.ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มChemoorganoheterotroph(Aguilar, Cabriales and Vega. 2008 : 359-370)และแบคทีเรียเด่นที่พบคือ *Rhodopseudomonas* sp.โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteria (Photoautotroph)ซึ่งจะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน แล้วเข้าสู่

กระบวนการออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต (Behera, et al. 2014 : 2900) และแบคทีเรียเด่นที่พบคือ*Bacillus* sp.จัดอยู่ในกลุ่ม Heterotrophic Bacteriaซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีจากสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoorganoheterotroph) จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาแบคทีเรียกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteriaที่แยกได้จากการระบบตัวกรองชีวภาพโดยได้ระบุว่าเป็นเชื้อ *Bacillus* sp. มาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Ryu, et al. 2009 : 501-506) และแบคทีเรียเด่นที่พบคือ *Burkholderia* sp.จัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteria เป็นกลุ่มที่ได้พลังงานจากการออกซิเดชันสารอนินทรีย์ (Chemoautotroph) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์ซัลเฟอร์จากระบบนิเวศที่แตกต่างกัน โดยพบว่า *Burkholderia* sp.เป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoautotroph) (Sridar, et al. 2015 :72-80) โรงงาน I(บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์แฟคทอรี่จำกัด) โรงงาน U (บริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) โรงงาน S (บริษัทสหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด มหาชน)และโรงงาน T (บริษัทไทยทาโลว์แอนด์ออยล์จำกัด) มีแบคทีเรียเด่นที่พบเหมือนกันคือ *Sphingomonas* sp. ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากโรงงานน้ำยางข้นโดยได้เลือกใช้แบคทีเรียจีนัส *Sphingomonas* sp. ซึ่งพบว่าจัดอยู่ในกลุ่ม Heterotrophic Bacteria โดยเป็นกลุ่มที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 86.7 (Zhao, et al. 2010 : 2344-2351)ส่วนโรงงาน A (บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) มีแบคทีเรียเด่นที่พบ *Azospirillum* sp. จัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteriaเป็นกลุ่มที่ใช้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Facultative Chemolithotroph) ใกล้เคียงกับงานวิจัยของซิลวา และคณะ(Silva, et al. 2014 : 248-251)ศึกษาการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรโดยใช้เชื้อ *Azospirillum* sp.พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 97 และโรงงาน N (บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด) มีแบคทีเรียเด่นที่พบคือ *Methylobacterium* sp. จัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteria เป็นกลุ่มที่ใช้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Facultative Chemolithotroph)ซึ่พบว่าเป็นแบคทีเรียในกลุ่มSulfur Oxidizing Bacteria ในกระบวนการเกิดออกซิเดชันทางชีวภาพของไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต (Friedrich, et al. 2001 : 2873-2882)

จากการศึกษาโครงสร้างประชากรแบคทีเรียในระบบฟอกชีวภาพ (Biosrubber) จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 8โรงงาน พบว่าเด่นด้วยกลุ่มแบคทีเรียจีนัส *Sphingomonas* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่พบได้เกือบทุกแหล่ง และจากการเทียบเคียงประสิทธิภาพบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของทั้ง 8โรงงานพบว่าแหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุดคือ โรงงาน A (บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด) โดยพบว่ามีแบคทีเรียเด่นเพียง 1 จีนัส คือ *Azospirillum* sp. และรองลงมา คือ โรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด) มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 5 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter*

sp.,*Roseobacter* sp., *Prolixibacter* sp., *Enterobacter* sp. และ *Pseudomonas* sp. ซึ่งจากผลการทดลองจึงได้คัดเลือกโรงงาน P (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด) มาทำการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการเนื่องจากมีกลุ่มแบคทีเรียเด่นที่มีความหลากหลายมากกว่า

5.3 การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

5.3.1 การสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อแบคทีเรียบนตัวกลางพลาสติก

จากการคัดเลือกแหล่งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดแล้วติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพ โดยนำตะกอนจุลินทรีย์มาอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium ให้เคลื่อนที่จากขวดรูปชมพู่ไปยังคอลัมน์ที่ตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่ ทำการเลี้ยงเชื้อเป็นระยะเวลา1 เดือน เพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เชื้อเกาะบนตัวกลางพลาสติกได้มากที่สุด โดยหลักการของระบบตัวกรองชีวภาพคือจุลินทรีย์จะเคลือบอยู่บนตัวกลางพลาสติกที่มีรูพรุนในรูปของฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) เมื่อเติมไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต้องการบำบัดเข้าสู่ตัวกลางพลาสติกที่มีจุลินทรีย์อยู่ จุลินทรีย์จะดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์บนตัวกลางพลาสติกที่มีรูพรุนซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ(Biological Degradation) ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งบริเวณฟิล์มชีวภาพและในตัวกลางพลาสติกที่มีรูพรุนจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็กได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Devinny, Deshusses and Webster. 1999 : 7)

5.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

5.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.318 และลดลงเป็นร้อยละ 0.002 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.37 จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.324 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001 ภายในระยะเวลา10 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.65 ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.331 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.77 ที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.318 และลดลงเป็นร้อยละ 0.001ภายในช่วงระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 99.66 และที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 0.324 และลดลงเป็นร้อยละ 0.005ภายในช่วง

ระยะเวลา 10 วันทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 98.46 และจากผลการศึกษากิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าเท่ากับ 0.32, 0.32, 0.33, 0.32 และ 0.32 กรัมต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ซึ่งจากการเปรียบเทียบอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 5 ช่วง สรุปได้ว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยวิธีทางชีวภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบและอัตราการไหลเข้าระบบของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะต้องไม่สูงเกินความสามารถของเชื้อในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ทัน ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าอัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ถ้าหากความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบและอัตราการไหลเข้าระบบของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงเกินไป จะไปยังยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria) ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบตัวกรองชีวภาพอาศัยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Ramirez, et al. 2009 : 4992)

5.3.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออกมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะในส่วนของค่า H_2S พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ500มิลลิลิตรต่อนาทีของวันที่ 1 มีH_2S ขาเข้าร้อยละ1.00 และ H_2S ขาออกลดลดร้อยละ 0.69 เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่ามีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และมีค่า H_2S ขาออกลดลงถึงร้อยละ 0.003จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า H_2S ขาเข้าร้อยละ 0.87 และ H_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.77 เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่ามีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.86 และมีค่า H_2S ขาออกลดลงถึงร้อยละ 0.003 ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า H_2S ขาเข้าร้อยละ 0.88 และH_2S ขาออกลดลงร้อยละ 0.73 เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่ามีค่า H_2S ขาเข้าร้อยละ 0.88 และมีค่า H_2S ขาออกลดลงถึงร้อยละ 0.001 ส่วนที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 62 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 30 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.85 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4 เท่ากับร้อยละ 75 CO_2มีค่าเท่ากับร้อยละ 20 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.70 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มี

ค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 72 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 22 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4 เท่ากับร้อยละ 78 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 19 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.002 และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 1 มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 68 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 28 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.86 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 77 CO_2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 22 และ H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.75 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 10 พบว่า มีค่า CH_4เท่ากับร้อยละ 70 มีค่า CO_2เท่ากับร้อยละ 22 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.72 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 10 มีค่าCH_4 เท่ากับร้อยละ 74 มีค่า CO_2 เท่ากับร้อยละ 18 และมีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.005 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีค่า H_2S ลดลงต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาทีเนื่องจากอัตราการไหลของก๊าซเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่งผลให้ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นตัวเลือกในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยจุลินทรีย์กลุ่มSulfur Oxidizing Bacteriaซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีลักษณะเฉพาะคือมีความสามารถสูงในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นซัลเฟอร์มีความต้องการสารอาหารในการเจริญไม่ยุ่งยากสามารถแยกซัลเฟอร์ออกจากเซลล์ได้ง่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1)กลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย(Autotrophic Bacteria)คือกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารได้เองอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนบางชนิดสามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน(Phototrophic Bacteria)และบางชนิดใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Chemoautotroph) (2) กลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย(Heterotrophic Bacteria) คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เองต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนบางชนิดใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน(Photoheterotroph)และบางชนิดใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน(Chemoheterotroph)(Devinny, Deshusses and Webster.1999 : 7)

5.3.2.3 กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าพีเอชที่อัตราการไหลของก๊าซ 500 มิลลิลิตรต่อนาทีลดลงจาก 7.32 เป็น 6.62 ภายในช่วงระยะเวลา 10 วัน จากนั้นเมื่อแปรผันอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.40 เป็น 6.48 ที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.23 เป็น 6.45 ส่วนที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.32 เป็น 6.41 และที่อัตราการไหลของก๊าซ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 7.31 เป็น 6.46 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่า เมื่อทำการป้อนไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพของแต่อัตรา

การไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบคทีเรียจะเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อให้เป็นซัลเฟตทำให้ค่าพีเอชในระบบลดลงใกล้เคียงกับงานวิจัยของโพธิวิชยานนท์ โภคฐิติยุกต์ และ เครือตราชู (Potivichayanon, Pokethitiyook and Kruatrachue. 2006 : 708) รายงานว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ระบบฟอกชีวภาพ มีค่าพีเอชลดลงแต่ไม่ต่ำกว่า 6.40 เนื่องมาจากการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate Mineral Medium ได้อย่างเหมาะสม

จากการศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟอร์ พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซ ที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 14,767 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา10 วัน ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 14,967 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 15,133 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 14,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึง 14,833 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลด์ไปเป็นซัลเฟต พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา10 วัน ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 321 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 1,500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 322 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,000 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่ามีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 324.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซเป็น 2,500 มิลลิลิตรต่อนาทีพบว่ามีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 321.27 มิลลิกรัมต่อลิตรและพบว่าปริมาณซัลไฟด์ที่อัตราการไหลของก๊าซที่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 มิลลิลิตรต่อนาที ลดลงถึง 0.04, 0.02, 0.01, 0.01 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อหมุนเวียน เมื่อปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้นด้วยโดยมีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นเป็นค่าคงที่เท่ากับ 5,900, 8,000 และ10,700 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตเหล่านี้ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ลดลง (Ramirez, et al. 2009 : 4989)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางเคมี (S^0, SO_4^{2-}, S^{2-}) และกายภาพ (pH) ของการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตะกอนจุลินทรีย์ รวมทั้งความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบและอัตราการไหลเข้าระบบของไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์และกระบวนการการออกซิเดชันของกลุ่มจุลินทรีย์ Sulfur Oxidizing Bacteria ในระบบตัวกรอง

ชีวภาพ พบว่าที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ ส่งผลให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง ในทางตรงกันข้ามพบว่าที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง ส่งผลให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบสูงขึ้นด้วย ทำให้มีประสิทธิภาพบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง (ศุภาพร หวังศิริเจริญ และ วสุ ปฐมอารีย์. 2552 : 131-133)

กระบวนการออกซิเดชันของจุลินทรีย์ในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย(Autotrophic Bacteria)อาศัยปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน (Phototrophic Oxidation)ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน และออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ และกลายเป็นซัลเฟต ส่วนกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria) อาศัยปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน (Sulfide Oxidation)ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารตั้งต้น แล้วออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ และอาศัยปฏิกิริยาซัลเฟอร์ออกซิเดชัน(Sulfur Oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟต (วีรานุช หลาง. 2551 : 79)

5.4 ผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์

5.4.1 ผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการศึกษาผลของออกซิเจนที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเชื้อแบคทีเรียในระบบตัวกรองชีวภาพพบว่าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจากร้อยละ 0.324 เป็นร้อยละ 0.305 ภายในระยะเวลา 7 วัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ16.05 เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจากร้อยละ 0.324 เป็นร้อยละ 0.220 ภายในระยะเวลา 7 วันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงร้อยละ 44.05 และเมื่อศึกษากิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีกิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 0.28 กรัมต่อลิตรต่อวัน และในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ) มีกิจกรรมสำหรับอัตราการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 0.29 กรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเติมไนเตรททั้ง 2 ช่วงการทดลองไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณซัลไฟด์เนื่องจากการเติมไนเตรทเข้าสู่ระบบไม่สามารถช่วยให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ซึ่งแทนที่จุลินทรีย์ในระบบจะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญให้กับเซลล์ จุลินทรีย์ในระบบกลับใช้ไนเตรทเป็นแหล่งอาหาร ซึ่งเกิดขึ้นในจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอ-

โรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria)ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน(Denitrification) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ รายงานว่าการเติมไนเตรทในระบบตัวกรองชีวภาพไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่งผลให้ไนเตรทไม่ได้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ซัลไฟด์ในรูปแบบของก๊าซเสีย (Diaz, et al. 2010 : 7729)

5.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยเทคนิค Gas Chromatography

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งขาเข้าและขาออกในระหว่างช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) ซึ่งเมื่อพิจารณาเพียงค่า H_2S พบว่าตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในช่วงการทดลองแรก(ก่อนเติมอากาศ) ของวันที่ 1 มีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.85 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกมีค่า H_2S ลดลงเพียงร้อยละ 0.75 จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 7 มี H_2S เท่ากับร้อยละ 0.81 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 7 มีค่า H_2S ลดลงเพียงร้อยละ 0.68 จากนั้นเมื่อทำการทดลองในช่วงที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่าตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าของวันที่ 1มีH_2S เท่ากับร้อยละ 0.81 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกของวันที่ 1มีค่า H_2S ลดลงเพียงร้อยละ 0.85 เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาเข้าในวันที่ 7 มีค่า H_2S เท่ากับร้อยละ 0.84 และตัวอย่างก๊าซชีวภาพขาออกในวันที่ 7มีค่า H_2S มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.47 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้ง 2 ช่วงการทดลองและพบว่าค่า CO_2 ลดลงทั้งก่อนเติมและหลังเติมอากาศ แต่ H_2S ไม่ลดลง เนื่องจากการเติมไนเตรทลงไปในระบบไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Diaz, et al. 2010 : 7729)

5.4.3 กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า ในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) ค่าพีเอชลดลงจาก 7.29 เป็น 6.62 ภายในช่วงระยะเวลา 7 วันส่วนในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ)พบว่า ค่าพีเอชลดลงจาก 7.30 เป็น 6.59 เมื่อศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลด์ไปเป็นซัลเฟอร์ พบว่า ในช่วงการทดลองแรก(ก่อนเติมอากาศ) มีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 4,367 มิลลิกรัมต่อลิตรและสูงถึง 10,667 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา 7 วัน และจากการทดลองในช่วงที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่า มีปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 5,033 มิลลิกรัมต่อลิตรและสูงถึง 10,833 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงระยะเวลา 7 วัน ใกล้เคียงกับงานวิจัยของแจนเซน และคณะ (Janssen, et al. 1995 : 327-333)

จากนั้นเมื่อศึกษาความสามารถในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลด์ไปเป็นซัลเฟต พบว่าในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้นที่ 17.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง 255.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 7 วัน ในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ)พบว่า มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้นที่ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงถึง 279 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในช่วงระยะเวลา 7 วัน

โดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Removal) ของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อหมุนเวียน (Recirculation Medium) โดยเมื่อปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นด้วย (Ramirez, et al. 2009 : 4992) และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ในช่วงการทดลองแรก (ก่อนเติมอากาศ) พบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ลดลงจาก 1.39 เป็น 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงการทดลองที่ 2 (หลังเติมอากาศ)มีปริมาณซัลไฟด์ ลดลงจาก 1.39 เป็น 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตรใกล้เคียงกับงานวิจัยของโจว และคณะ (Zhou, et al. 2007 : 924-929) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการเติมอากาศในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พบว่าการมีอากาศอย่างเพียงพอในระบบจะช่วยทำให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศไม่โดนยับยั้ง เพราะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับอากาศกลายเป็นซัลเฟอร์ ทำให้ระบบไม่โดนยังยั้งโดยสารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากการทดลองในช่วงที่ 2 (หลังเติมอากาศ) พบว่าปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลงจาก 1.39 เป็น 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือได้ว่ามีปริมาณซัลไฟด์ลดลงไม่มาก เนื่องจากมีการเติมไนเตรทลงไปในระบบซึ่งไนเตรทไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณซัลไฟด์ (Diaz, et al. 2010 : 7729)

5.4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิคDenaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

จากการวิเคราะห์ BLAST ตัวอย่างเพื่อศึกษาแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfur Oxidizing Bacteriaพบว่าที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 4 จีนัส ได้แก่ *Acinetobacter* sp., *Enterobacter* sp.,*Azospirillum* sp. และ *Paracoccus*sp.ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้คัดแยกเชื้อจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในระบบตัวกรองชีวภาพจากการคัดแยกพบว่ามีแบคทีเรียจีนัส *Paracoccus* sp.จัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteria เป็นกลุ่มที่ใช้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Facultative Chemolithotroph)สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต (Luo, Tian, and Lin. 2013 : 1393-1399)ส่วนที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีมีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 2 จีนัสได้แก่ *Bacillus* sp.และ *Sphingomonas* sp. ที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,500 มิลลิลิตรต่อนาทีมีแบคทีเรียเด่นทั้งหมด 4 จีนัสได้แก่ *Enterobacter* sp., *Sphingomonas* sp., *Rhodopseudomonas* sp. และ *Paracoccus* sp. จากนั้นเมื่อการศึกษาผลของออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเติมไนเตรทและอากาศลงไป โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง พบว่าในช่วงก่อนเติมอากาศ เด่นด้วยแบคทีเรียจีนัส *Azospirillum* sp. และ *Paracoccus* sp.ซึ่งเชื้อทั้ง 2 จีนัสนี้เป็นจัดอยู่ในกลุ่ม Autotrophic Bacteria เป็นกลุ่มที่ใช้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Facultative Chemolithotroph) และหลังเติมอากาศ เด่นด้วยแบคทีเรียจีนัส *Enterobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp. และ *Sphingomonas* sp. แสดงว่าการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่มไร้อากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. นำข้อมูลตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพไปประยุกต์ใช้การบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ

2. ควรนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ควรศึกษาศักยภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งอื่นนอกเหนือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

2. ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ร่วมกับก๊าซชนิดอื่นๆ เพื่อให้สอดคล้องกับอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งปล่อยมลพิษ

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการออกแบบการผลิต การควบคุมก๊าซชีวภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่1 กรุงเทพมหานคร : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ปิยวัฒน์ จิรเดชนันท์, สาโรชน์ บุญยกิจสมบัติ.(2551). ผลของสารอาหารเสริมที่มีต่อการกำจัดสารประกอบซัลไฟด์ในระบบบำบัดทางชีวภาพ. วารสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13. 78-83.

ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานน้ำมันปาล์ม, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2557, จาก http://www.firstweb .com/handsite/biogas/assinpalm.html.

วีรานุช หลาง. (2551). “วงจรกำมะถัน,” จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. (หน้า 75-79). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภาพร หวังศิริเจริญ, วสุ ปฐมอารีย์. (2552). “การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพโดยจุลินทรีย์,” วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 37(2), 130-136.

ศุภาพร หวังศิริเจริญ. (2553). การคัดแยกและการคัดกรองแบคทีเรียที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในฟาร์มสุกร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 28-33.

Aguilara, J. R. P., Cabrialesa, J. J. P., and Vega, M. M., (2008) .“ Identification and Characterizationofsulfur oxidizing bacteria in an artificial wetland that treats wastewater from a tannery,” International Journal of Phytoremediation. 10, 359-370.

APHA.(2012) . Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(22th ed) . Washington DC : American Public Health Association.

Ausubel, F. M., Brent, R., Kingston, R. E., Moore, D.D., Seidman, J. G., Smith, J. A., and Struhl, K.(1995). “Preparation and analysis of DNA Phenol extraction and ethanol precipitation of DNA,” Current protocols in molecular biology. 1(2), 2.1.1-2.1.3.

Beheral, B.C., Mishra, R.R., Dutta, S.K., and Thatoi, H.N. (2014) “Sulphur oxidizing bacteria in mangrove ecosystem: A review,” African Journal of Biotechnology. . 13, 2897-2907.

Clesceri, L.S., A.E. Greenberg & A.D. Eaton.(1998). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th Edition (L.S. Clesceri, A.E. Greenberg & A.D. Eaton, eds.). American Public Health Association, Washington, DC.

Chung, Y.C., Lin,Y.Y .and Tseng,C.P. (2005). "Removal of high concentration of NH_3 and coexistent H_2S by biological activatedcarbon (BAC) biotrickling filter,". Bioresource Technology. 96, 1812-1820.

Díaz, I., Lopes, A.C., Pérez, S.I. and Fdz-Polanco ,M. (2010). "Performance evaluation of oxygen, air and nitrate for the microaerobic removal of hydrogen sulfidein biogas from sludge digestion," Bioresource Technology. 101, 7724-7730.

Devinny, J.S., Deshusses, M.A. and Webster, T.S. (1999). Biofiltration for air pollution control. Boca Raton, Fla [u.a.]. : Lewis. 7-22.

Friedrich, C.G., Rother, D.R., Bardischewsky, F., Quentmeier,A., and Fischer. J. (2001). "Oxidation of Reduced Inorganic Sulfur Compounds byBacteria: Emergence of a Common Mechanism?," Applied and Environmental Microbiology. 67, 2873-2882.

Jacob, M.B. (1996) "The Chemical Analysis of Air Pollutant," Interscience Publishers Inc. New York. 2, 304-308.

Jiang, X., and Tay, J., H.(2010) "Microbial community structures in a horizontal biotrickling filter degrading H_2S and NH_3,"Bioresource Technology. 101, 1635-1641.

Janssen, A.J.H., Sleyster, R., Van, C.D.K., Jochemsen, A., Bontsema. J. and Leettinga, G., (1998). "Biological Sulfide Oxidation in Fed-Batch Reactor," Biotechnology and Bioengineering. 147, 327-333.

Kongjan, O-Thong and Angelidaki. (2011). "Biohydrogen production from desugared molasses (DM) using thermophilic mixed cultures immobilized on heat treated anaerobic sludge granules," International Journal Of hydrogen energy. 36,14261-14269.

Laul, L.C.,MohamadNor, N.,Mohamed, A.R. and Lee, K.T. (2013)."Adsorption of hydrogen sulfide using palm shell activated carbon : an optimization study using statistical analysis," International Journal of Research in Engineering and Technology. 2, 302-311.

Luo, J., Tian G., Lin, W. (2013). "Enrichment, isolation and identification of sulfur-oxidizing bacteria from sulfide removing bioreactor," Journal of Environmental Sciences. 25, 1393-1399.

Mohseni, M., Allen, D.G., JNichols, K.M. (1998).Biofiltration of α- pinene and its application to the treatment of pulp and paper air emission.TAPPI J, 81, 205-211.

Muyzer, G., E.C. De Waal and A.G.Uitterlinden (1993). "Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction amplified genes coding for 16S rRNA," Environment Microbiology. 59, 695-700.

Namgung, H.K., Ahn, H.Y., and Song, J. (2012)."Development of a two-phase bioreactor for biological removal of hydrogen sulfide from biogas," Energy Procedia. 14, 1143-1148.

Nisola, G.M., Tuuguu, E., Farnazo, D.M., D., Han, M., Kim, Y., Cho, E., and Chung, W.J. (2010) " Hydrogen sulfide degradation characteristics of *Bordetella* sp. Sulf-8 in a biotrickling filter," Bioprocess Biosystems Engineering.33, 1131–1138.

Oyarzun, P., Arancibia, F., Canales, C. and Aroca, G. (2003)."Biofiltration of high concentration of hydtogen sulphide using *Thiobacillus thioparus*," Process Biochemistry. 39, 165-170.

O-Thong, O., Boe, K. and Angelidaki, I. (2012). "Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production," Applied Energy. 93, 648-654.

Ramírez, M., Gómez, J.M., Aroca, G., and Cantero, D. (2009)."Removal of hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus thioparus* in a biotrickling filter packed with polyurethane foam," Bioresource Technology.100, 4989-4995.

Rattanapan, C., Kantachote, D., Yan, R., and Boonsawang, P. (2010). "Hydrogen sulfide removal using granular activated carbon biofiltration inoculated with *Alcaligenes faecalis* T307isolated from concentrated latex wastewater," International Biodeterioration & Biodegradation. 64, 383-387.

Sridar,R., Veerender, K., Sivaji, M., and Gayath, R. (2015)"Genetic diversity of sulphur oxidizing bacteria from different ecosystems,"Indian Journal of Biotechnology. 14, 72-80.

Su, J.J., Chang, Y.C., Chen, Y.J., Chang, K.C., and Lee S.Y.(2013)."Hydrogen sulfide removal from livestock biogas by a farm-scale bio-filter desulfurization system," Water Science & Technology. 67.6, 1288-1293.

Syed, M., Soreanu, G., Falletta, P., and Beland, M. (2006). "Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes-A review,"Canadian Biosystems Engineering. 48, 1-14.

Silva, M.L.B.D., Mezzari, M.P., Ibelli,A.M.G., and Gregory, K.B. (2014). International Biodeterioration & Biodegradation 86, 248-251.

Tosati, J., and Jinsiriwanit, S. (2013)."Improving the quality of hydrogen sulfide contaminated biogas by bioscrubber,"Europion Biotechnology Congress. 24, 68.

Potivichayanon, S., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M. (2006). "Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system,"Process Biochemistry. 708-715.

Zhou, W., Imai, T., Ukita, M., Li, F., and Yuasa, A. (2007)."Effect of limited aeration on the anaerobic treatment of evaporator condensate from a sulfite pulp mill," Chemosphere. 66, 924-929.

Ryu, H.W., Yoo, S.K., Choi, J.M., Cho, K.S.,Cha, D.K. (2009) "Thermophilic biofiltration of H_2S and isolation of a thermophilic and heterotrophic H_2S-degrading bacterium, *Bacillus* sp. TSO3," Journal of Hazardous Materials.168, 501-506.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อและวิธีเตรียม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อและวิธีเตรียม

1. Thiosulfate Mineral Medium

KH_2PO_4	2	กรัม
K_2HPO_4	2	กรัม
NH_4Cl	0.4	กรัม
$MgCl_2.6H_2O$	0.2	กรัม
$FeSO_4.7H_2O$	0.01	กรัม
$Na_2S_2O_3.5H_2O$	8.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันปรับ pH ให้ได้ 7.0 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 เซลเซียสที่ความดัน 15ปอนด์ 15 นาที

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเตรียมสารเคมี

1. TE buffer pH 8.0

10 mM Tris(Hydroxymethyl) Amino Methane pH 8.0	12.1	กรัม
1 mM EDTA (Na_2EDTA) pH 8	3.72	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลาย Tris ลงในน้ำกลั่น และปรับ pH เป็น 8.0 จากนั้นเติม EDTA ลงไป คนให้ละลาย นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสความดัน 15 ปอนด์ 15 นาที

2. TAE buffer (Stock Solution 50X)

Tris Base (Hydroxymethyl) Aminomethane	242	กรัม
Glacial Acetic Acid	57.1	กรัม
EDTA (Na_2EDTA)	37.2	กรัม

การเตรียม

ผสมสารให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นจนกระทั่งครบ 1,000 มิลลิลิตรปรับ pH เป็น 8.0นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสความดัน 15 ปอนด์ 15 นาที

3. SDSร้อยละ 10

Sodium dodecyl sulfate	10	กรัม
น้ำ MilliQ	100	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลาย SDS 10 กรัมในน้ำ MilliQ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรใช้เวลาประมาณ20 นาที หรืออาจนานกว่านั้นจึงจะละลาย เก็บในขวด Stock ไม่ต้องนำไปฆ่าเชื้อ

4. 3M Sodium Acetate pH 5.2

Sodium Acetate Trihydrous	408.1	กรัม
Glacial Acetic + น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเตรียม

ละลาย Sodium Acetate Trihydrous 408.1 กรัมด้วยน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตรปรับ pH ให้ได้ 5.2 ด้วย Glacial Acetic จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ121 องศาเซลเซียสความดัน 15 ปอนด์ 15 นาที

5. Lysozyme 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

Lysozyme	50	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	1	มิลลิลิตร

การเตรียม

ชั่ง Lysozyme 50 มิลลิกรัมละลายในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตรเขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใช้งานทันที

6. Proteinase K 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

Proteinase K	20	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	1	มิลลิลิตร

การเตรียม

ชั่ง Proteinase K 20 มิลลิกรัมละลายในน้ำกลั่น1 มิลลิลิตรเขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใช้งานทันที

7. DSSA

Bis-Acrylamide	20	มิลลิลิตร
10X TAE	5	มิลลิลิตร
น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว	100	มิลลิลิตร

การเตรียม

ชั่งสารทั้งสองใส่ในขวด Duran ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วจนได้ปริมาตร100 มิลลิลิตรห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์เพื่อป้องกันแสง

8. DSSB

Bis-Acrylamide	20	มิลลิลิตร
10X TAE	5	มิลลิลิตร
Urea	42	กรัม
Deionized Formamide	40	มิลลิลิตร

การเตรียม

ชั่งสารใส่ในขวดDuranนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ70 องศาเซลเซียสกวนไปด้วยจนกว่าสารละลายห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์เพื่อป้องกันแสง

9. Ammonium Persulfate Solution ร้อยละ 10

Ammonium Persulfate	0.05	กรัม
น้ำกลั่น	500	ไมโครลิตร

การเตรียม

ชั่ง Ammonium Persulfate 0.05 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร

10. 40%Acrylamide

Acrylamide	40	กรัม
Bis acrylamide	1.1	กรัม

การเตรียม

ชั่ง Acrylamide 40 กรัมผสมกับ Bis Acrylamide1.1กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วนำมาปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง เก็บไว้ในขวดสีชา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

11. สารละลายไอโอดีน 0.001736 N

ไอโอดีน	1.206	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลายไอโอดีนจำนวน 1.206 กรัม แล้วทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

12. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N

$Na_2H_2O_3.5H_2O$	6.205	กรัม
NaOH	4-5	เม็ด
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเฮบต้าไฮเดรต ($Na_2H_2O_3.5H_2O$) หนัก 6.205 กรัมในน้ำกลั่น เติม NaOH ประมาณ 4-5 เม็ด(1 ช้อนเล็ก) แล้วทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

13. สารละลายแคดเมียมคลอไรด์

แคดเมียมคลอไรด์	20	กรัม
สารละลายแอมโมเนีย	75	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลายแคดเมียมคลอไรด์20 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายแอมโมเนียปริมาตร 75 มิลลิลิตรแล้วทำการเจือจางให้เป็น 300 มิลลิลิตร

14. สารละลายไอโอดีน 0.001736 N

ไอโอดีน	1.206	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลายไอโอดีนจำนวน 1.206 กรัมแล้วทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับให้ได้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

15. น้ำแป้ง

Soluble Starch	5	กรัม
Salicylic Acid	1.25	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม

ละลาย Soluble Starch 5 กรัม ในน้ำต้มประมาณ 800 มิลลิลิตรคนให้เข้ากัน เติมน้ำให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาทีตั้งค้างคืนไว้ใช้แต่น้ำใสๆ ข้างบน ควรเติม Salicylic Acid 1.25 กรัม ต่อน้ำแป้ง 1,000 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเติบโตของแบคทีเรีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ลำดับนิวคลีโอไทด์ของประชากรแบคทีเรียบนเจล DGGE

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
S1	TTTATAAAATATGTTTTTAATTTTTTTATTTGTTTTGTTTAGTATAGGTTATAAA CGAGTATAGAAGAAGTGAAGACAGGCCGAAAAGCATGGTAGAAAAGGGCG	*Acinetobacter* sp.	EU718212
S2	TTCTCCTCTCGTACGCGCCGCAGCGGTCTCCTGCGGGAGGCAGCAGAGGGGAAT CTTGCACAATGGGCGCAACCCCGATCCAGCGACCAGCGTGAGTTAAGCTGGTTT	*Roseobacter* sp.	AY664344
S3	TACGGGAGGCAGCAGTGAGGAATATTGGGCAATGGAGGGAAATCTGATCCAGC CATGCCGCGTGCAGGAAGACGGCCCTATGGGTTGTAAACTGCTTTTATATGGAG CAATAAGGTAACGAGTAGGCCGATGACAGTACC ATAGAGTAGA	*Prolixibacter* sp.	EU809786
S4	TCTCTTCTGGGAGGAGACGCAGCGGTCTCCTACAGAAGGCAGCAGAGGGGAAT ATAGCACAACGGGGGGAAGCATAAAGCAGCAAGGCTGGGAGAGTGATGAAGG CTCGGAAGGTAGAAAAATTCTTTAATCCGGGGGAAGAGAATGACGTACGAA	*Enterobacter* sp.	FJ608237
S5	CTTCTGGTAGGGGAGACAGCTTCTCTTACGGGAGGCAGCAGAGGGGAATATTGG ACAATGGGGGAAAGTATGAGAAAGCAACGCCGGGTGAGTGAAGAAGGCTTTTA GAGTTGAAAAACTCTGTTATCGGGGAAAGAATAATGACGTACCGAAGAGT	*Pseudomonas* sp.	EU695214

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
S6	TTCTCCTCTGGGAGGCAGCAGTTCTTCTCTTACGGGAGGCAGCAGAGGGGAATA TTGAACAGTGGGAAGAAGCATGATCCAGCACCGCCGGTAGAGTGAAGAAGCTT GGATGGAAAAAAGCTTTTTACCCGGAAGATAATGACAGACCGTAGAAAGGATG	*Sphingomonas* sp.	JQ701443
S7	CCTACGGGAGGCAGCACTACGGTCTCCTACAGAAGGCAGCAAAGGGGAATATA GCACAACGGGGGGAAGCATGAAGCAACAACGCTGGGAGAGTGATGAAGGCCG GGAAGGTAGAAAAACTCTTTAACCGGAAAGATAATGACGTACGTAGATAACCC	*Ochrobactrum* sp.	AJ564066
S8	CACCCTTCCCCCAACGGAAGGAACAACTAGGAACTCCTACAGAAGGCAGCAAA GGGGAATATAGGACAACGGGCGCAAGCATAAAGCAGCAAGGCCGCAAAAGCG	*Rhodopseudomonas* sp.	HM627637.1
S9	TTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTAGGGACTCCTACACAAGGCAGCAAAGGCGAA TAGAGCAAAACCGCGGCAACCAAGAAGCAGCAAGGCCGCGAAAGCGATGAAG	*Bacillus* sp.	EF105471
S10	GGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTG ATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTTAC	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
S11	TCTTCTGGGAGGCGGCGGTAGGGTCTCTTACGGGAGGGAGCAGAGGGGAATGTGGCACAGCGGGGGGAAGGATGAGGGTTTAGGGCTGGTAGAGTTATGAAGGCTGGTAAGGAGAAAAGCTGGTTTATCCGGAAGGGATGAAATGACGGTACCGTAGAG	*Burkholderia* sp.	FM212275
S12	TTTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGTCTCTTTTGGGCGAGGGAGCAGAGGAAAATCCAGCAATGCGGGCGAAAGATGAAGGCACACCGGCGGTAAAGTAATAATGGCTTAGAAGATAAAAATCTTCTTATCCGGGGAGAATGAATGACGTACCGAAGATA	*Sphingomonas* sp.	AM940623
S13	CTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGAAAATATTGCAAAATGGGAAAAAGCCTGATCCAACAATGCCGCGTGAGTAAAGAAGTCTCTAGGGTTATAAATCTCTTTTACCC	*Sphingomonas* sp.	KT865699.1
S14	TCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGGGAAAGCCTGATGCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTG	*Sphingopyxis* sp.	EU426927
S15	TCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTTACCCG	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
S16	CTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCC	*Azospirillum* sp.	KU836606.1
S17	TTCTCTTCCGGGAGGCGCCGGTGGGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGC	*Sphingomonas* sp.	GU431773.1
S18	TCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTACTCCGTGAAGATAATGACATGTACCGG	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1
S19	TCTCCCTCCTCCGGTCTCCTACGGGAGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTTACTCCGGGAAGATAATGACTGACCGGAGAGAAGCCGTA	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
S21	TCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTTACTCCGGGAAGATAATGACTG	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1
S22	TCGGGATCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGACCTAGGGATGTAAAGCTCTTTACCCGGGAAGATAATGACTGTACCGCGA	*Sphingomonas* sp.	KF192619.1
S23	TCTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGAGGGGAATATTGGACAACGGGCGCAAGCCAGAACCAGCAATGCCGCGAGAGTGATGAAGGCCCTAAGGAAATAAAGCTCTTTACCCGGGAAGATAAGACCGAACC	*Methylobacterium* sp.	KC493060.1
S24	TCTCCCTCCTCCGGTCTCCTACGGGAGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCAATGCCGCGTGAGTGATGAAGGCCCTAGGGTTGTAAAGCTCTTTTACTCCGGGAAGATAATGACTGACCG	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
SU1	AAGAGGTTCATTTCGTAAGCCCTTCATATTCTCGCGGGAGGTGGTTCGGTTTTTC CCCCGGGCCTTACTACTGTATCGTCTCCTACGGGAGCAGCAGTGGGGAATATTG CGCGATGCGCGAAAGCCTGATGCAGCGACGCCGCGTGGAGGATGAAGGTCTTC	*Acinetobacter* sp.	EU718221
S2	CAGTGGGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTACCCAATGGAGGAA ACTCTGATGTCGCAACGCCGCGTGGGGGATGACACATTTCGGTGCGTAAACTCC	*Enterobacter* sp.	FJ608236
S3	TTATTTTACCACGGGGAAAAAAATAAAATATAGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGT GGGGTCTCTTACGCGAGGCGCAGCAGGGGGGTATTACCCACAGGGGGAAAATA CGAGGTAGCAACGCCGCGTGAGAGATGACAAGGCTCGGGGGGTAAAATCTTAA	*Azospirillum* sp.	KU836602
S4	TATTTTCCTGTTTCCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGACTCCTACGGGAGGCA GCAGTGGGGGAGCTACACAATGGAGGAAACTATGAAGTAGCAACGCCGCGTGG AGGATGACGCATTTCGGGGCGTAAACTCCTTTTCTCCTGAAGATAATGACGGTT	*Paracoccus* sp.	FJ549001

