



การพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก

Development of a Hydrogen Gas Purifier for Improving
the Quality of Biogas in Fermentation Process

พรรณวิภา เพ็ญเกิด
ณิกานต์ ชนินทรเทพ
ผู้สืบท ลีกระจ่าง

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2556

ชื่อปริญญาโท	การพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก
ชื่อ นามสกุล	พรรณวิภา เพ็ญเกิด ณิชากรณต์ ชนินทรเทพ ผู้สดี ลีกระจ่าง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ

คณะกรรมการสอบปริญญาโทได้ให้ความเห็นชอบปริญญาโทฉบับนี้แล้ว

ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ

ประธานกรรมการ

นายพลกฤษณ์ คุ้มกล้า

กรรมการ

ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อนุมัติให้นำปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาบัตร	การพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก
ชื่อ นามสกุล	พรรณวิภา เพ็ญเกิด ณิษกานต์ ชนินทรเทพ สุสติ ลีกระจ่าง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาและคณะ	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เป็นปัญหาที่พบว่าปนเปื้อนมากับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในการศึกษานี้คณะผู้วิจัยต้องการพัฒนาเครื่องกรองเพื่อกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพด้วยวัสดุราคาถูก 5 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ ททราย ฝอยเหล็ก ปูน และแกลบ เพื่อกรองก๊าซชีวภาพได้จากการหมักในระดับขนาดเล็ก (1 ลิตร) ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง ที่มีก๊าซชีวภาพผลิตออก 30 ppm พบว่าถ่านกัมมันต์ ททราย ฝอยเหล็ก ปูน และแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรียงจากน้อยไปมากโดยมีเปอร์เซ็นต์ คือ 88.02, 76.06, 55, 50 และ 48.18 ตามลำดับ พบว่าในระดับขนาดกลาง (20 ลิตร) ที่มีก๊าซชีวภาพผลิตออก 30 ppm พบว่าฝอยเหล็ก และททราย และถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด รองลงมา คือ ททราย ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ 100 และ 65 ตามลำดับ และเมื่อพัฒนาเป็นตัวกรองในระดับขนาดใหญ่ (200 ลิตร) ที่มีก๊าซชีวภาพผลิตออก 50 ppm ตัวกรองฝอยเหล็ก และททรายและถ่านกัมมันต์ สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 4.5 ชั่วโมง โดยที่อายุการกรองของฝอยเหล็ก 2 วันแต่ของททรายและถ่านกัมมันต์ได้นาน 3 วัน เพื่อการนำไปใช้กรองได้อย่างต่อเนื่องได้จริง พบว่าตัวกรองชนิดททรายและถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 60:40 มีประสิทธิภาพสูงสุด มีอายุการใช้งานอย่างต่อเนื่อง 3 วัน และเหมาะสมที่เป็นตัวกรองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ลดค่าใช้จ่าย มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหมาะสมในระบบการหมักก๊าซชีวภาพในระดับขนาดที่ใหญ่อย่างน้อย 20 ลิตร

Independent Study Title	Development a Filter Hydrogen Sulfide (H ₂ S) for Optimization of Biogas Fermentation Process
Author	Panwika Phenkerd Nichakarn Chanintornthep Pusdee Leekrajang
Degree	Bachelor of Science
Major program	Environmental Science and Natural Resources Faculty of Science and Technology
Academic Year	2013

ABSTRACT

Hydrogen sulfide (H₂ S) is found to be one major serious contaminant to biogas production system. In this research, the team aimed to develop a high efficient filter for removing H₂S from the biogas reaction. From all 5 cheap materials, activated carbon, scraped iron, sand, cement, and rice husks applied to the small scale biogas production at 30 ppm within 6 hours. The filter materials with highest to lowest H₂S absorptivity were activated carbon, sand, scraped iron, and rice husks those accounted for 88.02, 76.06, 55, 50 and 48.18 percent, respectively. In the medium scale biogas production (20 L) at 30 ppm. Scraped iron and sand mixed with activated carbon filter had the best H₂S absorptivity (100 percent) and sand showed its H₂S removal efficiency lower at 65 percent, respectively. In larger scale (200 L) production of the biogas fermentation (30 ppm biogas product), sand mixed with activated carbon filter at the ratio 60:40 displayed the best performances in removing H₂ S after incubated for 4.5 hours while scraped iron filter as well as activated carbon filter functioned in H₂S removal longer time (2 and 3 days, respectively). In order to be able to practically apply for continuous filtering H₂S from the continuous biogas production, sand mixed with activated carbon filter exhibited long last filtration (3 day). It is the most environmental friendliness as well as cost-effective filter for biogas fermentation at scale up sizes, at least 20 L.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์หลายท่าน คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.มานิช หลักฐานดี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ภทริกา สูงสมบัติ ประธานกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ อ.วรรณุช ดีละมัน กรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณรัชพล เขียมสกุล ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างภาคตะกอนในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณครอบครัวฉายสุวรรณ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยในการเตรียมพื้นที่สำหรับการทดลอง ขอขอบพระคุณ อ.มานิช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยรวมทั้งอุปกรณ์ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้อุดหนุนทุนวิจัยสำหรับการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คณะครูบาอาจารย์ที่เคยอบรม สั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ความสามารถต่าง ๆ ให้แก่คณะผู้วิจัยในอดีตและปัจจุบันทุกท่าน จนคณะผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตา อบรมสั่งสอน ให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน รวมถึงเพื่อน ๆ วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติรุ่น 2 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัยทดลอง จนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประภาพร	พระอภิรักษ์
เมธาวี	ฉายสุวรรณ
วรรณิษา	พิ่งคุ้ม

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(ก)
บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญแผนภาพ	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ญ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 กรอบแนวคิดการศึกษา	4
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตการศึกษา	5
1.5 คำนียามศัพท์เฉพาะ	5
1.6 สมมติฐาน	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ก๊าซชีวภาพ	7
2.1.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	8
2.1.2 หลักการผลิตก๊าซชีวภาพ	9
2.2 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ	10
2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศ	10
2.2.2 ศักยภาพสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ	11
2.2.3 กลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์	12
2.3 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating Temperature)	13
2.3.2 ค่าพีเอช (pH Value)	14
2.3.3 อัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	14
2.3.4 ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading)	15
2.3.5 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time)	15
2.3.6 ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC)	15
2.3.7 การคลุกเคล้า (Mixing)	16
2.3.8 สารอาหาร (Nutrient)	16
2.3.9 สารยับยั้ง และสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)	16
2.4 ประโยชน์จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน	16
2.4.1 การอนุรักษ์พลังงาน	16
2.4.2 การขนส่ง	17
2.4.3 ภาควิทยาศาสตร์	17
2.4.4 การใช้ประโยชน์ของระบบก๊าซชีวภาพต่อสถานประกอบการและสิ่งแวดล้อม	17
2.5 ผลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดระหว่างกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ	18
2.5.1 แหล่งกำเนิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	18
2.5.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	19
2.5.3 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	19
2.5.4 ผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อระบบก๊าซชีวภาพ และเครื่องมือ	21
2.6 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	21
2.6.1 กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อน	21
2.6.2 ชนิดวัสดุที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น ฝอยเหล็ก แกลบ ถ่านกัมมันต์ ทราาย และปูน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
2.7.1 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ	31
2.7.2 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	35
3.1 รูปแบบการศึกษา	35
3.2 วัตถุประสงค์ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ	35
3.2.1 วัตถุประสงค์	35
3.2.2 อุปกรณ์	39
3.2.3 เครื่องมือ	41
3.3 แนวทางการวิจัย	43
3.3.1 ขั้นตอนเตรียมการ	43
3.3.2 การหมักก๊าซชีวภาพ และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	43
3.3.3 การหมักก๊าซชีวภาพ และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง	52
3.3.4 การหมักก๊าซชีวภาพ และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่	59
3.3.5 สรุปผลและนำเสนอ	63
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล	66
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	66
4.1.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในกระบวนการหมัก	66
4.1.2 กระบวนการหมัก และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	67
4.1.3 กระบวนการหมัก และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง	83
4.1.4 กระบวนการหมัก และการกรองก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่	91
4.2 อภิปรายผล	96
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	98
5.1 ชนิดและความเหมาะสมของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	99
5.1.1 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	99

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลาง	99
5.1.3 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใหญ่	99
5.2 ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ	100
5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้	100
5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัยนี้ในครั้งต่อไป	101
เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	106
ประวัติผู้วิจัย	118



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	8
2.2 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	9
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	19
2.4 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	20
2.5 ลักษณะทางกายภาพของเหล็ก	23
3.1 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในขวดหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก	44
3.2 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	47
3.3 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดเล็กเพื่อทดสอบความสูงของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	50
3.4 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง	53
3.5 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดกลาง	57
3.6 ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุที่ใช้ในถังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดใหญ่	61

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่	หน้า
1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา	4
2.1 แผนภูมิแสดงหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	10
3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	63
3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง	64
3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่	65



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียสร้างมีเทน	13
3.1	น้ำเสียจากกระบวนการผลิต การล้างเครื่องจักร ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิต เครื่องต้มทั้งอัดลมและไม่อัดลม	36
3.2	ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย (Fermentative Bacteria)	37
3.3	ถ่านกัมมันต์	37
3.4	แกลบ	37
3.5	ผงปูน	38
3.6	ทรายไม่คัดขนาด	38
3.7	ฝอยเหล็ก	38
3.8	ท่ออะคริลิก	39
3.9	แผ่นสแตนเลส	40
3.10	แผ่นอะคริลิก	40
3.11	ขาตั้ง	40
3.12	ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก) และตัวกรองก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่จริง (ข)	41
3.13	เครื่องวัดก๊าซ 6 ชนิด รุ่น IBRID MX 6	42
3.14	กระดาดวัดพีเอช	42
3.15	(ก) น้ำเสีย ปริมาณ 800 mL และ (ข) เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณ 100 mL ที่ได้จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี ใช้หมักก๊าซชีวภาพ ขนาดเล็ก	44
3.16	น้ำประปา ปริมาณ 100 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ที่ได้จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี ใช้หมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก	45
3.17	กากน้ำตาล ปริมาณ (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 30 mL ใช้หมักก๊าซชีวภาพ ขนาดเล็ก	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 7 วัน	46
3.19 ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการใช้น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ ในแต่ละ ขวดมีน้ำเสีย 900 mL ต่อเชื้อจุลินทรีย์ 100 mL จำนวน 8 ขวด	48
3.20 ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการใช้น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ ใน แต่ละขวดมีน้ำเสีย 900 mL ต่อเชื้อจุลินทรีย์ 100 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด	48
3.21 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการปล่อย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากด้านล่างขึ้นด้านบน	49
3.22 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก ขนาดเล็ก ในปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียงจากซ้ายไปขวา	51
3.23 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรองทรายขนาดเล็ก ในปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียง จากซ้ายไปขวา	51
3.24 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรอง ทรายและถ่านกัมมันต์ขนาดเล็ก ในปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียงจากซ้ายไปขวา	51
3.25 ตัวอย่างการกรองความสูงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (ก) ตัวกรองฝอยเหล็ก (ข) ทราย และ (ค) ทรายและ ถ่านกัมมันต์ โดยทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จาก (ง) ด้านล่างขึ้นสู่ (จ) ด้านบน	52
3.26 ตัวอย่างหญ้าที่ใช้ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง โดยใส่หญ้า ปริมาณ 5 กรัม ในการหมักถึงขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน	54
3.27 ตัวอย่างขานอ้อยที่ใช้ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง โดยใส่ขานอ้อยปริมาณ 5 กรัม ในการหมักถึงขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.28 ตัวอย่างกากน้ำตาลที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง ทดลองใช้ปริมาณ 20, 30 และ 40 มิลลิลิตร ในการหมักถังขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน	55
3.29 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพ โดยใช้วัตถุดิบหญ้า ชานอ้อยและกากน้ำตาลที่หมัก ในถัง 5 ลิตร โดยใช้หญ้าปริมาณ 5 กรัม ชานอ้อยปริมาณ 5 กรัม จำนวน 5 ถัง	55
3.30 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางในถังขนาด 20 ลิตร ที่หมักเป็นเวลา 15 วัน	56
3.31 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพในถังขนาด 20 ลิตร โดยใช้วัตถุดิบน้ำเสียกับ เชื้อจุลินทรีย์ สำหรับใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง โดยใช้ เชื้อจุลินทรีย์ 2 ลิตร	57
3.32 ตัวกรองฝอยเหล็กขนาดกลาง ปริมาณ 1,000 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร	58
3.33 ตัวกรองทรายขนาดกลาง ปริมาณ 1,000 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร	58
3.34 ตัวกรองขนาดกลางโดยใส่ (ก) ทราย ปริมาณ 600 กรัม และ (ข) ถ่านกัมมันต์ 400 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร	58
3.35 ลักษณะการต่อตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง ด้วย (ก) ตัวกรองทราย และถ่านกัมมันต์ (ข) ตัวกรองฝอยเหล็ก และ (ค) ตัวกรองทรายโดยให้ก๊าซผ่านก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่อด้านบน โดยหลักการไหลผ่านจาก (ง) ด้านล่างขึ้นสู่ (จ) ด้านบน	59
3.36 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ โดยหมักน้ำเสียในปริมาณ 180 ลิตรในการหมัก (ก) ถังขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถังเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 120 ลิตร เป็นเวลา 15 วัน	60
3.38 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของ (ก) ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถังเก็บก๊าซขนาด 120 ลิตร ต่อกับ (ค) เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดบรรจุ 2,500 กรัม ด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก	62

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.39 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของ (ก) ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถังเก็บก๊าซขนาด 120 ลิตร ต่อกับ (ค) เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดบรรจุ 2,500 กรัม ด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์	62
4.1 แผนภูมิแสดงอัตราการเกิดของก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลานาน 15 วัน	67
4.2 แผนภูมิแสดงผลของกากน้ำตาลที่มีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กในระยะเวลาการหมัก 7 วัน	68
4.3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ ใน 7 กระบวนการหมักขนาดเล็ก	70
4.4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก	71
4.5 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์	72
4.6 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยทราย	73
4.7 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยปูน	74
4.8 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยแกลบ	75
4.9 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กปูนและทราย	78
4.11 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและแคลบ	79
4.12 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองฝอยเหล็กที่มีความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็กที่หมักเป็นระยะเวลานาน 15 วัน	80
4.13 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองทรายที่ความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็กที่หมักเป็นระยะเวลานาน 15 วัน	81
4.14 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่หมักเป็นระยะเวลานาน 15 วัน	81
4.15 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก	82
4.16 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน	84
4.17 แผนภูมิแสดงแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน	84
4.18 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพในสภาวะปกติในตัวควบคุมขนาดกลาง	86
4.19 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองฝอยเหล็กขนาดกลาง	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.20	แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายขนาดกลาง	88
4.21	แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ขนาดกลาง	89
4.22	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง	90
4.23	อัตราการลดลงของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง	91
4.24	แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางเป็นเวลานาน 15 วัน	92
4.25	แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก	93
4.26	แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์	94
4.27	ลักษณะของฝอยเหล็กก่อน และหลังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 48 ชั่วโมง	95
4.28	ลักษณะของทรายและถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 48 ชั่วโมง	96

บทที่ 1

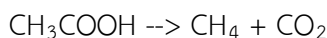
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

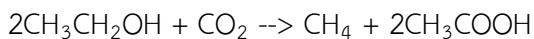
ปัจจุบันเชื้อเพลิงมีความจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก แต่เชื้อเพลิงเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ของมนุษย์ที่มีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศ จึงทำให้มนุษย์มีความตื่นตัว และพยายามที่จะคิดค้นหาพลังงานอื่น ที่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่กำลังจะหมดไป จะต้องเป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Renewable Energy) และเป็นพลังงานที่ยั่งยืน (Sustainable Energy) ซึ่งพลังงานเหล่านั้นเรียกว่า “พลังงานทดแทน (Alternative Energy)” พลังงานทดแทนที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานทางด้านชีวมวล (Biomass Energy) พลังงานนี้ยังจัดเป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นที่นิยมอีกทางหนึ่ง เพราะเป็นพลังงานที่ผลิตได้จากของเหลือใช้จากทั้งจากภาคชุมชน ภาคการเกษตร และจากภาคอุตสาหกรรม

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่สามารถผลิตได้เองจากของเหลือทิ้ง ทั้งในภาคชุมชน ภาคเกษตรกรรม และภาคอุตสาหกรรม โดยสามารถผลิตอย่างต่อเนื่องและได้ในปริมาณที่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถนำมาใช้ชดเชยหรือทดแทนเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้ดี สามารถนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อน เช่น นำมาใช้เป็นก๊าซหุงต้มในครัวเรือน และหากก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณมากก็สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมได้ หรือนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในครัวเรือนได้เช่นกัน (สมพงษ์ ใจมา, 2549) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซชีวภาพมีดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ในขั้นตอนนี้จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้แตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด ขั้นตอนที่ 2 อะซิโดจีเนซิส (Acidogenesis) ในขั้นตอนนี้โมเลกุลขนาดเล็กจากขั้นตอนแรกจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย จะนำสารเหล่านี้เข้าไปย่อยภายในเซลล์ด้วยเอนไซม์ และขับออกมาภายนอกได้เป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็กประเภทกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids) แอลกอฮอล์ (Alcohol) กรดแลคติก (Lactic Acids) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) แอมโมเนีย (NH_3) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ขั้นตอนที่ 3 อะซิโดจีเนซิส (Acetogenesis) ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียจะสร้างกรดอะซิติก ออกมาโดยที่แบคทีเรียจะมีการเจริญเติบโต และทนต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี และ ขั้นตอนที่ 4 เมทาโนจีเนซิส (Methanogenesis) ในขั้นตอนนี้จะ

เป็นขั้นตอนที่สร้างก๊าซชีวภาพจากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน กระบวนการที่ได้จะสร้าง กรดอะซิติกโดยมีสมการดังนี้



หลังจากนั้นในสมการนี้กรดอะซิติกจะแตกตัวได้ก๊าซมีเทน (CH_4) และน้ำ (H_2O) ดังแสดงด้วยสมการ



(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

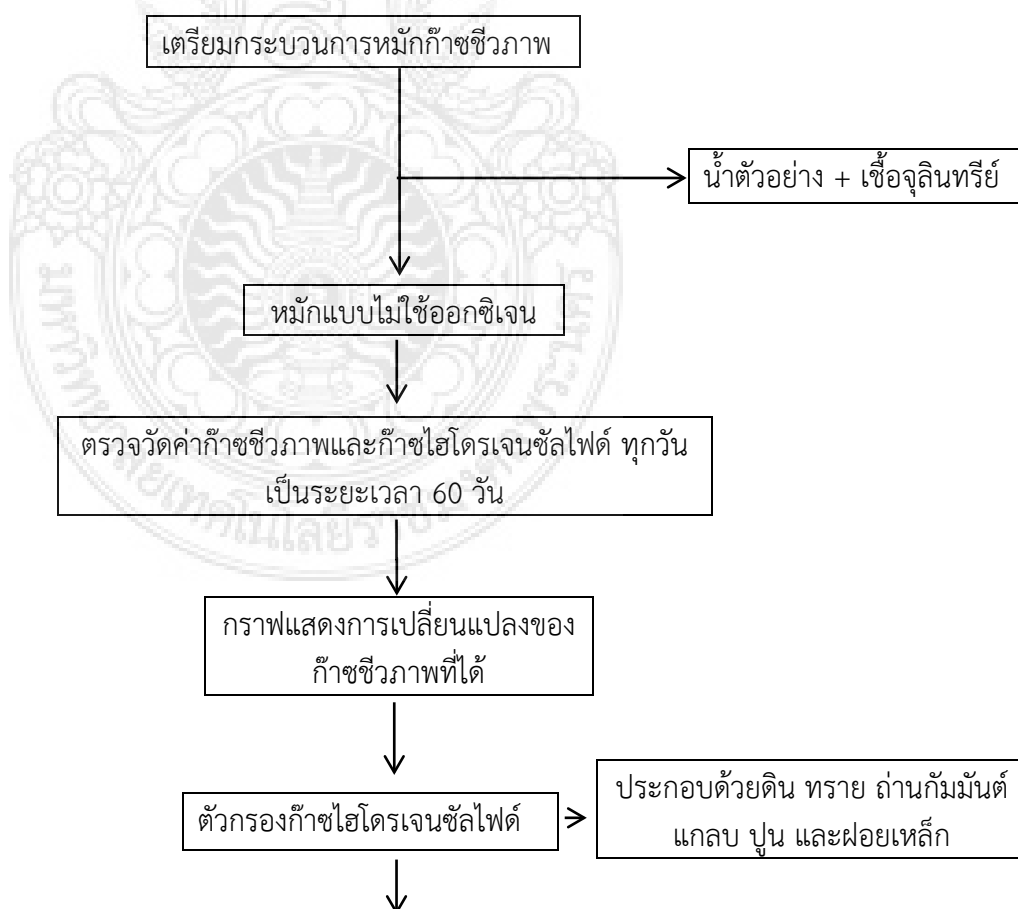
จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพผลตามมาของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (H_2O) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 อะซิโดเจนีซิส (Acidogenesis) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้น และจากข้อมูล การสำรวจจากขบวนการหมัก ก๊าซชีวภาพจะพบว่าในก๊าซชีวภาพจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์เจือปนอยู่ประมาณ 2,000 ppm ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด โดยเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) เมื่อรวมตัวกับไอน้ำ หรือฝนจะกลายเป็นฝนกรด และแม้ว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีปริมาณน้อยมาก ในก๊าซชีวภาพแต่ก็มีอันตรายต่อสุขภาพ และส่งกลิ่นรบกวน โดยมาตรฐานความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพที่กำหนดโดย OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ค่า TWA (Time Weighted Average) คือ ค่ามาตรฐานที่คนงานหรือผู้สัมผัสสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่เท่ากับหรือต่ำกว่าระดับนี้แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน (เท่ากับ 1 กะปกติของคนงาน) หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ได้โดยจะไม่เกิดอาการผิดปกติขึ้น ซึ่งการสัมผัสก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 8 ชั่วโมงต้องมีค่าไม่เกิน 10 ppm สัมผัสในระยะ 1 ชั่วโมง ต้องมีค่าไม่เกิน 300 ppm และถ้าความเข้มข้น 600 ppm และสัมผัสในเวลา 30 นาที ทำให้เสียชีวิตได้ (วาริน รักธรรม และคณะ, 2548) และเป็นตัวการที่ทำให้อุปกรณ์เครื่องใช้ทุกชนิดที่ผลิตมาจากโลหะเกิดความชำรุดเสียหาย ทั้งการผุกร่อน และเป็นสนิม จึงเป็นที่มาของความจำเป็นที่ทำให้ต้องมีการกำจัดก๊าซชนิดนี้ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ก่อนที่จะนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ต่อไป

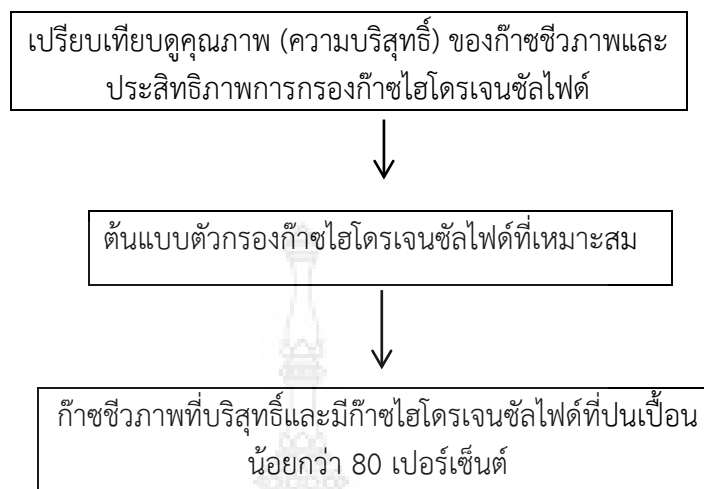
ปัญหาที่พบมากเมื่อมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์คือการปนเปื้อนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ก่อความเสียหายกัดกร่อนอุปกรณ์ที่มีโลหะที่เป็นส่วนเกี่ยวข้อง การปนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น และปนเปื้อนในกระบวนการหมักเมื่อผ่านระบบท่อเครื่องเก็บกักที่เป็นโลหะ จะเกิดสนิมกัดกร่อนต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านี้บ่อยครั้ง โดยมีตัวอย่างกรณีศึกษาการระเบิดในห้องสูบล้างก๊าซเนื่องจากการแตกรั่วของข้อต่อรับการขยายตัวที่ท่อส่งก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในพื้นที่โรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับจังหวัดสระแก้ว (ศุภวัฒน์ ธาดารมมงคล, 2549) เป็นโรงงานที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหลักในกระบวนการผลิตแอมโมเนียสำหรับจังหวัดสระแก้ว และตัวอย่างกรณีศึกษาอุบัติเหตุแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์รั่ว บริษัท ปตท.เคมีคอล

จำกัด (มหาชน) จ.ระยอง ส่งผลให้คนงานและผู้รับเหมาจำนวน 27 ราย ได้ถูกนำตัวส่งโรงพยาบาล อันเนื่องมาจากการได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วมีอาการมีนศีรษะแน่นหน้าอกหายใจไม่ออก (ศศินัดดา สุวรรณโณ, 2552) จากเหตุการณ์ข้างต้นจึงนำมาสู่ความตระหนักถึงปัญหา ทำให้คณะผู้วิจัยมีความต้องการที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ด้วยแนวคิดการผลิตเครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้นแบบ เพื่อเป็นนวัตกรรมอย่างง่ายในการเพิ่มคุณภาพของก๊าซชีวภาพ ในกระบวนการผลิต และพัฒนาจะเน้นการเลือกใช้วัสดุ และตัวถังอุปกรณ์ของเครื่องกรอง และตัวไส้กรองที่หาได้ง่าย และราคาถูกสามารถทำการกรองได้อย่างรวดเร็ว สามารถถอดเปลี่ยนเองได้ตามความต้องการ

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้คณะผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนาเครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย โดยการศึกษาเริ่มที่ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ สร้างเครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการกรองจับก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเน้นความสามารถกรองได้ 60-80 เปอร์เซ็นต์ เครื่องกรองที่ได้จะสามารถเป็นต้นแบบที่นำไปประยุกต์ใช้ สามารถพัฒนาเป็นเครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้ต้นทุนต่ำในกระบวนการผลิต ใช้ระยะเวลาสั้นในการกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อไป

1.2 กรอบแนวคิดในการศึกษา





แผนภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณ และคุณภาพตามเกณฑ์ (50-70 เปอร์เซ็นต์)
- 1.3.2 เพื่อศึกษา และทำการออกแบบผลิตเครื่องรอกจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.3.3 เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องรอกที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างน้อย 60-80 เปอร์เซ็นต์ ราคาประหยัด และสามารถรอกได้อย่างน้อย 1 วัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการพัฒนาเครื่องรอกจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

- 1.4.1 ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพ
 - 1.4.1.1 ถังหมักที่มีปริมาตร 200 ลิตรจำนวน 1 ถัง
 - 1.4.1.2 ถังเก็บกักก๊าซชีวภาพที่มีปริมาตร 120 ลิตร จำนวน 1 ถัง
- 1.4.2 เครื่องรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
 - 1.4.1.3 ท่อและแผ่นอะคริลิกสำหรับต่อตัวรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
 - 1.4.1.4 เหล็กสำหรับขาตั้งตัวรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
 - 1.4.1.5 เครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX 6
 - 1.4.1.6 กระดาษวัดพีเอช

1.4.3 น้ำเสียอุตสาหกรรมปริมาณ 200ลิตร ในการศึกษาครั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์น้ำเสีย และเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพจากบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) โรงงานปทุมธานี

1.4.4 สถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 น้ำเสียอุตสาหกรรม

น้ำเสียที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) โรงงานปทุมธานี

1.5.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ

1.5.3 เครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เครื่องกรองจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ เครื่องมือที่มีความสามารถในการกรองจับก๊าซไฮโดรซัลไฟด์ที่ได้จากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพเพื่อให้ได้ก๊าซธรรมชาติที่บริสุทธิ์ 60-80 เปอร์เซ็นต์

1.6 สมมติฐาน

1.6.1 ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่ผ่านเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีความบริสุทธิ์มากไม่ก่อให้เกิดปัญหาสนิมกับอุปกรณ์ข้อต่อที่เป็นโลหะภายในระยะเวลา 1 วัน

1.6.2 เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกแบบมาจากวัสดุในท้องถิ่น ที่มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสามารถดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาอย่างน้อย 1 วัน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ทราบกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณ และคุณภาพตามเกณฑ์ (50-70 เปอร์เซ็นต์)

1.7.2 ได้นวัตกรรมต้นแบบเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพกรองได้ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.7.3 ได้ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ราคาประหยัดสามารถหาได้ตามท้องถิ่น และนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันโลกได้มีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพในปริมาณไม่มาก คือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการพยายามค้นคว้าใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่นในยุโรปมีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก และใช้ในภาคเกษตรกรรม เป็นต้น โดยการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้มีความเกี่ยวข้องกับความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาอ้างอิง และวิเคราะห์ในการทำวิจัย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจได้อย่างชัดเจน คณะผู้วิจัยจึงกำหนดหัวข้อความรู้ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไว้ 7 หัวข้อดังนี้

- 2.1 ก๊าซชีวภาพ
- 2.2 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ
- 2.3 ปัจจัย และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
- 2.4 ประโยชน์จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน
- 2.5 ผลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดระหว่างกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ
- 2.6 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester Gas) คือก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไร้อากาศ (Anaerobic) โดยมีแบคทีเรียกลุ่ม Methanogens (กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของก๊าซ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
มีเทน (CH ₄)	50 - 70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	30 - 50
ไฮโดรเจน (H ₂)	5 - 10
ไนโตรเจน (N ₂)	1 - 2
ไอน้ำ (H ₂ O)	0.3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	เล็กน้อย

ที่มา: สถาบันวิจัย และพัฒนาพลังงาน. 2552. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ-ก๊าซชีวภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์. [ออนไลน์]

2.1.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ หรือเปอร์เซ็นต์ LEL (Lower Explosive Limit) คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของก๊าซหรือไอระเหยขั้นต่ำที่ผสมกับอากาศ จนเกิดเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้ (Explosive Mixture) ถ้ามีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของก๊าซไวไฟเจือปนในอากาศเข้มข้นน้อยกว่านี้จะไม่เพียงพอให้จุดติดไฟได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ LELนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) โดยคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

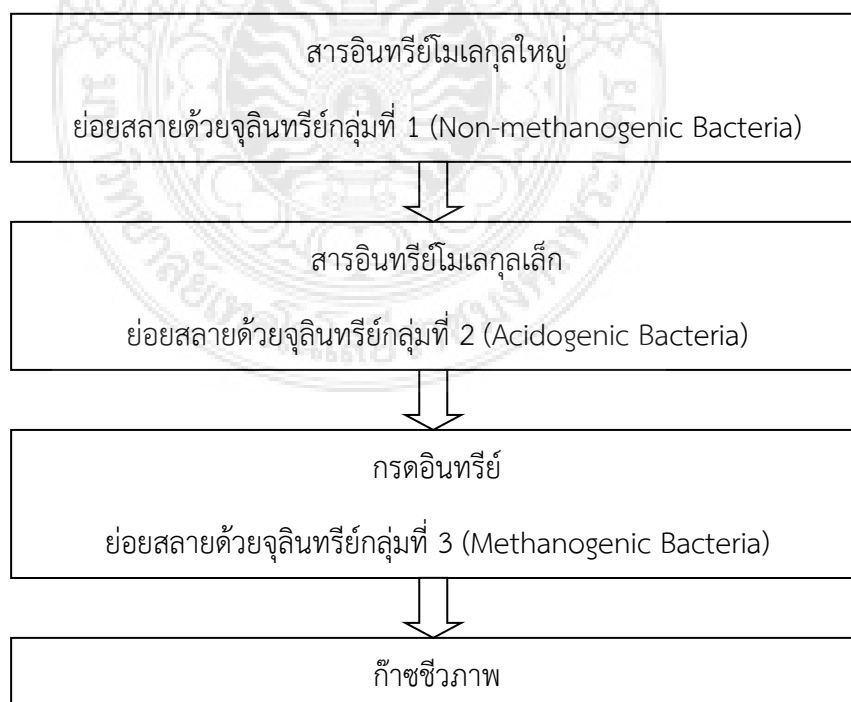
ค่าพารามิเตอร์	ค่า
ค่าความร้อนประมาณ	21 เมกกะจูล/ลบ.ม. (ที่ปริมาณมีเทน 60 เปอร์เซ็นต์)
ความเร็วเปลวไฟ	25 ซม./วินาที
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิจุดติดไฟ (%LEL)	600 องศาเซลเซียส
ค่าความจุความร้อน	1.6 กิโลจูล/ลบ.ม.
ความหนาแน่น	1.15 กิโลจูล/ลบ.ม.