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
SU5	TATCCAAATTCTCCTCCGGGAGGCAGCAGTGGGGTCTCTCCTACGGGGGGCAGC AGCGGGGACTCTCCCACCGGGGGCGACTGCGAGGTGGCGCCGCCGCGCGGGGG GGGACACGGCCCGGGGGGTGAACTCTCTTCTCGTGCAGAGGCGGCGGGCC	*Bacillus* sp.	FJ981825
SU6	CTATCTTACACCTCGTGTGGCTAAATATAGTTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGG GGACTCTCGTACGGGGGGCGGCAGCTGGGTCTTTTCCACAATGGGCGAAGGCGA GGTGGCGCGACCGCGAGAGCGGGGTGAAGGCCTTAGGGGTGTAAACCTCTTCG	*Bacillus* sp.	FJ981829
SU7	ACGCATGTGTGCGATTAACCATAAGTTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGTCT CTTGGGCGAGGGGGCGCAGCGGGGTCTTGCCCACCGGGGGCGAACACGAGGGC	*Sphingomonas* sp.	KU198801
SU8	TTTACCCAAAAAGGAACCGGTGCTCTTAGCCAAAGAAACCCTCCTACGGGAGGC AGCAGGGGGTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTACACAATGGAGGA AACTCTGATGTAGCAACGCCGCGTGGGGGATGACACATTTCGGTGCGTAAACTC CTTTTCTCTGTGAAG	*Enterobacter* sp.	FJ608237

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
SU9	TCCGGGGGCCACCGGGGGGACTCTCCTCCGGGGGGCCGCCGCTGGGAATGGTCC ACCGGGGGCGAACGCGAGGGGGAGGGGCGGGGCGAGCGGGATGAAGGCTAGG GGGAGTAAACCTATTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGG	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1
SU10	CTACGGGAGGCAGCAGTGGGGACTCTTGCGCGAGGGGGGGCAGCGGGATCCAG CCCAGCCGCGAAATGACGAAGGCGCTCGGCCGGGAGAGCGATGAAGGCGCGGA	*Rhodopseudomonas* sp.	HM627637.1
SU11	CGGGAGGCAGCAGTGGGGTCTCTTACGGGAGGCGGCACAGGGGGATATTGCAC ACTGGGGGCAACCCCGATCCAGCCACGCCGCGTGAGCGATGAAGGCCCTAGGG	*Paracoccus* sp.	FJ548991
SU12	AGCATACTAAAAATTGTTCCTCTATGAACCTTTAAAATAATGCAAATACATTTAA CACTTTACGGAAACGGTCGTTTCCTCTTTTTCCTCCTCCGGGAGGCAGCAGTGGG GACTCTCGTGCGGGGGGCCGCAGGTGGGTATTGTCCACAGGGGGCGAAAGCGA GGCGGCGCGGCGGCGCGAGAG	*Azospirillum*sp.	KU836606.1

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
SU13	AAAACTTGATTATAAACTGGACATTATTTTTTCCGTGATAAATTTAACCTAGAA GACTTTTATTCAACCGGGTATGTTTTTATCTTAGTTCTCCTACGGGAGGCAGCAG TGGGGTCTCTTGGGGGGGGGGCAGTGGGGGATCTTGCACACTGGGGGCAAGC ATGATGCCGCCCGGCCGCGTGAGCGATGAAGGCCCTAGGGGGTAAAGCTCTTTC	*Paracoccus*sp.	FJ548991
SU14	AACCGGTGCGAAATCCAAATCCTCCTACGCTCGGCCGCGAGGGGGCCTCCTGGG GGAGGCGGCGGGGGGGAATATCGCACAGCGGGGGCGACCCCGATGCGGCGCCG CCGCGAGAGCGGGGAAGGCCCTGGGTCGGGAAGCTCTTTCCCCGGCGGGGGCG	*Enterobacter* sp.	FJ608239
SU15	ATCGTCTTTTAGAGCTTTCATCTATGCCCTTTTAAAATTTTAAACCCTTGCCTCTC CCCCGTTGTATTCGACTTCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGACTCTCCTACGG GAGGCAGCAGTTAGGAATCTTCCACAATGGGCGAAAGCGAGATCGAGCGACGC CGCGTGAGGGATGAAGGCCTTAGGGTTGTAAACCTCTTCCTCCTACACAGGCAG	*Rhodopseudomon*as sp.	HM627637

ผล Blast ลำดับนิวคลีโอไทด์จากแบนด์ DGGE (ต่อ)

รหัสการทำ Sequence (Raw data)	Sequences	Organism	Accession NO.
SU16	GTGCGTTATCCAGGACCTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGCCTCTCCTACGGGG GGCAGCAGCTGGGACTCTTCCACCATGGGCGAACGCGAGGGCGCGCGGCGCCG CGAGAGGGGTGGAGGCCTGGGGGGTGGAAACCTTTCTCCTACGGGAGGCAGCA	*Sphingomonas* sp.	KU198801.1
SU17	TCCTTGCTCGTCAGGGCGGGAGCCTCTCGGGCGAGGGGCGAAAGCGGGATATCG CACACCGGGGGGGACCCCGAGGGCGTGCGGCCGGTAGAGCGGTGAAGTCCCTG GAGAAGTAAAGCCTTTCTCGTACGGGAGGCGGCGTCCGC	*Sphingomonas* sp.	KF192619.1

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

(1) ดร.เกียรติศักดิ์พันธ์พงศ์

1. ข้อมูลส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายเกียรติศักดิ์พันธ์พงศ์ (Mr. Kiattisak Panpong)

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน: 5 9103 99001 40 1

ที่อยู่ 16 หมู่ที่ 2 ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล 91130

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์

3.หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

โทรศัพท์มือถือ: 083-6554305

E-mail: panpong1@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2557 **M.E-Ph.D.** (วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

Thesis title: Improvement of Biogas Production Process from Agro-Industrial Wastewater by Co-digestion Strategies

พ.ศ.2546 **B.S** (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Project title: Hydrogen Production from Canned Seafood Wastewater by Using Photo Bacteria Synthesis

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Technology fermentation, Anaerobic digestion, Wastewater treatment process and design, Alternative and renewable energy

6. ประสบการณ์ด้านงานวิจัย

6.1 ผลงานวิจัย

ชื่อโครงการ	ระยะเวลาดำเนินการ	แหล่งทุน	วงเงิน	สถานภาพในการทำวิจัย
1. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้ระบบอีจีเอสบี	2552-2553	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และบริษัท วงศ์บัณฑิตจำกัด	2,000,000	ผู้ร่วมโครงการ
2. ผลของปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบตัวกรองชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์	2558-2559	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติงบประมาณประจำปี 2559	600,000	หัวหน้าโครงการ
3. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงาน สุรากลั่นชุมชนโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วม	2558-2559	กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา	60,000	หัวหน้าโครงการ

6.2 ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (Publication)

Panpong, K., Nuithitikul. K., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2015). Anaerobic co-digestion Biomethanation of cannery seafood wastewater with *Microcystis sp;* blue green algae with/without glycerol waste.Energy Procedia, 79, 103-110.

Srimachai, T., Nuithitikul. K., O-Thong, S., Kongjan, P., & Panpong, K. (2015). Optimization and kinetic modeling of ethanol production from oil Palm frond juice in batch fermentation.Energy Procedia, 79, 111-118.

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2014). Anaerobic co-digestion of canned seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production.Energy Procedia, 52, 328-336.

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2014). Enhanced biogas production from canned seafood wastewater by co-digestion with glycerol waste and *wolffia arrhiza*. Energy Procedia, 52, 337-351

กัลยา ศรีสุวรรณ, วีระศักดิ์ ทองลิมป์และเกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์ (2013). ความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรียชนิดเม็ดในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ใช้กรดซัลฟิวริคและพอลิเมอร์ A 704 ในกระบวนการผลิตยางสกิม. Naresuan University Engineering Journal, Vol. 8, No. 1, January-June 2013, pp. 15-20.

6.3 การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการและมีการพิมพ์เป็นรูปเล่ม

(Oral presentation/proceeding)

Panpong, K., Srimachai, T., Nuithitikul. K., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2016). Effect of inhibited formation during oil palm frond pulping (OPFP) microwave pretreatment for bioethanol production by SSF process. Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (2016 ACENS). 1-3 February 2016. Fukuoka, Japan.