ที่มา: สถาบันวิจัย และพัฒนาพลังงาน. 2552. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ-ก๊าซชีวภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์. [ออนไลน์]

2.1.2 หลักการผลิตก๊าซชีวภาพ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556) ได้กล่าวว่ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดมาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีอยู่ 2 อย่าง คือค่าพีเอช และอุณหภูมิ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด จะอยู่ในช่วง 6.2-6.8 ส่วนจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนค่าพีเอชที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6.7-7.1 และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนั้นอยู่ในช่วง 30-40 องศาเซลเซียส

การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (แผนภาพที่ 2.1) จะเริ่มต้นที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ขนาดเล็กให้เป็นกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจน ขั้นตอนสุดท้ายกลุ่มแบคทีเรียจะสร้างก๊าซมีเทนโดยเปลี่ยนกรดอะซิติก และไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือก๊าซชีวภาพ) ซึ่งก๊าซดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำ และจะถูกรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป



แผนภาพที่ 2.1 แผนภูมิแสดงหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

2.2 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เช่น จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methane-Producing Bacteria) หรือเมทาโนเจน (Methanogen) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acid-Producing Bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศเป็นการที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนให้เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้น ๆ ไป

2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เช่น จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Methane-Producing Bacteria) หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acid-Producing Bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศเป็นการที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้น ๆ ไป โดยการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1.1 ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย และองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic Bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative Bacteria)

2.2.1.2 อะซิโดจีนิซิส (Acidogenesis) ขั้นตอนการสร้างกรดโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (Monomer) เป็นกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) กรดคาร์บอนแอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

2.2.1.3 อะซิโตจีนิซิส (Acetogenesis) เป็นขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก โดยเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตก๊าซมีเทน

2.2.1.4 เมทาโนจีนิซิส (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกจากขั้นตอนที่ 2 และ 3 รวมถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนโดยเมทาโนเจน (Methanogen) ผลผลิตสุดท้าย คือ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการผลิตกรด

2.2.2 ศักยภาพสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.2.2.1 วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ควรมีลักษณะดังนี้

- 1) เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย
- 2) เป็นสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง
- 3) เป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง
- 4) มีคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

2.2.2.2 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

- 1) ขยะชุมชน ได้แก่ ขยะชุมชนในส่วนของขยะอินทรีย์
- 2) ของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงงานเบียร์ และโรงงานน้ำตาล เป็นต้น และของเสียที่เป็นกากตะกอนที่เป็นส่วนของสารอินทรีย์
- 3) ของเสียจากการเกษตร ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู วัว และไก่ (จินตนา จิตต์ภู่งักดี, 2552)

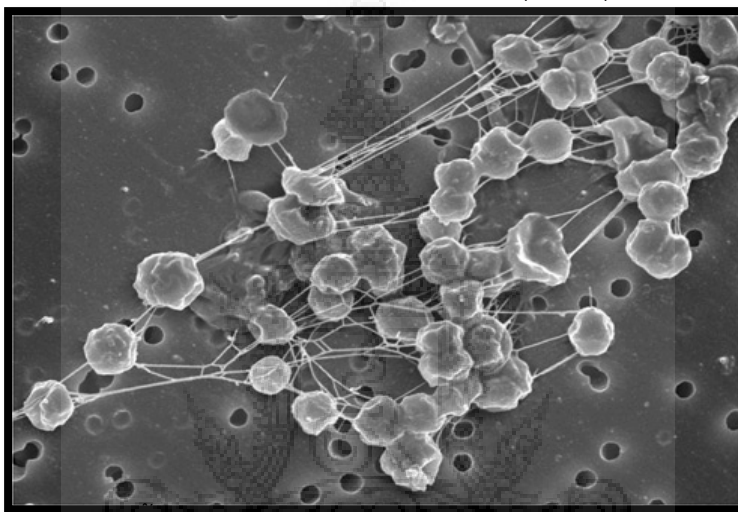
2.2.3 กลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์

Mesophilic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ในช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณปานกลาง แต่จะทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ถึงแม้อุณหภูมิจะแตกต่างกันเล็กน้อย แบคทีเรียชนิดนี้ก็ยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ (Diaz, 2008)

กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรด (Lactic Acid Bacteria) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้ เป็น Gram Positive Asporogenous Rod-Shaped Bacteria อยู่ใน Family Lactobacillaceae จะไม่มีการสร้างสปอร์ (Endospore) รูปร่างของเซลล์มีลักษณะกลม แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่กระบวนการผลิตมีน้ำตาลมาเกี่ยวข้อง แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกอาศัยอยู่ในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีน้ำตาลชนิดต่าง ๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างกรดแลคติก กรดฟอร์มิก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์แบคทีเรียชนิดนี้ในพวก Anaerobic หรือ Facultative ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* sp. มีความต้องการสารอาหารพวกสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างซับซ้อน พบในกระบวนการหมัก มีการเจริญได้ดีในสภาพที่ไม่ออกซิเจน น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ กลุ่ม Lactic Acid Bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่งเรียกว่า Homofermentative จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดแลคติก (Lactic Acid) เท่านั้น สำหรับกลุ่มที่สองเรียกว่า Heterofermentative หลังจากกระบวนการหมักจะได้กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีอยู่ในสภาพธรรมชาติทั้งในพืชผักผลไม้ เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์นม แบคทีเรียดังกล่าวมีความสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่

เปลี่ยนแปลงไปได้ดี ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์หรือกำจัดกลุ่มแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร (อานัฐ ต้นโช, 2551)

Methanogen (เมทาโนเจน) คือกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างก๊าซมีเทน สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตมีเทนได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน เช่น สกุล *Methanobacterium* เป็นต้น กลุ่มที่ 2 ใช้สารประกอบพวกเมทิล เช่น สกุล *Methanobolus* เป็นต้น และกลุ่มที่ 3 ใช้อะซิเตต เช่น สกุล *Methanosaeta* เป็นต้น โดย Methanogen สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อออกซิเจนที่สุด หากได้รับออกซิเจนเพียงนิดเดียวจะตาย (พรพจน์ ศรีสุขขยะกุล, 2556)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.3 ปัจจัย และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพดังต่อไปนี้

2.3.1 อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating Temperature)

เมทาโนเจนไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับ ตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

2.3.1.1 อุณหภูมิแบบเมโซฟิลิก ทำงานได้ดี คือ ประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส แต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ช่วง 37-41 องศาเซลเซียส

2.3.1.2 อุณหภูมิแบบเทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิแบบเมโซฟิลิก โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ ประมาณ 50-52 องศาเซลเซียส แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส

แบคทีเรียที่อุณหภูมิแบบเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าที่อุณหภูมิแบบเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าอุณหภูมิแบบเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้อุณหภูมิแบบเมโซฟิลิกจะดีกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่าในระบบที่ใช้อุณหภูมิแบบเทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของอุณหภูมิแบบเทอร์โมฟิลิก คือ การที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

2.3.2 ค่าพีเอช (pH Value)

ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ระหว่าง 7.0-7.2 ค่าพีเอช ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดขึ้นเป็นจำนวนมาก และทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งถ้าหากค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะทำให้หยุดกระบวนการย่อย และหมักทั้งหมดเพราะแบคทีเรียตาย เมทาโนเจนจะไม่คงทนต่อค่าพีเอชมาก และจะไม่เจริญเติบโตหากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH_3 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียรค่าพีเอชจะอยู่ระหว่าง 6.8-8

2.3.3 อัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

อัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ตั้งแต่ 8-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกเมทาโนเจนนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเอง และจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมากก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมาก และไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าพีเอช ซึ่งถ้าหากค่าพีเอชสูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรีย ทำให้จำนวนเมทาโนเจนลดลง นอกจากนี้หาก C/N Ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

2.3.4 ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไปจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงมากเกินไป (เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการ คือ อะซิโตเจเนซิส กรดจะถูกผลิตขึ้นมา) จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก เมทาโนเจนตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็ต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อย ก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

2.3.5 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time)

ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไป ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็อาจจะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไปทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทัน และอาจทำให้ค่าพีเอชในถังหมักลดลง ขณะเดียวกันการที่ระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14-60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณของแข็ง อุณหภูมิ ขนาด และประเภทของ Digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไรโดยไม่มีกรเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมด ก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

2.3.6 ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC)

ปริมาณของแข็งของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับ คือ ปริมาณของแข็งสูง (High-Solid) สูงกว่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ กับปริมาณของแข็งต่ำ (Low-solid) ต่ำกว่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ปริมาณของแข็งสูงจะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (Slurry) แต่เนื่องจากในระบบปริมาณของแข็งสูงความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกันถังหมักปริมาณของแข็งต่ำสามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียน และกระจายตัวของแบคทีเรีย และสารอินทรีย์ดีขึ้น และการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อย และการผลิตก๊าซได้เร็วขึ้น

2.3.7 การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าตะกอนน้ำ และสารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

2.3.8 สารอาหาร (Nutrient)

สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยมีรายงานการศึกษา พบว่าสารอาหารในสัดส่วน C:N และ C:P ในอัตรา 25:1 และ 20:1 สามารถส่งเสริมการ

เจริญของจุลินทรีย์ และส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ ตามลำดับ แต่สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังสเตน และนิกเกิล เป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้นในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารลงไปอีก

2.3.9 สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)

สารยับยั้งและสารพิษ เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจนหรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่าง ๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่าง ๆ และยาปฏิชีวนะสามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ (เทพกร ลีลาแต้ม, 2554)

2.4 ประโยชน์จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

รูปแบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ทำประโยชน์ได้ตั้งแต่ระดับครัวเรือน ฟาร์มปศุสัตว์ระดับชุมชน ตลอดจนจนถึงระดับอุตสาหกรรม พอสรุปได้ดังนี้

2.4.1 การอนุรักษ์พลังงาน

2.4.1.1 การผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อยโดยใช้วัตถุดิบที่ได้จากการเกษตร เช่น มูลสัตว์ ของเหลือทิ้งจากการเกษตร สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มในการหุงหาอาหาร ใช้กับตู้ฟักไข่ ใช้กับหัวกกหมู หรือผลิตไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่าง หรือใช้กับพัดลมระบายอากาศขนาดเล็กบางครั้งอาจนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อการทำเกษตรกรรม เช่น ใช้กับเครื่องยนต์สำหรับท่อน้ำเครื่องจักรกลทางการเกษตรต่าง ๆ ที่สามารถดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้

2.4.1.2 การผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมทางการเกษตร เช่น ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ โรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น โรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์รวมถึงโรงฆ่าสัตว์ และขยะชุมชน เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่แล้ววัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อที่จะบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ และได้ก๊าซชีวภาพออกมา โดยที่ก๊าซชีวภาพที่ได้มากนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน เช่น ใช้ทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในฟาร์มหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน ได้แก่ การใช้ทดแทนน้ำมันเตาที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ใช้แทนเชื้อเพลิงเพื่อใช้กับเครื่องจักรต่าง ๆ หรือใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

2.4.2 การขนส่ง โดยนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์หรือใช้เป็นระบบสองเชื้อเพลิง โดยการติดตั้งระบบเก็บก๊าซชีวภาพเพิ่มเติมเข้าไป แต่ทั้งนี้จะต้องมีระบบการอัดก๊าซชีวภาพใส่ในถังความดันสูงเพื่อให้ใช้งานได้ยาวนาน ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่มีความคุ้มทุนที่จะทำ

2.4.3 ภาคอุตสาหกรรม กากมูลสัตว์ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่าปุ๋ยพืชสด (ปุ๋ยคอก) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ให้กลายเป็นแอมโมเนียที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่า และยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าปุ๋ยเคมีในการใช้ปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรให้มีสภาพดีขึ้นด้วย

2.4.4 การใช้ประโยชน์ของระบบก๊าซชีวภาพต่อสถานประกอบการและสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

2.4.4.1 ลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม่น้ำลำคลอง

2.4.4.2 ลดมลภาวะและการระบาดของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค

2.4.4.3 ลดการเกิดกลิ่นเหม็นในสถานประกอบการ/โรงงาน ทำให้ไม่มีกลิ่นรบกวนเพื่อนบ้านใกล้เคียง

2.4.4.4 ลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้ระบบเติมอากาศ (Aerated Lagoon และ Activated Sludge Process)

2.4.4.5 ลดการใช้พื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อเทียบกับระบบบ่อเปิด (Open Pond)

2.4.4.6 ลดค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายกากอินทรีย์เหลือทิ้ง (Solid Waste) ในกรณีที่น่ากากอินทรีย์เหลือทิ้งไปหมักในระบบก๊าซชีวภาพ

2.4.4.7 ถ้ามีการรวบรวมและนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) อาทิ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน, 2552)

2.5 ผลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดระหว่างกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide หรือ Hydrogen Sulphide) หรือ ก๊าซไข่เน่า เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่มีสี เป็นพิษ และเป็นแก๊สไวไฟ มีกลิ่นเน่าเหม็น คล้ายไข่เน่า น้ำหนักโมเลกุล 34.04 จุดเดือด -85.5 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว -60.7 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของแก๊ส 1.393 g/L ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 1 atm ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอากาศค่าปริมาณไอระเหยของแก๊สต่ำสุดที่สามารถเกิดการระเบิดได้หากมีออกซิเจนเพียงพอ (Lower Explosive Limit, LEL) อยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดแก๊สชนิดว่าเป็นแก๊สที่มีความว่องไวในการลุกติดไฟได้ง่ายมากและเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง และอุณหภูมิที่สามารถลุกติดไฟได้เองอยู่ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส เป็นผลจากแบคทีเรียย่อยสลายซัลไฟด์ในสารอินทรีย์ ในสภาวะขาดออกซิเจน เช่น ในหนองน้ำ และท่อระบายน้ำ (การย่อยสลายแบบไม่ใช้

ออกซิเจน) นอกจากนั้นยังพบในแก๊สจากภูเขาไฟ ก๊าซธรรมชาติ และบ่อน้ำบางบ่อ กลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ใช่คุณสมบัติโดยทั่วไปของกำมะถัน ซึ่งในความจริงแล้วไม่มีกลิ่น (Pradyot, 2002)

2.5.1 แหล่งกำเนิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.5.1.1 กระบวนการทางธรรมชาติโดยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น กระบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์สารที่มีธาตุซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบโดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำและเกิดการย่อยสลายซากอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ส่งผลให้มีการปล่อยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมา (Siefers, 2010)

2.5.1.2 กระบวนการทางอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการกลั่นแยกปิโตรเลียม การผลิตสิ่งทอ การฟอกหนัง การทำเหมืองแร่ กระบวนการเกี่ยวกับการผลิตเยื่อกระดาษ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และสิ่งปฏิกูล (Jay, 2008)

2.5.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

พารามิเตอร์	ค่า
สูตรเคมี	H ₂ S
มวลต่อหนึ่งโมล	34.082 g/mol
ความหนาแน่น	1.363 g/L, gas
จุดหลอมเหลว	-82.30 °C
จุดเดือด	-60.28 °C
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	0.4 g/100 mL (20 °C) 0.25 g/100 mL (40 °C)
จุดติดไฟได้เอง	260 °C

ที่มา: สมพงษ์ ใจมา (2549)

2.5.3 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ระดับความเป็นพิษของแก๊สชนิดนี้ หน่วยงาน The American National Standards Institute Standard ได้แบ่งระดับความเป็นพิษตามระดับความเข้มข้นแก๊สที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 จากตารางจะเห็นว่าแก๊สชนิดนี้ส่งผลเสียต่อมนุษย์ หากได้รับในระดับความเข้มข้นต่ำก็ส่งผลให้เกิดอาการระคายเคือง แต่ถ้าได้รับที่ปริมาณความเข้มข้นสูง ๆ ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ทันที และนอกจากนี้เมื่อแก๊สพิษชนิดนี้สัมผัสกับน้ำหรือน้ำก็จะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์ทางการกัดกร่อน

สูง สามารถกัดกร่อนหลังคาบ้านเรือนรวมไปถึงวัสดุ และอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างรุนแรง โดยเฉพาะหากแก๊สชนิดนี้เกาะตัวอยู่บนโลหะหรืออยู่ในอากาศ เมื่อฝนตกลงมาก็จะกลายเป็นไอกรด หรือฝนกรด และถ้าหากถูกผิวหนังก็จะเกิดอาการปวดแสบปวดร้อน

ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ระดับความเข้มข้นของ H ₂ S	ระยะเวลาที่ได้รับ	ผลกระทบต่อร่างกาย
10 ppm	ขณะที่ได้สัมผัสและสูดดม	เกิดอาการระคายเคืองที่ดวงตา
50-100 ppm	1 ชั่วโมง	จะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อในตา และระบบทางเดินหายใจ ทำให้หายใจติดขัด
100 ppm	2-15 นาที	จะเกิดอาการไอ ระคายเคืองที่ดวงตา
	16-30 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสต่อไป จะทำระบบหายใจเริ่มติดขัด หายใจลำบากขึ้น เริ่มเจ็บที่นัยน์ตา และมีอาการมีนงงตามมา
	1 ชั่วโมง	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสต่อไป จะมีอาการแสบ ที่คอ
200-300 ppm	1 ชั่วโมง	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะส่งผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อในตา และระบบหายใจอย่างรุนแรงหายใจติดขัดปวดแสบที่ลำคอ
500-700 ppm	30-60 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้สมองถูกทำลาย สูญเสียความสามารถในการสั่งการ และอาจถึงขั้นเสียชีวิต
700-1000 ppm	ช่วงเวลาสั้นๆ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว หายุดการหายใจ และเสียชีวิต
1000-2000 ppm	ทันทีที่ได้รับ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้หมดสติทันที หายุดการหายใจและเสียชีวิต

ที่มา: ศูนย์วิจัย และพัฒนาป้องกัน และกำจัดภัยจากรถเคมี. 2555. แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์.

[ออนไลน์]

2.5.4 ผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อระบบก๊าซชีวภาพและเครื่องมือ

2.5.4.1 เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายเข้าไปในถังหมัก และละลายในความเข้มข้นที่สูงทำให้เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียในถังหมัก ซึ่งสามารถไปยับยั้งการเกิดของก๊าซชีวภาพ และเป็นสาเหตุให้ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพเปลี่ยนไป

2.5.4.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบก๊าซชีวภาพจะไปกัดกร่อนอุปกรณ์โลหะ ตัวอย่างเช่น เหล็ก และเกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ เครื่องวัดก๊าซ เครื่องควบคุมความดัน และวาล์ว ซึ่งเป็นปัญหาอย่างยิ่ง

2.5.4.3 เมื่อเผาไหม้ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไอน้ำ เมื่อก๊าซทั้งสองรวมตัวกันจะได้ก๊าซที่มีฤทธิ์กัดกร่อน และไปทำลายเตาเผาและเครื่องยนต์

2.5.4.4 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อละลายในน้ำมันเครื่อง จะทำให้น้ำมันเครื่องมีฤทธิ์เป็นกรด และทำให้คุณสมบัติน้ำมันเครื่องเปลี่ยนไป

(อมราวดี มานะจิตต์, 2551)

2.6 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.6.1 กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อน

กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อนเกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของตัวกลางก่อน ตัวกลางที่ดีจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ภายในรูจะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา โมเลกุลของสารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในช่องโพรง จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้มากขึ้น เมื่อนำตัวกลางมาบรรจุในถังที่ใช้ดูดซับ และผ่านอากาศที่มีสารปนเปื้อนเข้าไปในตัวกลาง ตัวกลางในส่วนแรกที่ได้สัมผัสกับสารปนเปื้อนในช่วงระยะเวลาหนึ่งก็จะดูดซับสารปนเปื้อนจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อเวลาผ่านไปสารปนเปื้อนที่ผ่านเข้าไปในถังบรรจุตัวกลางจะถูกดูดซับได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนตัวกลางที่ถึงจุดอิ่มตัวเพิ่มขึ้น และเคลื่อนที่จนถึงสุดปลายของตัวกลาง จนเริ่มไม่มีส่วนของตัวกลาง ซึ่งหลังจากจุดนี้ไปสารปนเปื้อนก็จะไม่สามารถถูกดูดซับได้ดี จะมีการรื้อออกจากระบบได้ ควรจะมีการหยุดการทำงานของระบบ เพื่อนำตัวกลางไปฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) หรือมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่ (นพภาพร พานิช และคณะ, มปป.)

การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่ายเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย

สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง (จินาภรณ์ วงศ์สุวรรณ, 2556)

2.6.2 ชนิดวัสดุที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น ฝอยเหล็ก แกลบ ถ่านกัมมันต์ ทราย และปูน

2.6.2.1 ฝอยเหล็ก (Iron)

ฝอยเหล็กโดยทั่วไปมีสถานะออกซิเดชัน 0, +2 และ +3 แต่มีเพียงฝอยเหล็กที่สถานะออกซิเดชันศูนย์เท่านั้นที่ปรากฏในรูปธาตุเหล็กหรือเหล็กบริสุทธิ์ ฝอยเหล็กที่ใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่มีใช้เหล็กบริสุทธิ์แต่ผลสมธาตุอื่นลงไปเพื่อทำให้คุณสมบัติดีขึ้น ฝอยเหล็กมักจะถูกพบอยู่ในรูปเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และเหล็กซัลไฟด์ (FeS) (ทวีทรัพย์ จิตติวัฒนานุกุล, 2552) ฝอยเหล็กไม่ได้เป็นวัสดุที่เสถียรในเชิงเคมี จึงพยายามกลับไปสู่สถานะภาพเดิม (เหล็กออกไซด์ และแร่เหล็ก) โดยการขึ้นสนิม กล่าวคือสนิมคือผลิตภัณฑ์ของกระบวนการทางเคมี และไฟฟ้าระหว่างเหล็ก และสิ่งแวดล้อมที่มีปัจจัย 3 ประการคือ ฝอยเหล็ก ความชื้น และออกซิเจน เมื่อปัจจัยทั้ง 3 ประการ มารวมตัวกันกลายเป็นเหล็กออกไซด์ หรือเรียกว่า สนิมเหล็ก ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) สังเกตได้จากสี และลักษณะอื่น ๆ ที่แตกต่างจากเหล็ก (สุรศักดิ์ ไวยวงษ์สกุล, 2556)

1) คุณสมบัติของฝอยเหล็ก

1.1) คุณสมบัติทางกายภาพ จะมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของวัสดุ เช่น ความหนาแน่น สภาพการนำความร้อน โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น เป็นต้น ค่าโดยทั่วไปของ คุณสมบัติทางกายภาพของฝอยเหล็ก สามารถแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะทางกายภาพของฝอยเหล็ก

พารามิเตอร์	ค่า
-------------	-----

ความหนาแน่น	0.9506 kg/dm ³
โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	0.9048 GPa
อัตราส่วนของปัวซอง	0.9
สภาพการนำความร้อน	0.2319 W/mK
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	0.3333 10 ⁻⁶ / K

ที่มา: สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล (2556)

1.2) คุณสมบัติทางเคมี ที่สำคัญที่สุดของเหล็กคือความทนทาน หรือความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) ฝอยเหล็กที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนที่ดี ทำให้ตัววัสดุสามารถป้องกันตัวเองจากสารเคมีที่มีอยู่รอบ ๆ ตัว นอกจากความทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุแล้ว ฝอยเหล็กยังสามารถทนทานต่อความชื้น โดยไม่มีการเสื่อมโทรม และเมื่อแก้ปัญหาด้านเคมีเรียบร้อยแล้วจะทำให้ฝอยเหล็กมีความทนทานต่อแสงอาทิตย์ น้ำ ความร้อน และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ความต้านทานการกัดกร่อนอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญสุดในการคิดจะเลือกใช้วัสดุในที่มีสภาพแวดล้อมอาจส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนในวัสดุมีหลายประเภท ดังนี้

1.2.1) การออกซิเดชัน (Oxidation) ปฏิกริยาที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับวัสดุที่เป็นประเภทฝอยเหล็ก คือ เหล็กเหนียว และเหล็กกล้าจนเหล็กเกิดเป็น สนิม (Rust) ออกซิเดชันในเหล็กเกิดจากฝอยเหล็กรวมกับออกซิเจน กลายเป็นเหล็กออกไซด์

1.2.2) การเป็นหลุม (Pitting Corrosion) เป็นการกัดกร่อนชนิดหนึ่ง โดยการเกิดเป็นหลุมที่พื้นผิวของวัสดุโลหะ อันเนื่องมาจากการเป็นหลุมที่ผิววัสดุเกิดจากความไม่ลงรอยกันภายในระหว่างโมเลกุล และองค์ประกอบของอะตอมอย่างมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกัน ส่วนสาเหตุมีมากมายหลายประการ อันได้แก่ ความเค้นที่ยังเหลือค้างอยู่ในวัสดุ การแตกร้าว (Crack) และขั้นตอนกระบวนการการผลิตในวัสดุบางอย่าง เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากนี้สาเหตุของการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมเฉพาะ เช่น อยู่ในบริเวณที่เป็นไอเกลือ และบริเวณที่มีคลอรีนฟอกขาว (Chlorine Bleach)

2) ลักษณะของฝอยเหล็ก

ฝอยเหล็กที่นำมาใช้เป็นฝอยเหล็กที่ผ่านความร้อนหรือเป็นเหล็กที่ได้จากการตบแต่งขึ้นส่วนเหล็กหล่อชนิดที่ไม่มีการเติมธาตุผสมด้วยเครื่องมือกล อาทิ เช่น การกลึง การเจาะ การกัด ฝอยเหล็กนั้นจะกลายเป็นเศษฝอยเหล็กหรือขี้กิ้งเหล็ก โดยจะต้องเป็นขี้กิ้งเหล็กใหม่ที่ไม่สนิมหรือผิวออกไซด์ รวมทั้งไม่มีน้ำมันปะปนมามากเกินไป

3) ประโยชน์ของฝอยเหล็ก

3.1) ฝอยเหล็ก มีสารประกอบที่สำคัญคือ ฮีโมโกลบิน ซึ่งทำหน้าที่ดักจับก๊าซที่ออกมาได้ดี

3.2) ฝอยเหล็กเกิดการยุบตัวยากและก๊าซไหลผ่านทั่วถึง ทำให้การกรองได้ดีขึ้น (ทวีทรัพย์ จิตติวัฒนานุกุล, 2552)

2.6.2.2 แกลบ (Rice Husk)

แกลบ คือ เปลือกแข็งของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสารเมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวล แล้วแต่ภูมิภาคประเทศที่มีการปลูกข้าว แกลบประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า และมีซิลิกาในเถ้ามาก แกลบไม่ละลายในน้ำ มีความคงตัวทางเคมี ทนทานต่อแรงกระทำ จึงเป็นตัวดูดซับที่ดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก การกำจัดโลหะหนักด้วยแกลบมีรายงานว่าสามารถใช้ได้กับแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ นิกเกิล และเงิน โดยใช้ได้ทั้งในรูปที่ทำและไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยากับแกลบเพื่อให้ดูดซับโลหะมากขึ้นคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และอีพิคลอโรไฮดริน (Ngah, 2008) แกลบมีลักษณะการดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งซิลิกามีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีคุณสมบัติสามารถเป็น Ion exchange โดยการแลกเปลี่ยนชนิดของไอออน แต่ปริมาณของไอออนยังคงเดิม และสามารถผันกลับมาใช้ใหม่ได้ (สำนักวิจัยพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2557) แกลบมีคุณลักษณะดังนี้

1) คุณสมบัติของแกลบ

1.1) คุณสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่น 0.1 กรัม/ซีซี ซึ่งเบากว่าดิน 10 เท่า โครงสร้างของถ่านแกลบจะมีลักษณะพรุนหรือมีช่องว่าง 80 เปอร์เซ็นต์ และอุ้มน้ำได้ 40 เปอร์เซ็นต์

1.2) คุณสมบัติทางเคมี แกลบมีแร่ธาตุ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเผาเป็นถ่านส่วนใหญ่ของสารประกอบอินทรีย์ในแกลบจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอน และให้น้ำส้มควันแกลบ (กรดอะซิติก เมทิลแอลกอฮอล์ อะซิโตน และน้ำมันดิน ฯลฯ) แร่ธาตุที่ถูกเผานี้มีซิลิกา 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นแกลบจึงเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพที่ให้ซิลิกาแก่พืชรากพืชต่างๆ โดยเฉพาะข้าวและอ้อยมีโพแทสเซียมและฟอสเฟต 2.25 เปอร์เซ็นต์ และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งละลายน้ำได้ เนื่องจากมีโพแทสเซียมสูง ทำให้แกลบมีสมบัติของค่าพีเอชสูงกว่า 8 (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2555)

2) ลักษณะของแกลบ

แกลบทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ภายนอกได้จากการสีข้าว เป็นข้าวประกอบด้วยพวกไฮโดรคาร์บอน และซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิกาเมื่อพิจารณาแกลบให้ชัดขึ้น โดยนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะมีลักษณะผิวเป็นร่องเรียงกัน และผิวแกลบมีความพรุนมาก

3) ประโยชน์จากแกลบ

3.1) นำไปผลิตเป็นขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนประกอบหลักของแกลบ คือ ซิลิกา (SiO_2) สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี และการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในแกลบมีทั้งที่เป็น ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) ซิลิกาผลึก สามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่างลักษณะผลึก และความหนาแน่นของ ซิลิกา รูปร่างของผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เส้นยาว และซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Silica)

3.2) ใช้เป็นเชื้อเพลิง เผาเป็นเถ้าขาว จนมีคุณสมบัติเป็นต่างใช้เป็นส่วนผสม ของสบู่ ยาสระผม และน้ำยาล้างจาน เป็นต้น ใช้ทำแท่งถ่านอัดขี้เถ้าแกลบ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงใช้ดูดซับ ก๊าซจากกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม (Ngah, 2008)

2.6.2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปมันเป็นวัสดุที่ประกอบด้วย คาร์บอน ที่ได้จากถ่านถูกระบุ ว่าเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนมีสูงมาก เพราะว่ามันมีรูเล็ก ๆ (Microporosity) จำนวนมาก และการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มคุณภาพของถ่าน กัมมันต์โดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้มีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจาก มีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันตั้งแต่ระดับไมโครเมตร จนถึงระดับ นาโนเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิต และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัสดุดูดซับที่ใช้ในการผลิต ถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน และ ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว และขี้เลื่อย โดยทำการเผา ด้วยความร้อนสูงในสภาวะที่ไม่มีอากาศ (ธราพงษ์ วิจิตตานต์, 2554) ถ่านกัมมันต์ มีลักษณะการดูด ซับทางกายภาพ คือ กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อนเกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่โดยการ แพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ดีจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ภายในรู จะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา ซึ่งโมเลกุลของสารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในช่องโพรง ซึ่ง จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้มากขึ้น (นพภาพร พานิช และคณะ, มปป.)

1) คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

1.1) คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปเกิดจากการเผาจาก วัสดุดูดซับที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ไม้ไผ่ ไม้ยางพารา กะลามะพร้าว เป็นต้น เมื่อเผาแล้วจะมีลักษณะเป็น สีดำ มีสีเข้มตั้งแต่สีน้ำตาลถึงสีดำสนิทมีน้ำหนักเบา มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และอาจมีธาตุ อื่นปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย มีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนจำนวนมากจึงสามารถดูดซับสิ่งต่างได้ดี

1.2) คุณสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์ โดยจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการเผาถ่านกัมมันต์ และกรรมวิธีต่าง ๆ ทางเคมี ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1.2.1) ความหนาแน่น (Apparent Density) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่ามักบ่งบอกว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ในปริมาณมากกว่า

1.2.2) ค่าความแข็ง/ค่าการขัดถู (Hardness/Abrasion Number) บอถึงความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (Backwashing) ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบ และระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

1.2.3) ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution) เกี่ยวข้องกับความละเอียดของผงถ่าน ยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันก๊าซของระบบไม่ลดลงมากด้วย ดังนั้นอุตสาหกรรมจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมาก เพื่อสร้างแรงดันก๊าซให้ไหลผ่านถ่านกรองด้วยอัตราเร็วที่กำหนด

2) ลักษณะของถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ มีผลอย่างมากต่อลักษณะของถ่านกัมมันต์ และขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้น เช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว รูพรุนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก (Microporous) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะใช้ในการกำจัดคลอรีนในน้ำประปา ถ่านหินลิกไนต์ใช้ในการทำถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macroporous)

3) ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

3.1) ถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ เช่น ในการเตรียมน้ำดื่มบริสุทธิ์ อุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสีย ใช้ในการฟอกสีของเหลว การทดลองวิจัยในการแยก และเตรียมสารเคมี

3.2) ทางการแพทย์นำไปใช้ในการกำจัดพิษ การฟอกเลือด และอื่น ๆ ใช้กรองกลิ่น และก๊าซที่ไม่ต้องการ ในหน้ากากกรองสารพิษ และเครื่องฟอกอากาศ (ธราพงษ์ วิทิตานต์, 2554)

2.6.2.4 ทราย (Sand)

ทรายเป็นหินแข็งที่แตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ โดยทรายจะแยกตัวออกมาได้เองตามธรรมชาติ ทรายมีขนาดระหว่าง 1/12 นิ้วถึง 1/400 นิ้ว ถ้ามีขนาดเล็กกว่านี้จะมีสภาพเป็นฝุ่นทราย จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์หรือหินบะซอลต์ (พิสิทธ์ อีรดิถก, 2547) ทราย มีลักษณะการดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากทรายมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งซิลิกามีโครงสร้างเป็นรูพรุน และมีพื้นที่

ผิวจำเพาะสูง เมื่อตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านชั้นของไฮลรอบทรายถึงผิวนอกของทราย ทรายส่วนใหญ่จะแพร่ไปยังพื้นผิวดูดซับส่วนใหญ่ที่อยู่ในโพรงของตัวดูดซับ หลังจากนั้นตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดผิวภายในโพรงหรือรูพรุนภายในทราย ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพ (จักรกฤษณ์ อัมพข และฉัตรชัย กัญยาธ, 2551)

1) คุณสมบัติของทราย

1.1) คุณสมบัติทางกายภาพของทราย ส่วนใหญ่จะเลือกใช้ใช้ในการกรอง จะต้องเป็นทรายบริสุทธิ์ ไม่มีดินเหนียว ฝุ่น สารอินทรีย์ และแร่ไมกา เจือปนอยู่ด้วย ส่วนขนาดของเม็ดทรายเป็นทรายที่ไม่คัดขนาด และไม่มีผลมากนักต่อการกรอง แต่ไม่ควรมีรูปร่างแบนราบ ทรายที่มีขนาดเม็ดเหลี่ยม และกลมจะใช้งานได้ดี (พิสิทธิ์ ธีรดิolk, 2547)

1.2) คุณสมบัติทางเคมีของทราย จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Analysis) ของทราย สามารถสรุปได้ดังนี้

1.2.1) การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเม็ดทราย บอกถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนของทราย โดยดูได้จากปริมาณของซิลิกา ถ้ามีปริมาณมากสามารถทนความร้อนได้มาก ซิลิกา 100 เปอร์เซ็นต์ จุดหลอมเหลวสูงถึง 1,700 องศาเซลเซียส โดยทรายหล่อที่ดีควรมีปริมาณซิลิกาอย่างน้อย 95-96 เปอร์เซ็นต์

1.2.2) ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ (Permeability) จากการทดลอง พบว่าทรายทุกแหล่งจะให้ค่าการปล่อยซิมอากาศสูงในช่วงความชื้น 2-5 เปอร์เซ็นต์ ค่าการปล่อยซิมอากาศเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการหนีออกจากแบบของแก๊ส ในระหว่างการเทน้ำโลหะ ซึ่งค่าการปล่อยซิมอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดทราย เม็ดทรายขนาดเล็กมีค่าการปล่อยซิมอากาศต่ำกว่าเม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่ ค่าการปล่อยซิมอากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-150 ถ้ามีค่าต่ำกว่านี้แก๊สจะหนีออกจากแบบหล่อได้ยาก (บรรเจิด แสงจันทร์ และคณะ, 2547)

2) ลักษณะของทราย

รูปร่างลักษณะของทราย อันได้แก่ รูปทรง (Shape) ต่าง ๆ เช่น เม็ดทรายที่มีทรงกลม ทรงรี สามารถแสดงถึงรูปแบบการแตกออกมาจากหินแม่ที่เป็นแหล่งกำเนิด เม็ดทรายที่มีความมนสูงแสดงว่าถูกพัดพามาไกลกว่าเม็ดทรายที่มีความมนต่ำหรือมีความเป็นเหลี่ยมเป็นมุมสูง โดยทรายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปทรายที่มีขนาดอนุภาคหรือเม็ดตะกอนระหว่าง 0.0625 ถึง 2 มิลลิเมตรและเมื่อใช้นี้วลูเบา ๆ ทรายนั่นจะให้ความรู้สึกสึก

3) ประโยชน์ของทราย

การใช้ประโยชน์ทรายภายในประเทศส่วนมากใช้เป็นวัสดุก่อสร้างประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการใช้ทรายทั้งหมด ที่เหลืออีก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการอุตสาหกรรม

และ 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการใช้ประโยชน์เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างอื่น คุณสมบัติของทรายเพื่อการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

3.1) ทรายก่อสร้าง เป็นวัสดุประกอบที่มีประโยชน์ในงานก่อสร้างหลาย ๆ ด้าน ได้แก่ งานคอนกรีต งานปูนก่อ งานปูนฉาบ เป็นต้น ทรายที่มีความเหมาะสมเพื่อการใช้ก่อสร้างต้องเป็นทรายที่สะอาด มีเม็ดทรายที่แข็งทนทานต่อการสึกกร่อน และฝุ่นผงมีมลทินหรือสารประกอบอย่างอื่นอยู่น้อยมาก โดยทั่วไปทรายที่ใช้เพื่อการใช้ก่อสร้างจะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น รูปร่างของเม็ดทราย ขนาดของเม็ดทราย ลักษณะของเนื้อทรายโดยรวม การเกาะกลุ่มและการเชื่อมประสานกันของเม็ดทราย สีของทราย และการปนเปื้อนของแร่อื่น ๆ เป็นต้น

3.2) ทรายถม ปกติทรายที่ใช้ในการถมที่มักไม่กำหนดมาตรการที่เข้มงวด ยกเว้นในงานถมที่มีลักษณะเฉพาะ และพิเศษ เช่น การก่อสร้างสนามบิน และอาคารในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งต้องการระบบระบายน้ำของวัตถุที่ไปถมที่

3.3) ทรายเพื่อใช้ในการอุตสาหกรรม จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทั้งทางเคมี และฟิสิกส์เป็นอย่างมาก โดยทั่วไปคุณสมบัติเหล่านี้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมจะเป็นผู้กำหนด ทรายในอุตสาหกรรมของไทยส่วนมากใช้ในการทำแก้ว และกระจก นอกจากนั้นก็นำไปใช้ในการทำแบบหล่อหรือแบบพิมพ์ใช้ในการกรอง ใช้ในการขัดสีหรือขัดมัน ใช้ในการฉาบผิว ใช้ในอุตสาหกรรมทำสี ทำอิฐ และอื่น ๆ (กองประสานการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, 2547)

2.6.2.5 ผงปูน

โดยผงปูนที่นำมาใช้ในการวิจัยคือ ปูนซีเมนต์เทา หมายถึงสารประกอบอย่างหนึ่ง มีลักษณะเป็นผงที่บดละเอียด ซึ่งเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะแข็งตัวเป็นรูปร่างตามต้องการ ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมิเนียม หรือซิลิกา ซึ่งได้แก่ ดินดำ ดินขาว หรือ ศิลาแลง ซึ่งมีธาตุเหล็กมาผสมเข้าด้วยกัน (จักรวาล บัณฑิตรัตน์, 2554) ผงปูน มีลักษณะการดูดซับทางเคมี เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายกับเหล็ก ผงปูนเมื่อสัมผัสกับน้ำจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในอากาศอย่างช้าๆ เกิดเป็นสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์และทำปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทำให้เกิดการแข็งตัวของปูนได้ (สันติพงษ์ ปิตตฤกษ์ดี, 2557)

1) คุณสมบัติของผงปูน

1.1) คุณสมบัติทางกายภาพของผงปูน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1.1) ความละเอียด (Fineness) มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีน้ำในการทำปฏิกิริยาด้วย กล่าวคือหากมีการเพิ่มความละเอียดมากขึ้น ก็จะมีผลต่อการยุบตัวของผงปูน

1.1.2) Compressive Strength of Mortar เป็นการหาค่าแรงอัดของปูนซีเมนต์ในมอร์ต้า เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ในด้านการรับแรงอัด

1.1.3) พื้นผิวจำเพาะ (Fineness Specific Surface) หมายถึงความละเอียดของปูนซีเมนต์ โดยวัดพื้นที่ผิวของซีเมนต์ 1 กรัม หากค่าความละเอียดยิ่งมาก ค่า Compressive Strength ก็ยิ่งมากขึ้นด้วย และการเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะเร็วขึ้น ทำให้เวลาในการแข็งตัว (Setting Time) เร็วขึ้นด้วย

1.2) คุณสมบัติทางเคมีของผงปูน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1.2.1) Main Oxide ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO แสดงส่วนประกอบของสารประกอบซีเมนต์ โดยเป็นตัวบ่งชี้ถึงประเภทของปูนซีเมนต์ ซึ่งจะมีปริมาณของสารประกอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น ในผงปูนจะมี เฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้ปูนมีสีเข้ม และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต เป็นต้น

1.2.2) Insoluble Residue เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายในกรด ต่าง เช่น ทราาย และดิน ที่ประปนอยู่ในปูนซีเมนต์ ถ้ามีมากจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลง

2) ลักษณะของผงปูน

ผงปูนที่ใช้ในปัจจุบัน มีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามการใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่ผงปูนที่คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ ได้จากการบดปูนเม็ดกับยิปซัม และวัสดุเหนียวซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นกรดได้ มีการแข็งตัวช้าเมื่อสัมผัสกับน้ำ

3) ประโยชน์ของผงปูน

3.1) ปูนช่วยยกระดับค่าพีเอชให้สูงขึ้นลดความรุนแรงของกรด และลดผลเสียโดยทางอ้อมอันเนื่องมาจากความเป็นกรด

3.2) ควบคุมปริมาณกรดอินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของเหล็ก อะลูมิเนียม ตลอดจนสารพิษต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่ให้มีการสะสมมากเกินไป (จักรวรรุ บัณฐรัตน์, 2554)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาการพัฒนาเครื่องกรองที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดจากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการวิจัย คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพราะจะช่วยให้คณะผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎี แนวคิด และข้อเสนอแนะที่สำคัญที่จะช่วยให้คณะผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.7.1 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

สมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร และการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เป็นระยะเวลา 111 วัน โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 ลิตร แบบกึ่งกะ ในตอนเริ่มต้นเดินระบบใช้เศษอาหารอย่างเดียวป้อนที่อัตราสารอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 g/Lreactor-day (56.6-230.2 g/day) ให้ผลผลิตของมีเทนอยู่ในช่วง 47-60 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m³ biogas/kgCOD ในการป้อนกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเศษอาหาร 1.245 g/Lreactor-day ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 L/day เป็น 72.2 L/day และ 90.4 L/day หลังจากเติมกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าเทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR-AMR รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow และเทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซน้อยที่สุด คือเทคโนโลยีระบบ CSTR 1-Stage

อาริยา วิรัชวรกุล (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนจากการศึกษา พบว่าการนำขยะของเสียมาทำการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะในภาวะราคาน้ำมันแพง การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน เนื่องจากการย่อยสลายแบบขั้นตอนเดียวเป็นไปได้ยาก เพราะเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันสองประเภทคือชนิดที่ผลิตกรด และชนิดที่ผลิตมีเทนจะมีการสะสมในปริมาณมาก ทำให้เกิดการระเหยของกรดในจำนวนมาก การย่อยสลายแบบสองขั้นตอนจะใช้ถังหมักกรดและถังหมักก๊าซแยกออกจากกัน และเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นเศษอาหารที่ได้จากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กฤตภาส สิงคบุตร, วิชชากร จารุศิริ และปฐมทัศน์ จิระเดชะ (2554) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย จากการศึกษาพบว่าจากการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 3 แห่ง พบว่าส่วนใหญ่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจริงได้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบทั้งสิ้น เนื่องจากการป้อนเศษอาหารยังไม่ได้มีการป้อนสม่ำเสมอตามค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 19.33 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเมื่อคิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันรวมมีค่าเท่ากับ 58 ลูกบาศก์เมตร เมื่อมีการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จริง โดยเทียบที่ปริมาณการป้อนเท่ากันคือ 200 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

2.7.2 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

วงศ์วิวรรธ อนุศิลป์และสุนันทา เลาวัญศิริ (2555) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (AC) ซึ่กลึง

เหล็กปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก (FH) ชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) และถ่านกัมมันต์ร่วมกับ ชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพ (AF) ในคอลัมน์ตัวกลางสูง 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Biogas Analyzer ที่อัตราการไหล 340 มิลลิลิตรต่อนาที โดยวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง จากการศึกษา พบว่าชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด รองลงมา คือถ่านกัมมันต์ร่วมกับชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และชีกลิงเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ โดยมีร้อยละการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 70.22, 43.61, 29.72 และ 15.37 ตามลำดับ และ Breakthrough Point ที่ระยะเวลา 140, 215, 95 และ 120 นาที ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อปริมาตรวัสดุดูดซับเท่ากับ 2,249.68, 1,418.69, 338.34 และ 438.69 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ของวัสดุดูดซับชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับชีกลิงเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และชีกลิงเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ

สุชน ตั้งทวีวัฒน์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน โดยใช้สารดูดซับที่แขวนสารละลายเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ และ โซดาไฟ โดยใช้ปูนซีเมนต์เทาผสมดินเบาหรือทรายละเอียดเมื่อนำไปวัดในฟาร์มสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และนกรักษาไข่ พบว่าการใช้ทรายผสมปูนซีเมนต์เทาสามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าดิน เบาผสมปูนซีเมนต์เทา และการใช้ฝอยเหล็กกล่าวคือ ลดได้ 99.3-97.3, 78.0-74.0 และ 69.4-49.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P < 0.01$) เมื่อนำตัวกลางทรายละเอียด ผสมปูนซีเมนต์เทาบรรจุลงในท่อ PVC ที่มีความยาว 50, 75 และ 100 เซนติเมตร พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความยาวของ ท่อคือ ลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เท่ากับ 99.3-97.3, 99.8-99.0 และ 100-99.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยชุดดูดซับที่มีความยาว 100 ซม. สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จาก 2,400 ppm เป็น 0 ppm ในวันแรก และ 3 ppm หลังใช้งานนาน 30 วัน โดยตัวดูดซับจะเปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดง เป็นสีน้ำตาลเข้ม เพราะฉะนั้นการลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ตัวกลางดูดซับที่ ทำจากทรายผสมปูนซีเมนต์เทาสามารถทนต่อการทำละลายได้ดีที่สุด และได้สีน้ำตาลแดงของ $Fe(OH)_3$ เมื่อนำไปบรรจุในท่อที่มีความยาว 100 ซม. สามารถดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าการใช้ ตัวกลางชนิดดินเบา และการใช้ฝอยเหล็กรวมทั้งยังให้ผลดีว่าการใช้ท่อที่มีความยาวสั้นกว่า

กฤษ ศรีบุญเรืองและสมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์ (2556) ได้ทำการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน ก๊าซชีวภาพจากระบบถังหมักแบบสองขั้นตอนโดยใช้ปฏิกิริยาการดูดซับ และการดูดซึมทางเคมี การ วิจัยในครั้งนี้ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ โดยการใช้ระบบถังหมักแบบสอง ขั้นตอน จากการวิจัย พบว่าก๊าซชีวภาพมีการปนเปื้อนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาณเฉลี่ย 4.56 ± 0.09 ppm และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่างการใส่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับเถ้าแกลบ พบว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 67.13 และ 84.59

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Pair T-test พบว่าทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงว่าถ้าแก้กลบมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

อมราวดี มานะจิตต์ (2551) ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตัวกลางที่ใช้ คือ ดินลูกรัง โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 หาปริมาณเหล็กทั้งหมด ปริมาณเฟอร์รัสไอออน และปริมาณเหล็กออกไซด์ของดินลูกรัง ถนนสายอุดรธานี-สกลนคร และถนนสายท่าแร่-ศรีสงคราม ที่ขนาด 2.36 และ 1.18 มิลลิเมตร ทำการเลือกขนาดจากแหล่งที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์มากที่สุด ช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาหาตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระยะความลึก 0.2 เมตร โดยคอลัมน์ทำจากวัสดุพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร สูง 0.7 เมตร นำดินลูกรังจากช่วงที่ 1 มาแบ่งเป็น 4 แบบคือ แบบที่ 1 ดินลูกรังไม่ฆ่าเชื้อ แบบที่ 2 ดินลูกรังฆ่าเชื้อ แบบที่ 3 ดินลูกรังฆ่าเชื้อผสมผงเหล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และแบบที่ 4 ดินลูกรังฆ่าเชื้อผสมผงเหล็ก 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และช่วงที่ 3 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระยะความลึก 0.3, 0.4 และ 0.5 เมตร โดยใช้ตัวกลางจากช่วงที่ 2 ซึ่งในการทดลองช่วงที่ 2 และ 3 กำหนดให้ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบคือ 50 ppm ที่อัตราการไหลของก๊าซ 8 ลิตรต่อนาทีตลอดการทดลอง จากผลการทดลอง พบว่าผลการทดลองช่วงที่ 1 ดินลูกรังของถนนสายอุดรธานี-สกลนครที่ขนาดดิน 2.36 มิลลิเมตรมีปริมาณเหล็กออกไซด์มากที่สุดคือ 32.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการทดลองช่วงที่ 2 ตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือดินลูกรังฆ่าเชื้อผสมผงเหล็ก 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งมีช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพการกำจัด 100 เปอร์เซ็นต์ คือ 13 วัน มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกจับได้ต่อปริมาณตัวกลางมากที่สุดคือ 7.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีปริมาณซัลเฟอร์ที่ถูกจับสะสม 7.95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผลการทดลองช่วงที่ 3 ที่ระยะความลึก 0.3, 0.4 และ 0.5 เมตรจะมีช่วงเวลาที่ประสิทธิภาพการกำจัด 100 เปอร์เซ็นต์ คือ 18, 25 และ 34 วัน ตามลำดับ มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกจับได้ต่อปริมาณตัวกลาง คือ 9.07, 7.57 และ 7.57 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณซัลเฟอร์ที่ถูกจับสะสมคือ 8.55, 10.20 และ 10.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 รูปแบบการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวัตถุดิบที่ใช้ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับเชื้อจุลินทรีย์ จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี โดยศึกษากระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีการปนเปื้อนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการเลือกพัฒนาตัวกรองที่เหมาะสมในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ ฝอยเหล็ก ผงปูน ทราบ และถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่บริสุทธิ์อย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้งานได้อย่างน้อยติดต่อกัน 4 ครั้ง ภายใน 1 วัน

3.2 วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 วัตถุดิบ

3.2.1.1 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (บริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน) (ภาพที่ 3.1) ซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิตน้ำอัดลมและไม่อัดลม น้ำเสียที่ได้จะเป็นน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิต การล้างเครื่องจักรและน้ำใช้ภายในโรงงาน

3.2.1.2 เชื้อจุลินทรีย์ (ภาพที่ 3.2) ซึ่งเชื้อที่ใช้มีชื่อว่า Fermentative Bacteria เป็นเชื้อที่ไม่ใช้อากาศ สามารถอยู่ได้ในอุณหภูมิปานกลาง อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต (Optimum Temperature) อยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียสและค่าพีเอชที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6.7-7.1 เป็นแบคทีเรียกลุ่มใหญ่ที่สุด เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารการหมักย่อยสลายเกิดการเน่าเสีย (Microbial Spoilage)

3.2.1.3 ถ่านกัมมันต์ มาผ่านกระบวนการอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.3)

3.2.1.4 แกลบ (เปลือกข้าวสาร) มาผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.4)

3.2.1.5 ผงปูน ใช้ในการก่อสร้าง มาผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

(ภาพที่ 3.5)

3.2.1.6 ทราบไม้ค้ำขนาด ใช้ในการก่อสร้าง มาผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.6)

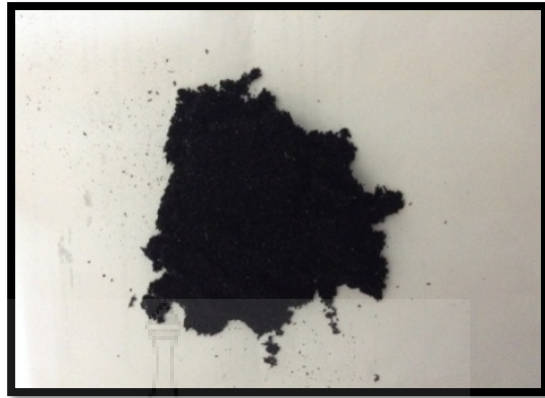
3.2.1.7 ฝอยเหล็ก ที่เป็นของเหลือในกระบวนการกลึง มาผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.1 น้ำเสียจากกระบวนการผลิต การล้างเครื่องจักร ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องตีทั้งอัดลมและไม่อัดลม



ภาพที่ 3.2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย (Fermentative Bacteria)