Panpong**, K.**, Nuithitikul. K., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2015). Anaerobic co-digestion Biomethanation of cannery seafood wastewater with *Microcystis sp;* blue green algae with/without glycerol waste. International conference on alternative energy in developing countries and emerging economies (2015 AEDCEE). 2 8 -2 9 May 2015 . Bangkok, Thailand.

Srimachai, T., Kamchai Nuithitikul., O-Thong, S. & Kongjan, P., Panpong**, K.** (2015). Optimization and kinetic modeling of ethanol production from oil Palm frond juice in batch fermentation. International conference on alternative energy in developing countries and emerging economies (2015 AEDCEE). 28-29 May 2015. Bangkok, Thailand.

Panpong, K., Srisuwan, G., & O-Thong, S. (2013). Co-digestion of seafood cannery wastewater with glycerol waste and *wolffia arrhiza* to increase biogas production. 2013. International conference on alternative energy in developing countries and emerging economies (2013 AEDCEE). 30-31 May 2013. Bangkok, Thailand.

Panpong, K., Srisuwan, G., & O-Thong, S. (2013). Anaerobic co-digestion of cannery seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production. 2013 International conference on alternative anergy in developing countries and emerging economies (2013 AEDCEE). 30-31 May 2013. Bangkok, Thailand.

Srisuwan, G., Panpong, K., (2007). Sulfate and organic matter removal in batch anaerobic wastewater treatment. PSU-UNS International Conference on Engineering andEnvironment - ICEE-2007, 10-11 May 2007, Phuket, Thailand.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์,สมศักดิ์ แก้วพลอย, ชำนาญ พูนสวัสดิ์ และทัศนี ศรีมาชัย.(2558). การประเมินศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานปลาป่น. การประชุมวิชาการระดับชาติเทคโนโลยีภาคใต้ ครั้งที่ 5. วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้ 23 มกราคม 2558.

กัลยา ศรีสุวรรณวีระศักดิ์ ทองลิมป์และ เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์. (2554). การผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงโดยใช้ระบบอีจีเอสบี. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. 3 – 5 พฤษภาคม 2554.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์, กัลยา ศรีสุวรรณและ วีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2554). ผลของความเร็วน้ำไหลขึ้นต่อสมรรถนะของระบบ EGSB ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น. ประชุมวิชาการประจำปีบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1 (SET-04). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์22 เมษายน 2554.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์, กัลยา ศรีสุวรรณและวีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2554). ผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อสมรรถนะของระบบ EGSB ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น. ประชุมวิชาการประจำปีบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1(SET-04). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์22 เมษายน 2554.

กัลยา ศรีสุวรรณ, เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์ และจันทิมา ชั่งสิริพร. การกำจัดซัลเฟตในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบทีละเท. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4หาดใหญ่ สงขลา.8-9 ธันวาคม 2548.

6.5 ประสบการณ์การทำงาน

27 มิ.ย. 57 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา (วิทยาเขตสตูล) และโปรแกรมวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
29 ม.ค. 58	วิทยากรบรรยายในหัวข้อ “การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอุตสาหกรรมเกษตรโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วม” ในงานสัมมนาวิชาการทางเทคโนโลยีชีวภาพด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

23 มิ.ย. 58	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
16 ธ.ค. 58	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทของนางสาวคอลีญะห์ สะนิ เรื่อง “Hydrogen and methane production by two-stage anaerobic digestion of oil palm mill effluent” ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

(2) ผศ.ดร.สมพงศ์ โอทอง

1. ชื่อ-สกุล ภาษาไทย	นายสมพงศ์ โอทอง
ภาษาอังกฤษ	Mr. Sompong O-Thong
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน	3 8013 00957 791
3. ที่อยู่	132 หมู่ที่ 13 ต.ปลายพระยา อ.ปลายพระยา จ.กระบี่
4. หมายเลขโทรศัพท์	074-693992 ต่อ 2261 (ที่ทำงาน) 0877950406 (มือถือ)
5. E-mail	sompong.o@gmail.com
6. ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา (พนักงานมหาวิทยาลัย)
7. สังกัด	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ หมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร 074-693992
8. ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2550	ปร. ด. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ชื่อวิทยานิพนธ์	Optimization and microbial community analysis for production of biohydrogen from palm oil mill effluent by thermophilic fermentative process
พ.ศ. 2546	วท. ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ชื่อวิทยานิพนธ์	Study on microbial consortiums from commercial and natural microbial inocula for treating shrimp farming wastewater by using molecular biological techniques
พ.ศ. 2544	วท. บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยทักษิณ เกียรตินิยมอันดับสอง
ชื่อโครงงานวิจัย	Ammonia removal from saline wastewater by nitrifying bacteria in sequencing batch reactor.
9.รางวัล	
พ.ศ. 2550	วิทยานิพนธ์ระดับดีเยี่ยมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ. 2550	วิทยานิพนธ์ระดับดีเด่นสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2551	รับเชิญทำวิจัยณประเทศญี่ปุ่นด้วยทุน JSPS
พ.ศ. 2552	วิทยานิพนธ์ระดับดีเยี่ยมสภาวิจัยแห่งชาติ
พ.ศ. 2552	ผู้ที่มีผลงานวิจัยตีพิมพ์มีค่า impact factor สูงสุดมหาวิทยาลัยทักษิณ
พ.ศ. 2553	การแสดงผลงานแบบโปสเตอร์ระดับดีเยี่ยม Asian Biohydrogen ประเทศ Taiwan
พ.ศ. 2553	รางวัลกลุ่มวิจัยดีเยี่ยม (กลุ่มวิจัยพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากวัตถุดิบมวลชีวภาพโดยจุลินทรีย์) จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ประจำปี 2553)
พ.ศ. 2554	TRF-CHE SCOPUS RESEARCHER AWAED 2011, Elsevier
พ.ศ. 2554	ผู้มีผลงานวิจัยได้รับการอ้างอิง (Citation) สูงสุดมหาวิทยาลัยทักษิณ
พ.ศ. 2554	การแสดงผลงานแบบโปสเตอร์ระดับดีเยี่ยม ICCE-2011 ประเทศ Taiwan
พ.ศ. 2554	การแสดงผลงานแบบปากเปล่าระดับดีเยี่ยม ICCE-2011 ประเทศ Taiwan
พ.ศ. 2554	การแสดงผลงานแบบปากเปล่าระดับดีเยี่ยม ICCE-2011 ประเทศ Taiwan
พ.ศ. 2555	ผู้มีผลงานวิจัยได้รับการอ้างอิง (Citation) สูงสุดมหาวิทยาลัยทักษิณ

10. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา): เทคโนโลยีชีวภาพ กระบวนการหมักเทคโนโลยีชีวภาพพลังงาน ผลิตพลังงานทดแทนจากมวลชีวภาพด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เทคโนโลยีชีวภาพสิ่งแวดล้อม กระบวนการและระบบบำบัดน้ำเสีย การศึกษาแบคทีเรียชอบร้อน เทคนิคทางด้านอณูวิทยาทางด้านสิ่งแวดล้อม

11. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

10.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย:

1. นวัตกรรมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นในมรดกทางวัฒนธรรมของการพัฒนาต้นเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตสีครามจากต้นครามและการเก็บรักษาสีครามในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งาน (สกอ.54)

2. การผลิตไฮโดรเจนและมีเทน (ไบโอไฮเทน) จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูงและการประยุกต์ใช้ไบโอไฮเทน (ต.ค. 2553-ต.ค. 2556)

3. การตรวจสอบสาเหตุของการเกิดโฟมและความไม่เสถียรของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศผลิตมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (2555-2557)

4. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้การย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มกับขี้เถ้าและของเสียกลีเซอรอลจากโรงงานไบโอดีเซลคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (2555)

5. การแปรรูปชีวมวลปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างยั่งยืน (สวก 2556)

10.2 ผู้ร่วมโครงการวิจัย:

1. การวิจัยและพัฒนาระบบบำบัดไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งแบบน้ำหมุนเวียน2551-2553)

2. ศักยภาพการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนจากซีรัมที่ได้จากการจับตัวน้ำยางตามหลักการไบโอรีไฟเนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (2555)

10.3 งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว:

1. การพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวมวลจากต้นปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (2552-2553)

2. กลุ่มวิจัยเพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากวัตถุดิบมวลชีวภาพโดยจุลินทรีย์ (สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติปีพ.ศ. 2550-2553)

3. การพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากของเสียเศษอาหารโดยหมักร่วมยิสต์และแบคทีเรียภายใต้สภาวะไม่ฆ่าเชื้อ (2553-2554)

4. การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในจังหวัดพัทลุง (รายได้ 54)

5. การพัฒนาศักยภาพและคุณสมบัติในการเป็นฟังก์ชันแนลฟูดส์เครือข่ายการวิจัยภาคใต้ตอนล่าง 52

6. ศักยภาพทางชีวภาพของจุลินทรีย์ชอบร้อนจากบ่อน้ำพุร้อนในเขตภาคใต้สำหรับการผลิตไบโอฟูเอลสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (2552-2554)

Publications

K. Boe, P.G. Kougias, F. Pacheco, S. O-Thong and I. Angelidaki. Effect of substrate and intermediate compounds on foaming in manure digestion systems. Water Science and Technology 2012;66(10)2146-2154. (Impact factor 1.12).