ภาพที่ 3.3 ถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 3.4 แกลบ



ภาพที่ 3.5 ผงปูน



ภาพที่ 3.6 ทราย์ไม้คัดขนาด



ภาพที่ 3.7 ฝอยเหล็ก

3.2.2 อุปกรณ์

3.2.2.1 ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นชุดถังหมักที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.สลักจิต พุกจรูญ และ อาจารย์พลกฤษณ์ คุ่มกล้า โดยประกอบด้วย ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร จำนวน 1 ถัง และถังเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 120 ลิตร จำนวน 1 ถัง (ภาพที่ 3.14)

3.2.2.2 อุปกรณ์ของชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนี้

1) ท่ออะคริลิก ใช้กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร และความยาว 30 เซนติเมตร เป็นองค์ประกอบของตัวกรองขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3.8 และ ภาพที่ 3.12)

2) แผ่นสแตนเลส ใช้ยึดตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับขาตั้ง ใช้ประกอบเป็น องค์ประกอบของตัวกรองขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3.9 และ ภาพที่ 3.12)

3) แผ่นอะคริลิก ใช้ทำฝาครอบตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใช้ประกอบเป็น องค์ประกอบของตัวกรองขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3.10 และ ภาพที่ 3.12)

4) ขาตั้ง ใช้เป็นฐานต่อกับตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ใช้ประกอบเป็น องค์ประกอบของตัวกรองขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3.11 และ ภาพที่ 3.12)



ภาพที่ 3.8 ท่ออะคริลิก



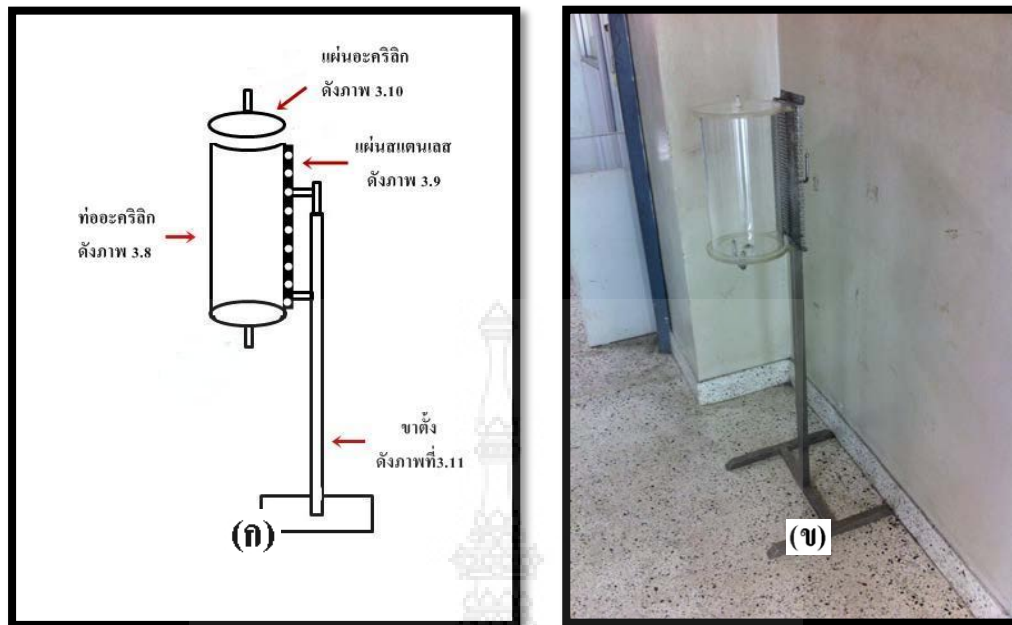
ภาพที่ 3.9 แผ่นสแตนเลส



ภาพที่ 3.10 แผ่นอะคริลิก



ภาพที่ 3.11 ขาตั้ง



ภาพที่ 3.12 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก) และตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่จริง (ข)

3.2.3 เครื่องมือ

3.2.3.1 เครื่องวัดก๊าซ 6 ชนิด รุ่น IBRID MX6 เพื่อวัดก๊าซชีวภาพ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพที่ 3.13)

3.2.3.2 กระดาษวัดพีเอช ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ (ภาพที่ 3.14)



ภาพที่ 3.13 เครื่องวัดก๊าซ 6 ชนิด รุ่น IBRID MX 6



ภาพที่ 3.14 กระดาษวัดพีเอช

3.3 แนวทางการวิจัย

3.3.1 ชั้นเตรียมการ

3.3.1.1 ศึกษาและรวบรวมความคิดของงานวิจัยที่จะทำการศึกษา โดยค้นคว้าหาข้อมูลจากหนังสือ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนปรึกษาสอบถามกับบุคคลที่เกี่ยวข้อง

3.3.1.2 ตั้งกรอบและเขียนแนวคิด เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาขั้นต่อไปได้

3.3.1.3 ตั้งกรอบการศึกษา ซึ่งอยู่ในขอบเขตของกรอบแนวคิด

3.3.1.4 กำหนดพื้นที่ศึกษา คือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (ศูนย์พระนครเหนือ) ตั้งอยู่เลขที่ 1381 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

3.3.2 การหมักก๊าซชีวภาพและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ขั้นตอนนี้จะเป็นการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้กากน้ำตาลในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้ขวดน้ำขนาด 1,500 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 90:10 ซึ่งใช้น้ำเสีย 900 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์ 100 มิลลิลิตร ซึ่งใช้น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี โดยนำมาหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน และการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในขวดที่มีความกว้าง 3.8 เซนติเมตร และ ความสูง 8.1 เซนติเมตร โดยใช้น้ำ

เสียและเชื้อจุลินทรีย์จากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับตัวกรองที่เตรียมไว้ โดยในกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.2.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

1) เตรียมน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ (ภาพที่ 3.15) ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้มีปริมาตร 900:100 มิลลิลิตร ทั้งหมดจำนวน 3 ขวด

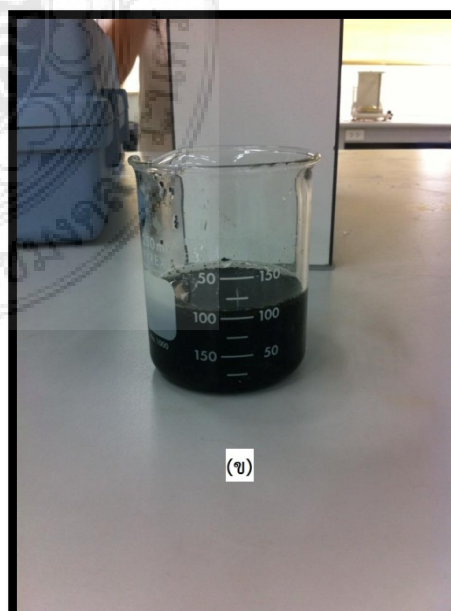
2) ตั้งน้ำเปล่าทิ้งไว้ 1 วันเพื่อไม่ให้มีคลอรีน (ภาพที่ 3.16) เตรียมปริมาณกากน้ำตาล (ภาพที่ 3.17) ที่ใช้ในการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในขวดหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

ขวดที่	ปริมาณกากน้ำตาล (mL)	น้ำไม่มีคลอรีน (mL)	ปริมาณน้ำเสีย (mL)	ปริมาณเชื้อ (mL)
1	10	100	800	100
2	20	100	800	100
3	30	100	800	100

3) ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 3.18) แล้วตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพทุกวัน บันทึกผล

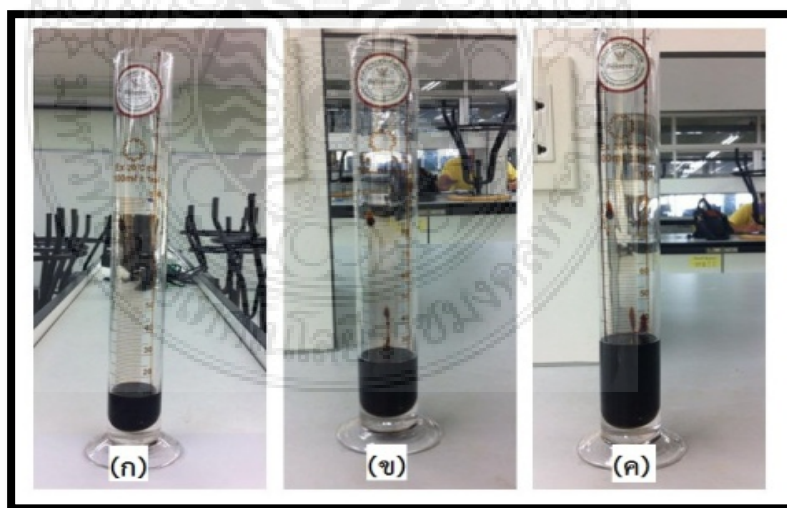
4) นำค่าที่ได้มาแปรผลในรูปแบบกราฟ



ภาพที่ 3.15 (ก) น้ำเสีย ปริมาณ 800 mL และ (ข) เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณ 100 mL ที่ได้จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี ใช้หมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก



ภาพที่ 3.16 น้ำประปา ปริมาณ 100 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ที่ได้จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี ใช้หมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก



ภาพที่ 3.17 กากน้ำตาล ปริมาณ (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 30 mL ใช้หมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก



ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 7 วัน

ขวดที่ 1 กากน้ำตาล: น้ำเปล่า: น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์ (10: 100: 800: 100)

ขวดที่ 2 กากน้ำตาล: น้ำเปล่า: น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์ (20: 100: 800: 100)

ขวดที่ 3 กากน้ำตาล: น้ำเปล่า: น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์ (30: 100: 800: 100)

3.3.2.2 การรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

1) เตรียมน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้ปริมาตร 900:100 มิลลิลิตร (ภาพที่ 3.19) ทั้งหมดจำนวน 8 ขวด แล้วทำการหมักเป็นระยะเวลา 15 วัน

2) เตรียมวัตถุดิบตัวกรองในการรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพที่ 3.20)

ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

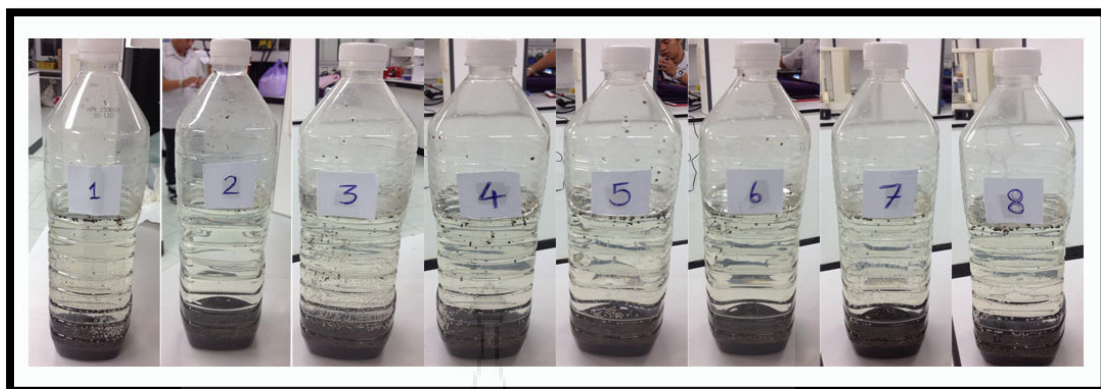
ชนิดที่	ชนิดตัวกรอง	อัตราส่วน (%)	ปริมาณ (กรัม)	ความกว้าง (ซม.)	ความสูง (ซม.)
1	ฝอยเหล็ก	100	10	3.8	8.1
2	ถ่านกัมมันต์	100	10	3.8	8.1
3	ทราย	100	10	3.8	8.1
4	ปูน	100	10	3.8	8.1
5	แกลบ	100	10	3.8	8.1
6	ฝอยเหล็กและแกลบ	60:40	10	3.8	8.1
7	ฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์	60:40	10	3.8	8.1
8	ฝอยเหล็กและปูนและทราย	60:20:20	10	3.8	8.1

หมายเหตุ : ตัวกรองแต่ละชนิด กรองซ้ำติดต่อกัน 6 ครั้ง

: กำหนดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป

3) ทำการกรองเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยทำการปล่อยให้ก๊าซไหลจากด้านล่างลงสู่ด้านบน (ภาพที่ 3.21) เมื่อครบทุก 1 ชั่วโมงจึงทำการเขย่าขวดตัวกรอง แล้วทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ บันทึกผล

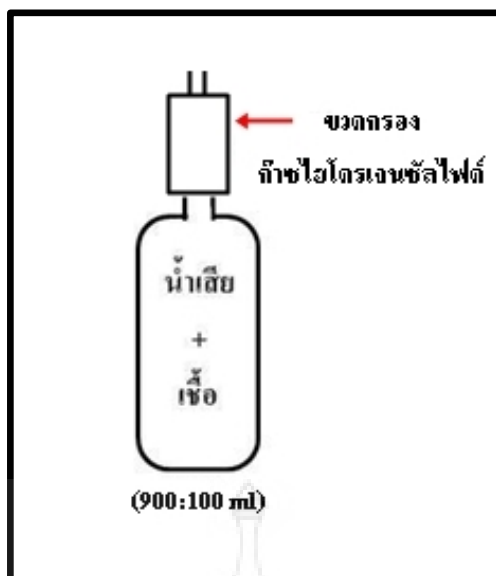
4) นำค่าที่ได้ไปแปรผลในรูปของกราฟเพื่อคัดเลือกและพัฒนาการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวกรองขนาดกลางต่อไป



ภาพที่ 3.19 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการใช้ น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ ในแต่ละขวดมีน้ำเสีย 900 มิลลิลิตร ต่อเชื้อจุลินทรีย์ 100 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด



ภาพที่ 3.20 ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการใช้ น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ ในแต่ละขวดมีน้ำเสีย 900 มิลลิลิตร ต่อเชื้อจุลินทรีย์ 100 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด ซึ่งมีชนิดตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อเรียงจากซ้ายไปขวา
 ขวดที่ 1 คือ ทราย
 ขวดที่ 2 คือ ฝอยเหล็ก
 ขวดที่ 3 คือ ฝอยเหล็กและแกลบ (อัตราส่วน 60:40)
 ขวดที่ 4 คือ ฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์ (อัตราส่วน 60:40)
 ขวดที่ 5 คือ ฝอยเหล็กและปูนและทราย (อัตราส่วน 60:20:20)
 ขวดที่ 6 คือ ปูน
 ขวดที่ 7 คือ แกลบ
 ขวดที่ 8 คือ ถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากด้านล่างขึ้นด้านบน

3.3.2.3 การทดสอบความสูงของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1) เตรียมน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้ปริมาตร 900:100 มิลลิเมตร ทั้งหมดจำนวน 12 ขวด โดยแบ่งเป็นขวดน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์สำหรับกรองฝอยเหล็ก ทั้งหมด 4 ขวด (ภาพที่ 3.22) ขวดน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์สำหรับกรองทราย 4 ขวด (ภาพที่ 3.23) และ ขวดน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์สำหรับกรองทรายและถ่านกัมมันต์ 4 ขวด (ภาพที่ 3.24) แล้วทำการหมักเป็นเวลา 15 วัน

2) เตรียมวัตถุดิบตัวกรองในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กเพื่อทดสอบความสูงของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ขวดที่	ความสูง(ซม.)	อัตราส่วน (%)	ปริมาณ (กรัม)	ความกว้าง (ซม.)
ฝอยเหล็ก	5	100	185	5.3
	6	100	251	5.3
	7	100	337	5.3
	8	100	423	5.3
ทราย	5	100	179	5.3
	6	100	227	5.3
	7	100	275	5.3
	8	100	323	5.3
	5	60:40	130:5	5.3

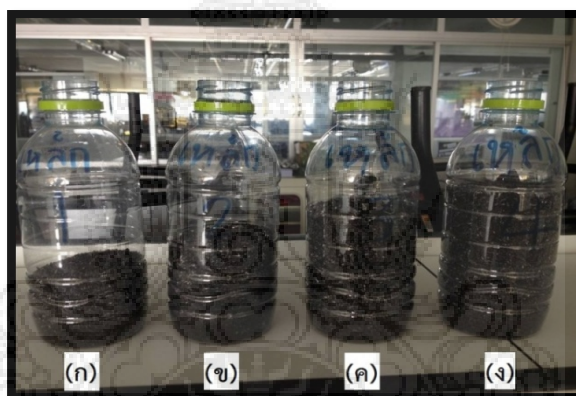
ทรายและถ่าน กัมมันต์	6	60:40	163:11	5.3
	7	60:40	204:17	5.3
	8	60:40	227:17	5.3

หมายเหตุ : ตัวกรองแต่ละชนิด กรองซ้ำติดต่อกัน 3 ครั้ง

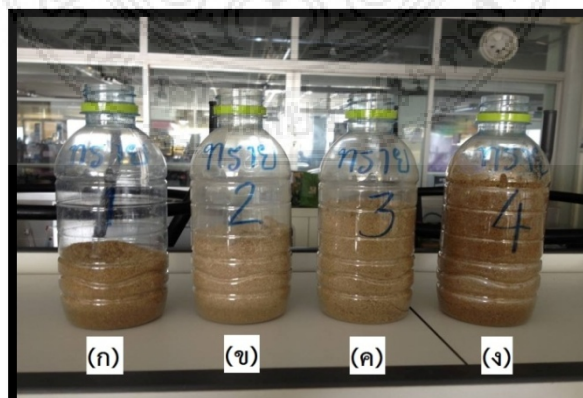
: กำหนดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป

3) ทำการกรองเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยปล่อยให้ก๊าซไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (ภาพที่ 3.25) แล้วทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ ทุก 1 ชั่วโมง บันทึกผล

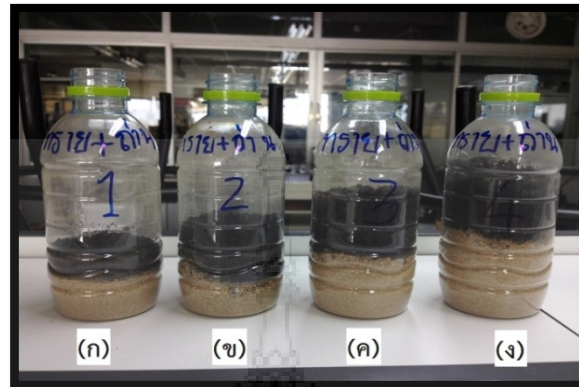
4) นำค่าที่ได้ไปแปรผลในรูปของกราฟเพื่อคัดเลือกความสูงในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อไป



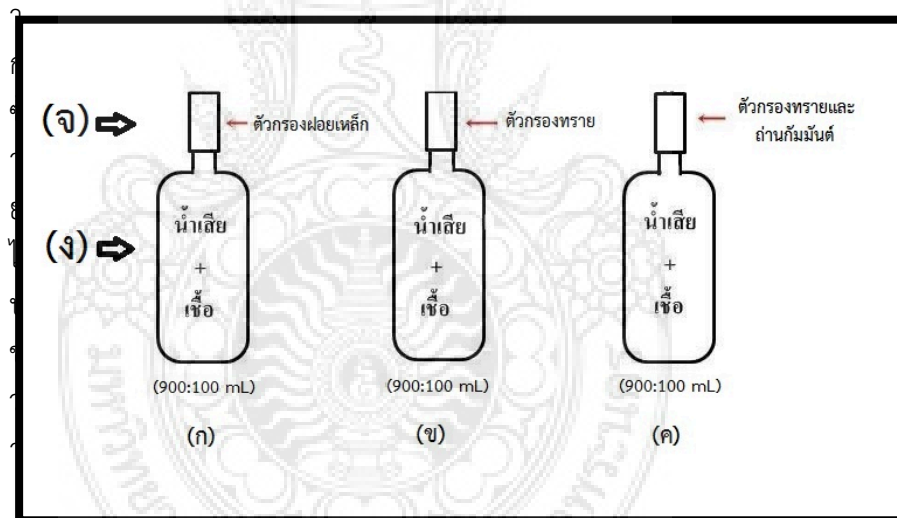
ภาพที่ 3.22 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรองฝอยเหล็กขนาดเล็ก ในปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียงจากซ้ายไปขวา

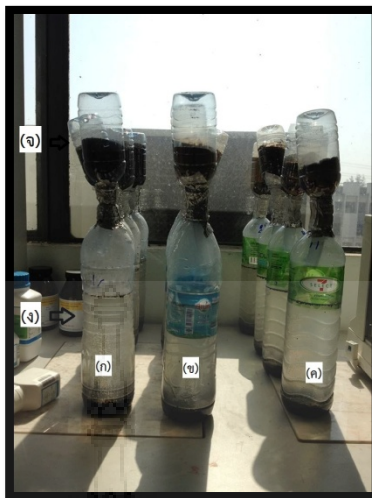


ภาพที่ 3.23 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรองทรายขนาดเล็ก ใน ปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียงจากซ้ายไป ขวา



ภาพที่ 3.24 ตัวอย่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก ด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ ขนาดเล็ก ในปริมาณที่ต่างกัน คือ (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7 และ (ง) 8 เซนติเมตร โดยเรียง จาก





ภาพที่ 3.25 ตัวอย่างการกรองความสูงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (ก) ตัวกรองฝอยเหล็ก (ข) ทราชาย และ (ค) ทราชายและ ถ่านกัมมันต์ โดยทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จาก (ง) ด้านล่างขึ้นสู่ (จ) ด้านบน

3.3.3 การหมักก๊าซชีวภาพและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางโดยใช้หญ้า ชานอ้อย และกากน้ำตาล โดยหมักลงในถัง 5 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 วันแล้วนำไปหมักใส่ลงในถังขนาดกลาง โดยใช้ถังขนาด 20 ลิตร ในอัตราส่วน 90:10 ซึ่งใช้น้ำเสีย 18 ลิตร และเชื้อจุลินทรีย์ 2 ลิตร ซึ่งใช้น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี โดยนำมาหมักเป็นระยะเวลา 15 วัน และการทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในขวดขนาด 1500 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์จากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับตัวกรองที่เตรียมไว้ โดยในกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.3.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง

1) ทำการหมักหญ้า (ภาพที่ 3.26) และชานอ้อย (ภาพที่ 3.27) โดยใช้หญ้าและชานอ้อยในปริมาณอย่างละ 5 กรัม ทำการหมักลงในขวด 5 ลิตร (ภาพที่ 3.29) และทำการหมักเป็นเวลา 5 วัน

2) เตรียมน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้ปริมาตร 18:2 ลิตร ทั้งหมดจำนวน 4 ถัง ดังตารางที่ 3.4 หลังจากนั้นใส่หญ้าและชานอ้อย ที่ได้หมักไว้ในถัง 5 ลิตร นำมาใส่ลงในถัง 20 ลิตร แล้วใส่กากน้ำตาล (ภาพที่ 3.28) ในปริมาณที่ต่างกันลงไป (ตารางที่ 3.4) และกวนน้ำเสีย เชื้อจุลินทรีย์ กากน้ำตาล หญ้าและชานอ้อยให้เข้ากัน

ตารางที่ 3.4 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง

ขวดที่	ปริมาณกากน้ำตาล (mL)	อัตราส่วน (mL)	ปริมาณน้ำเสีย (L)	ปริมาณเชื้อ (L)
1	0	18:2	18	2
2	20	18:2	18	2
3	30	18:2	18	2
4	40	18:2	18	2

3) ทำการหมักเป็นเวลา 15 วัน (ภาพที่ 3.30) แล้วตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทุกวัน บันทึกผล

4) นำค่าที่ได้มาแปรผลในรูปแบบกราฟ



ภาพที่ 3.26 ตัวอย่างหญ้าที่ใช้ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง โดยใส่หญ้าปริมาณ 5 กรัม ในการหมักถึงขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน



ภาพที่ 3.27 ตัวอย่างชานอ้อยที่ใช้ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง โดยใส่ชานอ้อย ปริมาณ 5 กรัม ในการหมักถังขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน



ภาพที่ 3.28 ตัวอย่างกากน้ำตาลที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง ทดลองใช้ปริมาณ 20, 30 และ 40 มิลลิลิตร ในการหมักถังขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน



ภาพที่ 3.29 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพ โดยใช้วัตถุดิบหญ้า ชานอ้อยและกากน้ำตาลที่หมักในถัง 5 ลิตร โดยใช้หญ้าปริมาณ 5 กรัม ชานอ้อยปริมาณ 5 กรัม จำนวน 5 ถัง



ภาพที่ 3.30 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางในถังขนาด 20 ลิตร ที่หมักเป็นเวลา 15 วัน
 ถัง (ก) น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์: หญ้า: ชานอ้อย (18: 2: 5: 5)
 ถัง (ข) น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์: หญ้า: ชานอ้อย: กากน้ำตาล (18: 2: 5: 5: 20)
 ถัง (ค) น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์: หญ้า: ชานอ้อย: กากน้ำตาล (18: 2: 5: 5: 30)
 ถัง (ง) น้ำเสีย: เชื้อจุลินทรีย์: หญ้า: ชานอ้อย: กากน้ำตาล (18: 2: 5: 5: 40)

3.3.3.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

- 1) เตรียมน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้ปริมาตร 18:2 ลิตร ทั้งหมดจำนวน 3 ขวด แล้วทำการหมักเป็นระยะเวลา 15 วัน (ภาพที่ 3.31)
- 2) เตรียมวัตถุดิบตัวกรองในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีฝอยเหล็ก (ภาพที่ 3.32) ทราช (ภาพที่ 3.33) และทราชและถ่านกัมมันต์ (ภาพที่ 3.34) ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

ชนิดที่	ชนิดตัวกรอง	อัตราส่วน (%)	ปริมาณ (กรัม)	ความกว้าง (ซม.)	ความสูง (ซม.)
1	ฝอยเหล็ก	100	1000	5.3	15.6
2	ทราย	100	1000	5.3	15.6
3	ทรายและถ่านกัมมันต์	60:40	1000	5.3	15.6

หมายเหตุ : ตัวกรองแต่ละชนิด กรองซ้ำติดต่อกัน 5 ครั้ง

: กำหนดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป

3) ทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเพิ่มระยะเวลาในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นานขึ้นเป็น 7.5 ชั่วโมง ทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ ทุก 1.5 ชั่วโมง โดยการกรองก๊าซจะไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ดังภาพที่ 3.35 แล้วบันทึกผล

4) นำค่าที่ได้ไปแปรผลในรูปของกราฟเพื่อเปรียบเทียบตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อพัฒนาในถังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่



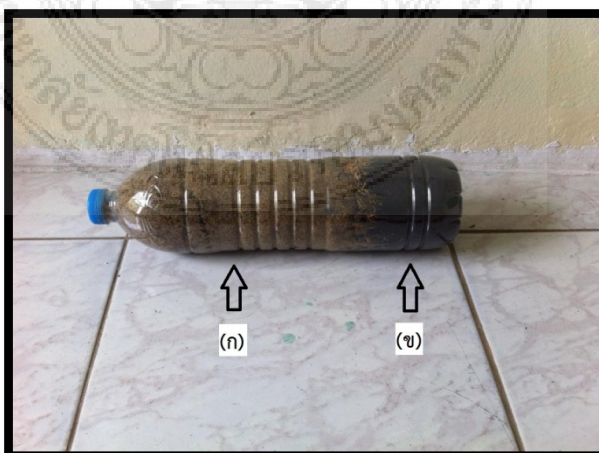
ภาพที่ 3.31 ตัวอย่างการหมักก๊าซชีวภาพในถังขนาด 20 ลิตร โดยใช้วัตถุดิบน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ 2 ลิตร



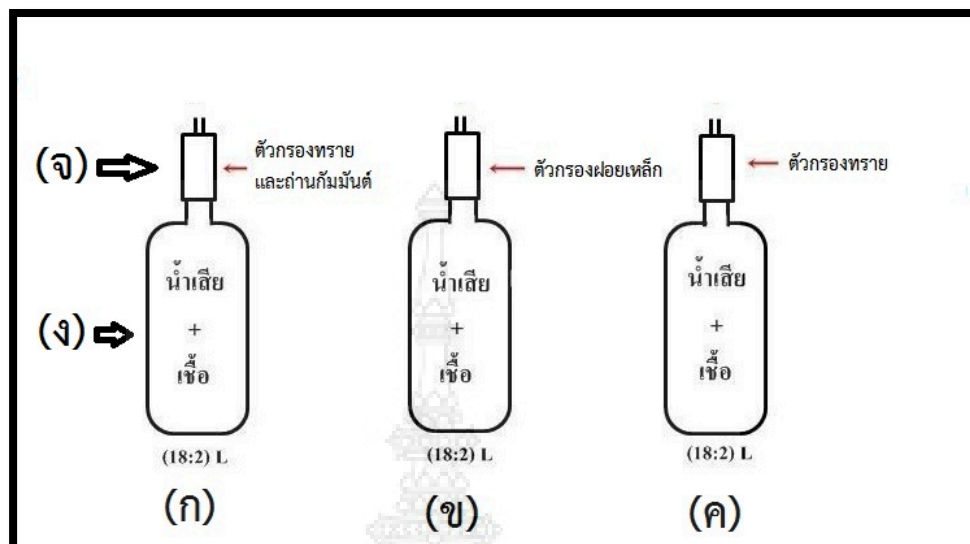
ภาพที่ 3.32 ตัวกรองฝอยเหล็กขนาดกลาง ปริมาณ 1,000 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร



ภาพที่ 3.33 ตัวกรองทรายขนาดกลาง ปริมาณ 1,000 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร



ภาพที่ 3.34 ตัวกรองขนาดกลางโดยใส่ (ก) ทราย ปริมาณ 600 กรัม และ (ข) ถ่านกัมมันต์ 400 กรัม ในขวดขนาด 1.5 ลิตร



ภาพที่ 3.35 ลักษณะการต่อตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง ด้วย (ก) ตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ (ข) ตัวกรองฝอยเหล็ก และ (ค) ตัวกรองทรายโดยให้ก๊าซผ่านก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่อด้านบน โดยหลักการไหลผ่านจาก (ง) ด้านล่างขึ้นสู่ (จ) ด้านบน

3.3.4 การหมักก๊าซชีวภาพและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

ขั้นตอนนี้จะเป็นการหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่โดยใช้หญ้า ชานอ้อย และกากน้ำตาลที่หมักลงในถัง 5 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 วัน แล้วนำไปใส่ลงในถังขนาดใหญ่ โดยใช้ถังขนาด 200 ลิตร ในอัตราส่วน 90:10 ซึ่งใช้น้ำเสีย 180 ลิตร และเชื้อจุลินทรีย์ 20 ลิตร จากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี โดยนำมาหมักเป็นระยะเวลา 15 วัน และการทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จัดทำขึ้นโดยสามารถบรรจุตัวกรองได้ 2,500 กรัม โดยในกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.4.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

1) ทำการหมักกากน้ำตาล หญ้าและขานอ้อย โดยใช้หญ้าและขานอ้อยในปริมาณอย่างละ 5 กรัม และทำการหมักลงในขวด 5 ลิตร และทำการหมักเป็นเวลา 5 วัน

2) เตรียมน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 90:10 โดยใช้ปริมาตร 180:20 ลิตร ลงในถัง 200 ลิตร และใส่กากน้ำตาล หญ้าและขานอ้อยที่ได้หมักในถัง 5 ลิตรลงในถัง 200 ลิตร กวนให้เข้ากัน

3) ทำการหมักเป็นเวลา 15 วัน (ภาพที่ 3.36) แล้วตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทุกวัน บันทึกผล

4) นำค่าที่ได้มาแปรผลในรูปแบบกราฟ



ภาพที่ 3.36 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ โดยหมักน้ำเสียในปริมาณ 180 ลิตรในการหมัก (ก) ถึงขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถึงเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 120 ลิตร เป็นเวลา 15 วัน

3.3.4.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

1) เตรียมเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทำการตัดท่ออะคริลิกขนาดยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.8) และตัดแผ่นอะคริลิกสำหรับทำฝาครอบท่ออะคริลิกขนาด 20 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.9) ต่อตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้ากับแผ่นสแตนเลส (ภาพที่ 3.10) และต่อตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้ากับขาตั้ง (ภาพที่ 3.12) และใส่ตัวกรองเหล็ก (ภาพที่ 3.37) และทรายและถ่านกัมมันต์ (ภาพที่ 3.38) ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ชนิดปริมาณและขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในถังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

ชนิดตัวกรอง	อัตราส่วน (%)	ปริมาณ (กรัม)	ความกว้าง (ซม.)	ความสูง (ซม.)
ฝอยเหล็ก	100	2500	17	32
ทรายและถ่านกัมมันต์	60:40	2500	17	32

หมายเหตุ : ตัวกรองแต่ละชนิด กรองซ้ำติดต่อกัน 4 ครั้ง

: โดยต้องการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มต้นอย่างน้อย 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ทำการกรองติดต่อกัน 4 ครั้งแล้วทำการวัดทุก 1.5 ชั่วโมง เพื่อดูประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน 1 วัน และหลังจากนั้นทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไว้นกว่าตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่สามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อีก โดยการกรองก๊าซจะไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนแล้วทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ อุณหภูมิ และค่าพีเอช

3) นำค่าที่ได้ไปแปรผลในรูปของกราฟ

4) ได้ตัวกรองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถกรองได้ติดต่อกันอย่างน้อย

1 วัน



ภาพที่ 3.37 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของ (ก) ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถังเก็บก๊าซขนาด 120 ลิตร ต่อกับ (ค) เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดบรรจุ 2,500 กรัม ด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก



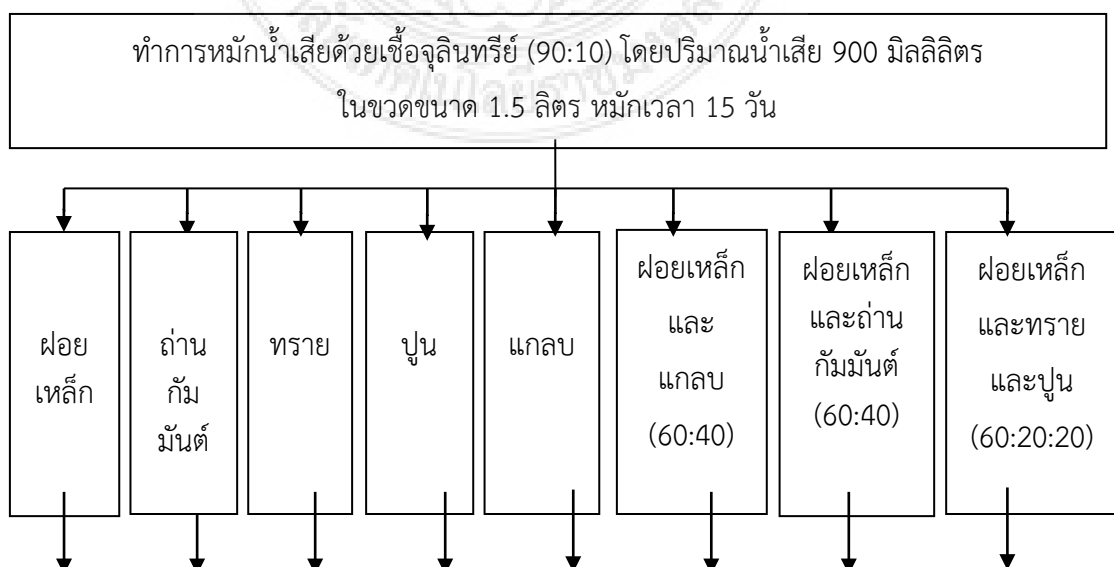
ภาพที่ 3.38 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของ (ก) ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และ (ข) ถังเก็บก๊าซขนาด 120 ลิตร ต่อกับ (ค) เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดบรรจุ 2,500 กรัม ด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์