Kongjan P., O-Thong S. And Angelidaki I. Hydrogen and methane production from desugared molasses using a two-stage thermophilic anaerobic process. Eng Life Sci (2012), doi:10.1002/elsc.201100191. (Impact factor 1.925).

Chookaew T., O-Thong S., Prasertsan P. Fermentative production of hydrogen and soluble metabolites from crude glycerol of biodiesel plant by the newly isolated thermotolerant Klebsiella pneumoniae TR17. International Journal of Hydrogen Energy (2012), http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.06.022. (Impact factor 4.053).

Noparat P., Prasertsan P., O-Thong S. Potential for using enriched cultures and thermotolerant bacterial isolates for production of biohydrogen from oil palm sap and microbial community analysis, International Journal of Hydrogen Energy (2012), doi:10.1016/j.ijhydene.2012.02.103. (Impact factor 4.053)

Yossan S., O-Thong S., Prasertsan P. Effect of initial pH, nutrients and temperature on hydrogen production from palm oil mill effluent using thermotolerant consortia and corresponding microbial communities, International Journal of Hydrogen Energy (2012), doi:10.1016/j.ijhydene.2012.03.151. (Impact factor 4.053).

Mamimin C., Thongdumyu P., Hniman A., Prasertsan P., Imai T., O-Thong S. Simultaneous thermophilic hydrogen production and phenol removal from palm oil mill effluent by Thermoanaerobacterium-rich sludge, International Journal of Hydrogen Energy (2012), doi:10.1016/j.ijhydene.2012.04.062. (Impact factor 4.053).

O-Thong S., Boe K. Angelidaki I. Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. Appl Energy 2012, 93:648-654. (Impact factor 3.915).

Hasyim R., Imai T., O-Thong S., Sulistyowati L. Biohydrogen production from sago starch in wastewater using an enriched thermophilic mixed culture from hot spring. Int J of Hydrogen Energy 2011; 36 (21):1462-14171. (Impact factor 4.053).

Hniman A., Prasertsan P. and O-Thong S. Community analysis of thermophilic hydrogen-producing bacteria from Southern Thailand geothermal spring enriched with xylose and glucose. Int J of Hydrogen Energy 2011; 36(21):14217-14226. (Impact factor 4.053).

Kongjan P., O-Thong S. and Angelidaki I. Biohydrogen production from molasses desugarized soluble (MDS) in the thermophilic fermentation with load shock pretreated-digested manure. Int J of Hydrogen Energy 2011; 36 (21): 14261-14269. (Impact factor 4.053).

O-Thong S., Mamimin C., Prasertsan P. Effect of temperature and initial pH on biohydrogen production from palm oil mill effluent: long term evaluation and microbial community analysis. Electronic Journal of Biotechnology 2011; 15(5): Doi: 10.2225/vol14-issue5-fulltext-9 (Impact factor 0.95).

Noparat P., Prasertsan P., O-Thong S. Isolation and characterization of high hydrogen-producing strain Clostridium beijerinckii PS-3 from fermented oil palm sap. Int J of Hydrogen Energy 2011; 36(21): 14086-14092. (Impact factor 4.053).

Fang C., O-Thong S., Boe K., Angelidaki I. Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled palm oil mill effluent (POME). J Hazardous Materials 2011, 189(1-2): 229-234.

Kongjan P., O-Thong S., Angelidaki I. Performance and microbial community analysis of two-stage process with extreme thermophilic hydrogen and thermophilic methane production from hydrolysate in UASB reactors. Bioresour Technol. 2011, 102: 4028-4035. (Impact factor 4.5).

O-Thong S., Hniman A., Prasertsan P., Imai T. Biohydrogen production from cassava starch processing wastewater by thermophilic mixed cultures. Int J Hydrogen Energy 2011, 36(5): 3409-3416. (Impact factor 4.053).

Hasyim R., Imai T., Reungsang A., O-Thong S. Extreme-thermophilic biohydrogen production by an anaerobic heat treated digested sewage sludge culture. Int J Hydrogen Energy 2011, 36 (14): 8727-8734. (Impact factor 3.95)

Hniman A., O-Thong S. and Prasertsan P. Developing thermophilic hydrogen-producing microbial consortia from geothermal spring for efficient utilization of xylose and glucose mixed substrates and oil palm trunk hydrolysate. Int J Hydrogen Energy 2011, 36 (14): 8785-8793. (Impact factor 3.95)

Pattra S., Lay C. H., Lin C. Y., O-Thong S., Reungsang A. Performance and population analysis of hydrogen production from sugarcane juice by non-sterile continuous stirred tank reactor augmented with Clostridium butyricum. Int J Hydrogen Energy. 2011 34(16): 8697-8703. (Impact factor 3.95)

Kongjan P., O-Thong S., Kotay M., Min B. and Angelidaki I. Biohydrogen production from wheat straw hydrolysate by dark fermentation using extreme thermophilic mixed culture. Biotechnology and Bioengineering 2010, 105(5): 899-908. (Impact factor 4.0)

Sittijunda S., Reungsang A., O-Thong S. Biohydrogen production from poultry slaughterhouse sludge with dual digestion pretreatment. Int J hydrogen energy 2010; 35 (24): 13427-13434. (Impact factor 3.95)

Prasertsan P., O-thong S. and Birkeland N.K. Optimization and microbial community analysis for production of biohydrogen from palm oil mill effluent by thermophilic fermentative process. Int J hydrogen energy 2009; 34: 7448-7459. (Impact factor 3.95).

Zhao C.X., O-Thong S., Karakashev D., Lu W.J., Wang H.T., Angelidaki I. High yield simultaneous hydrogen and ethanol production under extreme-thermophilic (70 °C) mixed culture environment. Int J hydrogen energy 2009; 34 (14): 5657-5665. (Impact factor 3.95).

O-Thong S, Prasertsan P, Birkeland NK. Evaluation of methods for preparing thermophilic hydrogen producing seeds from anaerobic digested sludge with microbial communities aspects. Bioresour Technol 2009; 100: 909-918. (Impact factor 4.10)

O-Thong S, Prasertsan P, Karakashev D, Angelidaki I. High-rate continuous hydrogen production by Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum PSU-2 immobilized on thermo-treated methanogenic granules. Int J Hydrogen Energy 2008; 33: 6498-6508. (Impact factor 3.95)

O-Thong S, Prasertsan P, Karakashev D, Angelidaki I. Specific detection of Thermoanaerobacterium spp., Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum, and Caldicellulosiruptor spp. In thermophilic biohydrogen producing system by fluorescent in situ hybridization (FISH). Int J Hydrogen Energy 2008; 33: 6082-6091. (Impact factor 3.95).

O-Thong S, Prasertsan P, Karakashev D, Angelidaki I. Thermophilic fermentative hydrogen production by the newly isolated Thermoanerobacterium thermosaccharolyticum PSU-2. Int J Hydrogen Energy 2008; 33: 1204-1214. (Impact factor 3.95).

O-Thong S, Prasertsan P, Intrasungkha N, Dhamwichukorn S, Birkeland NK. Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by Thermoanaerobacterium-rich sludge. Int J Hydrogen Energy 2008; 33: 1221-1231. (Impact factor 3.95).

O-Thong S, Prasertsan P, Intrasungkha N, Dhamwichukorn S, Birkeland NK. Improvement of biohydrogen production and pollution reduction from palm oil mill effluent with nutrient supplementation at thermophilic condition using an anaerobic sequencing batch reactor. Enzyme Microb Technol 2007; 41: 583-590. (Impact factor 2.7).

Niha N, Siriwat P, O-Thong S, Sukrakarn N, Intrasungkha N. Modification of nitrate determination in saline wastewater by using the copper-cadmium reduction column method and commercial nitrite test kit, Merck Ltd. Thai Environ Eng J 2005; 19: 113-121. (Impact factor 0)

O-Thong S, Songsang S, Jaubongo S, Prasertsan P, Intrasungkha N. A field survey of microbial products used in marine shrimp cultivation and preliminary evaluation of their wastewater treatment efficiency. Thaksin Univ J 2004; 7: 1-12. (Impact factor 0)

O-Thong S, Jiapakdee R, Intrasungkha N. Wastewater generated from marine shrimp feed and its treatment potential by internal filter system. Thaksin Univ J 2003; 6: 41-53. (Impact factor 0)

Presentations

Sutummawong N., Sumpanthamit T., Ketmai W.,O-thong S., Tessana N. Biodiversity and Utilization Potential of Indigenous Vegetables for Food in Kong Ra District, Phatthalung Province, THAILAND, 2010 International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE 2010), 431-434

Hasyim R., Imai T. and O-Thong S. 2010. Fermentative hydrogen production from sago starch bythermophilic enriched culture from hot spring in Southern Thailand Proceedings of the Environmental Research Event 2010, CQ University, Rockhampton, QLD.

Intharachood M. and O-Thong S. 2010. Biohydrogen production from cassava starch manufacturing wastewater by thermophilic bacteria. CNWEG 2010, 11-12 February 2010 J B hotel Songkla, Thailand.

Khrueamala R., Katemai W. and O-Thong S. 2010. Isolation of cellulose-degrading bacteria and application for bioethanol production from oil palm trunk. CNWEG 2010, 11-12 February 2010 JB hotel Songkla, Thailand.

Beraheang A., Katemai W. and O-Thong S. 2010. Bioethanol production from old oil palm trunk juice by coculture of yeast and bacteria. CNWEG 2010, 11-12 February 2010 JB hotel Songkla, Thailand.

Thongdamyu P., Intrasungkha N. and O-Thong S. 2010. Development of ethanol production from canteen food waste by co-culture of yeast and bacteria. CNWEG 2010, 11-12 February 2010 JB hotel Songkla, Thailand.

O-Thong S., Prasertsan P., Karakashev D. and Angelidaki I.2009. 16S RRNA-targeted probes for specific detection of Thermoanaerobacterium spp., Thermoanaerobacterium Thermosaccharolyticum, and Caldicellulosiruptor spp. by fluorescent in situ hybridization in biohydrogen producing systems. CHE-USDC Congress II, 2009. 27-29 August 2009 Dusit Thani Pattaya hotel Thailand.

Hniman A., O-Thong S. and Prasertsan P. 2009. Community analysis of thermophilic hydrogenproducing bacteria from Southern Thailand geothermal spring enriched with xylose and glucose. Fervaap 2009, 26-28 August 2009 Khon Kaen, Thailand.

O-Thong S. and Reungsang A. 2009. Potential of using mixed microflora enriched from cattle manure for biohydrogen production from lignocellulosic biomass. Fervaap 2009, 26-28 August 2009 Khon Kaen, Thailand.

O-Thong S. 2009. Optimization of key parameters for hydrogen production from xylose by Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum PSU-2. Fervaap 2009, 26-28 August 2009 Khon Kaen, Thailand.

Kongjan P., O-Thong S. and Angelidaki I. 2009. Continuous biohydrogen production from xylose by thermophilic mixed culture fermentation with up-flow anaerobic reactors. Fervaap 2009, 26-28 August 2009 Khon Kaen, Thailand

Pattra S., Imai T., O-Thong S. and Reungsang A. 2009. Optimization of process parameters on methane production form hydrogenogenic effluent by response surface methodology, Fervaap 2009, 26-28 August 2009 Khon Kaen, Thailand.

O-thong S., Prasertsan P. and Imai T. 2009. Bioprospecting thermophilic microorganisms from southern Thailand geothermal spring for biohydrogen production from xylose, The 10th Asian hydrogen energy conference AHEC 2009, 8-10 april 2009, Daegu, South Korea.

Hniman A., Prasertsan P. and O-thong S. 2009. Biohydrogen production from cellulose by syntrophic co-culture of baillus sp. and Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum PSU-2, The 10th Asian hydrogen energy conference AHEC 2009, 8-10 april 2009, Daegu, South Korea.

O-Thong S., Prasertsan P., Karakashev D. and Angelidaki I. 2009. Bioaugmentation of an upflow biofilm biohydrogen producing reactors under extreme thermophilic condition for improvement of the hydrogen yield and start up time. BIT's 2 nd annual world congress of industrial biotechnology, 5-7 april 2009, seoul South Korea.

Zhao C.X., O-Thong S., Karakashev D., Lu W.J., Wang H.T., Angelidaki I. 2008. Effect of substrate concentration, pH and nutrient on extreme-thermophilic hydrogen and ethanol production by mixed cultures. The 2008 Asian Biohydrogen Symposium, 26-28 December 2008, Harbin, China.

Sittijunda S., Reungsang A., O-Thong S. 2008. Biohydrogen production from poultry slaghterousesludge with dual digestion pretreatment. The 2008 Asian Biohydrogen Symposium, 26-28December 2008, Harbin, China.

O-Thong S., Prasertsan P., Hniman A. 2008. Production of hydrogen and methane from palm oil mill effluent using a two stage anaerobic digestion process. The 2008 Asian Biohydrogen Symposium, 26-28 December 2008, Harbin, China.

O-Thong S., Prasertsan P., Intrasungkha N., Danle H., Birkeland N.K. 2008. Isolation and microbial community analysis of a thermophilic mixed culture sludge for biohydrogen production. TSB 2008: Biotechnology for global care, 14-17 October 2008, Mahasarakham, Thailand.

Prasertsan P., O-Thong S. and Birkeland N.K. 2008. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent by mixed culture community using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). International Workshop on Biohydrogen Technology, 6-9 February 2008, Kharagpur, India.

O-Thong S., Prasertsan P., Karakashev D. and Angelidaki, I. 2008. Specific detection of Thermoanaerobacterium spp., Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum, and Caldicellulosiruptor spp. in thermophilic biohydrogen producing system by fluorescent insitu hybridization (FISH). International Workshop on Biohydrogen Technology, 6-9 February 2008, Kharagpur, India

O-Thong S., Prasertsan P., Karakashev D. and Angelidaki, I. 2007. High-rate continuous hydrogen production by natural immobilized Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum strain PSU-2 as biofilm on treated methanogenic granules. World Congress on Anaerobic Digestion. 23-27 September 2007, Brisbane, Australia.

Prasertsan P., O-Thong S., Intrasungkha N., Dhamwichukorn S. and Nils-Kåre Birkeland. 2007. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent with anaerobic sequencing batch reactor and microbial community structure. The 2nd Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products Conference. 23-25 May 2007, Khonkhen University, Thailand.

Prasertsan P., O-Thong S., Intrasungkha N., Dhamwichukorn S. and Nils-Kåre Birkeland. 2006. Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by Thermoanaerobacterium-rich sludge. IWA WorldWater Congress. 20-25 October 2006, Beijing China.

O-Thong S., Prasertsan P. 2005. Effect of inoculum source and high temperature on biohydrogen production from palm oil mill effluent using anaerobic mixed cultures. RGJ Seminar Series XXXV: Science Technology and Medicines. 19 August 2005, Prince of Songkla University.

O-Thong S., Intrasungkha N. and Prasertsan P. 2005. Evaluation on the impact of Bacillales and Lactobacillales augmentation for shrimp farming wastewater improvement by fluorescence in situ hybridization (FISH). 1st IWA-ASPIRE. Conference. 10th –15th July, 2005, Singapore.

Nihah N., Siriwatt P., Somjit K., O-Thong S. and Intrasungkha, N. 2004. Modified nitrate determination in saline wastewater by using the cadmium-copper reduction column method incorporating with commercial nitrite test kit (Merck Ltd.). 3rd National Environmental Conference. 28-30 January, 2004. Songkhla, Thailand.

Pochkumnurd N., O-Thong S. and Intrasungkha N. 2004. Effect of C to N ratio on bacterial population dynamics in marine shrimp farming wastewater treatment using sequencing batch reactor (SBR) system. 3rd National Environmental Conference. 28-30 January, 2004. Songkhla, Thailand.

Intrasungkha N., Nihah N., Siriwatt P. Ponpay S. and O-Thong S. 2004. Complete nitrogen removal in saline wastewater using two-step sequencing batch reactors. 3rd National Environmental Conference. 28-30 January, 2004. Songkhla, Thailand.

O-Thong S., Pratummanee M., Suksatit S. and Wattanachant C. 2004. Chlorine types and water supply quality on chlorine solubility efficiency to protect pathogenic bacteria and mastitis situation in dairy farms at Paphayom, Phatthalung province. 3rd Southern Animal Science Conference. 18-19 August, 2004. Hat-Yai, Songkhla, Thailand.

Suksatit S., O-Thong S., Odton V. and Wattanachant C. 2004. Preliminary study on microorganisms population change in acidified milk. 3rd Southern Animal Science Conference. 18-19 August, 2004. Hat-Yai, Songkhla, Thailand.

Suksatit S., O-Thong S., Pratummanee M., Chaicay J., Intrasungkha N., Wattanachant C. 2004. Bulk milk quality analysis in microbiology and milk compositions aspect of dairy farms at Paphayom district, Phatthalung province. 3rd Southern Animal Science Conference. 18-19 August, 2004. Hat-Yai, Songkhla, Thailand.

Pratummanee M., Sataporn J., Laechan J., O-Thong S., Suksatit S., Intrasungkha N. and Wattanachant C. 2004. Ratio and relationship of Staphylococcus spp., Streptococcus spp., total coliform and Escherichia coli found in raw mastitis milks. 3rd Southern Animal Science Conference. 18-19 August, 2004. Hat-Yai, Songkhla, Thailand.

O-Thong S., Prasertsan P. and Intrasungkha N. 2003. Comparison of simultaneous organic carbon and ammonia – nitrogen removal efficiencies from shrimp farming wastewater using commercial and natural microbial inocula in sequencing batch reactor. AsianWaterqual2003 Conference. 19-23 October, 2003. Bangkok, Thailand.

O-Thong S., Songsang S., Jaubongo S., Prasertsan P. and Intrasungkha N. 2002. Survey of microbial inocula used in shrimp cultivation and preliminary evaluation of their treatment efficiency of shrimp farm effluent in Songkhla province. Thao Ngam Science Consortium Conference. 24-25 November, 2002, Phitsanulok, Thailand.

Paungfoo C., O-Thong S., Prasertsan P., Intrasungkha N and Bhamidimarri R. 2001. Ammonia removal from saline wastewater by nitrifying bacteria in sequencing batch reactor. Proceeding of Thailand Science and Technology Conference 27th 16-18 October, 2001. Songkhla Thailand.

Paungfoo C., O-Thong S., Rokaerd S., Prasertsan P., Intrasungkha N and Bhamidimarri R. 2001. Comparison between ammonia removal efficiencies of natural and commercial nitrifyingbacteria in saline wastewater by sequencing batch reactor, Proceeding of Thailand Biotechnology Conference, 7-9 November 2001, Bangkok, Thailand.