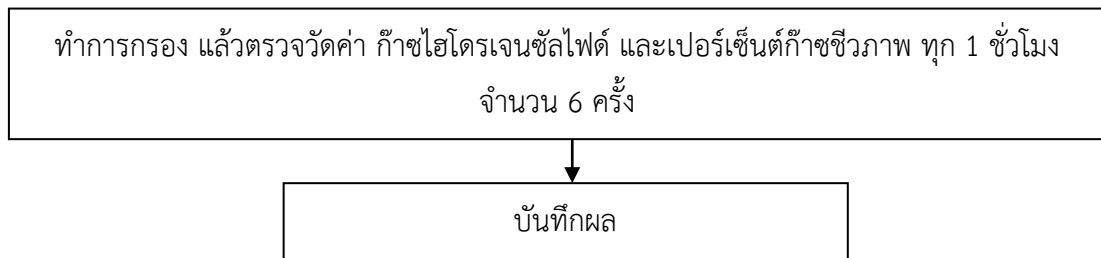
3.3.5 สรุปผลและนำไปใช้

3.3.5.1 สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในบทที่ 1

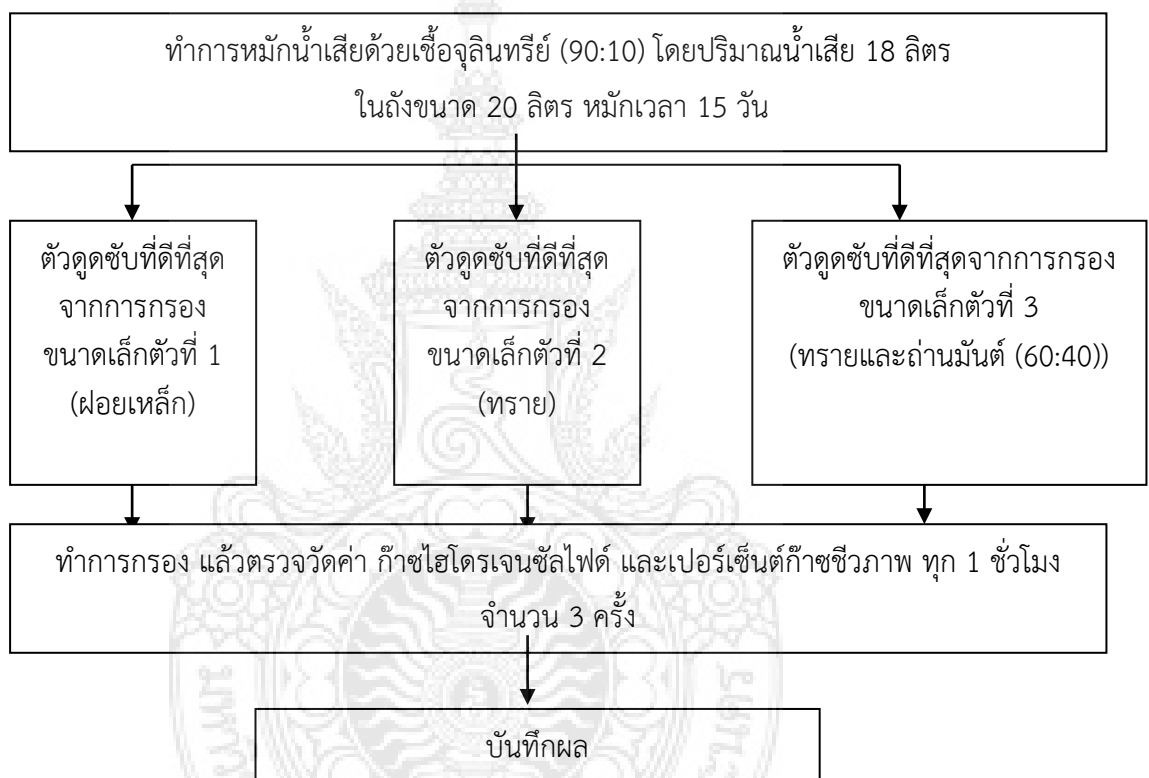
3.3.5.2 นำเสนอในการปรับปรุง เพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

การพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก แบ่งกระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 3 ขั้นตอน ตามที่ได้เสนอวิธีวิจัยไว้เบื้องต้นแล้ว เพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้นผู้วิจัยได้เสนอแผนภูมิการทดลองไว้ดังนี้





แผนภาพที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก



แผนภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง



แผนภาพที่ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

จากการศึกษาการพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก ผู้วิจัยสามารถแบ่งกระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำตัวกรองขนาดเล็กเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขั้นตอนการทำตัวกรองขนาดกลางเพื่อคัดเลือกตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ขั้นตอนขนาดใหญ่เป็นการนำตัวกรองที่เลือกแล้วมาใช้กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพให้ได้อย่างน้อย 60-80 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักเพื่อรักษาก๊าซชีวภาพให้คงอยู่อย่างน้อย 50-70 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในกระบวนการหมัก

4.1.2 กระบวนการหมักและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

4.1.3 กระบวนการหมักและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

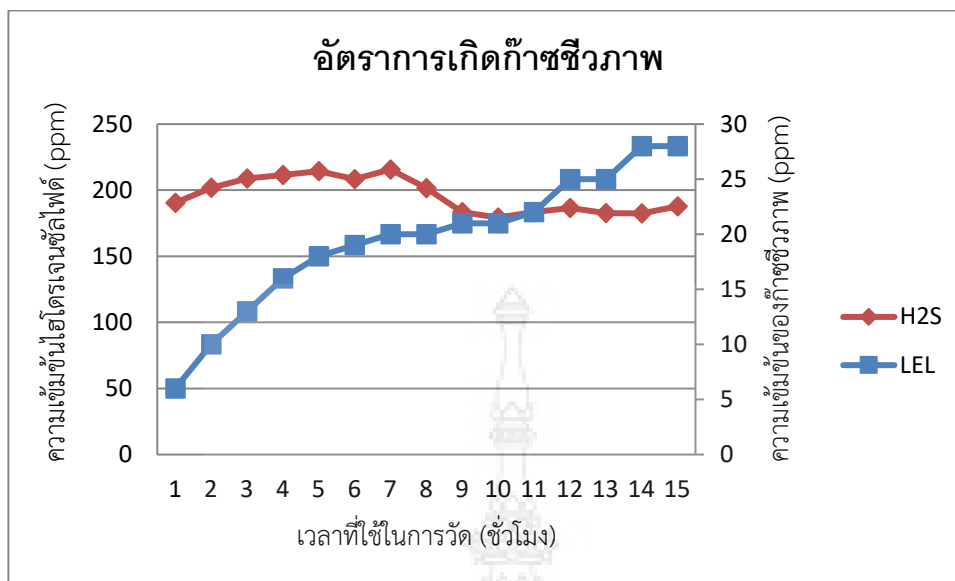
4.1.4 กระบวนการหมักและการกรองก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

4.2 อภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในกระบวนการหมัก

จากการทดสอบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังแผนภูมิที่ 4.1 จะสังเกตเห็นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ คณะผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาการหมักก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงอัตราการเกิดของก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลานาน 15 ชั่วโมง

4.1.2 กระบวนการหมักและกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

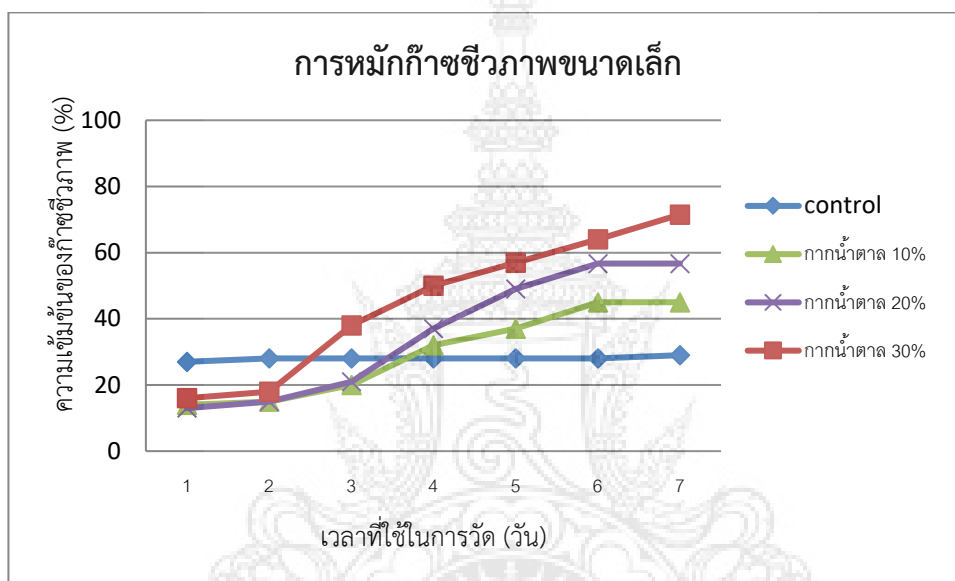
กระบวนการกรองขนาดเล็กเป็นขั้นตอนของการทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อทำการเลือกชนิดตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง สามารถใช้ได้อย่างน้อย 4 ครั้ง โดยการใช้ตัวกรองจากวัสดุทั้งหมด 5 ชนิดคือ ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ ทราย ปูน และแกลบ ทั้งนี้ยังเลือกฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็กและปูนและทราย และฝอยเหล็กและแกลบ ซึ่งมีกระบวนการหมักที่ใช้จุลินทรีย์ 10 เปอร์เซ็นต์

กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพเพื่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จำนวน 8 ขวด หมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 15 วันจากนั้นเมื่อถึงวันที่ 15 จึงทำการกรองโดยใช้ตัวกรองจำนวน 10 กรัม ทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ ทุก 1 ชั่วโมง โดยแบ่งขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ กระบวนการกรองขนาดเล็ก กระบวนการกรองขนาดกลาง กระบวนการกรองขนาดใหญ่เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพให้ได้อย่างน้อย 60-80 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักเพื่อรักษาก๊าซชีวภาพให้คงอยู่อย่างน้อย 50-70 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้

4.1.2.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพนี้ได้มีการศึกษาค่าของก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของก๊าซที่ติดไฟได้ โดยทำการเติมกากน้ำตาลซึ่งเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าก๊าซชีวภาพที่ทำการวัดได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.2

จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก พบว่าปริมาณของกากน้ำตาลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเติมกากน้ำตาลที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของกากน้ำตาลที่มีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กในระยะเวลาการหมัก 7 วัน

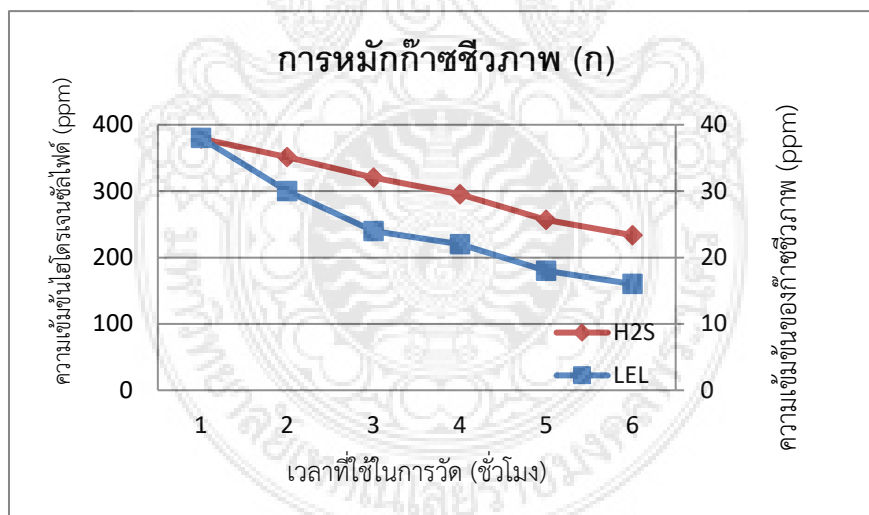
จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ขนาดขนาด 1 ลิตร ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุด Control (ชุดที่ไม่ใส่กากน้ำตาล) ชุดที่ใส่กากน้ำตาล 30 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพมากที่สุดถึง 71.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 20 เปอร์เซ็นต์และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

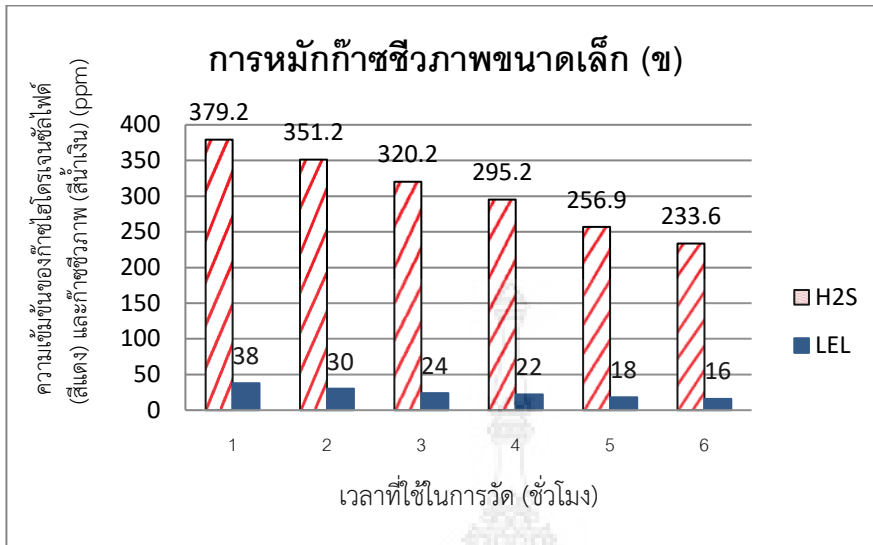
4.1.2.2 ชนิดของตัวกรอง

จากการทดลอง การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกรองพบว่าตัวกรองแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับช่องว่างและลักษณะการจับของตัวกรองแต่ละชนิด ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน โดยลักษณะการดูดซับของฟอยเหล็กและปูนจะเป็นลักษณะการดูดซับทางเคมี และลักษณะการดูดซับของถ่านกัมมันต์ แกลบ และทราย จะมีลักษณะการดูดซับทางกายภาพ และส่งผลให้เกิดการกำจัดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้แตกต่างกัน

โดยถึงควบคุมไม่ได้ผ่านตัวกรองแสดงถึงการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะที่ควบคุม การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กโดยเริ่มจากตัวกรองฝอยเหล็กมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 4 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 55 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 5 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 88 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองทรายมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 5 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 76 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองปูนมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในหรืออยู่ในชั่วโมงที่ 4 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 48 เปอร์เซ็นต์ และตัวกรองแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 2 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ จากที่กล่าวมาข้างต้น ตัวกรองที่ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมโดยเรียงจากมากไปน้อย คือ ถ่านกัมมันต์ ทราย ฝอยเหล็ก แกลบ และปูน ตามลำดับ

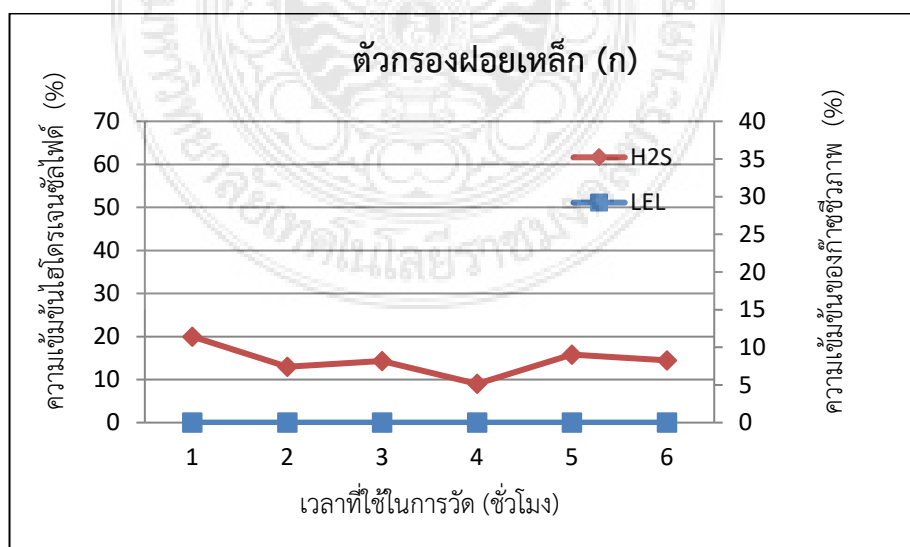
จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสภาวะควบคุมในตัวควบคุมที่ไม่ผ่านตัวกรองนั้นค่าของก๊าซชีวภาพ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการลดลงอย่างต่อเนื่องอาจเกิดจากการสูญเสียหายไปของก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการวัดผลของก๊าซทั้งสองชนิด และเนื่องจากเป็นการหมักขนาดเล็กปริมาณก๊าซที่ได้จะสูญเสียไปได้ง่าย ดังภาพที่ 4.3

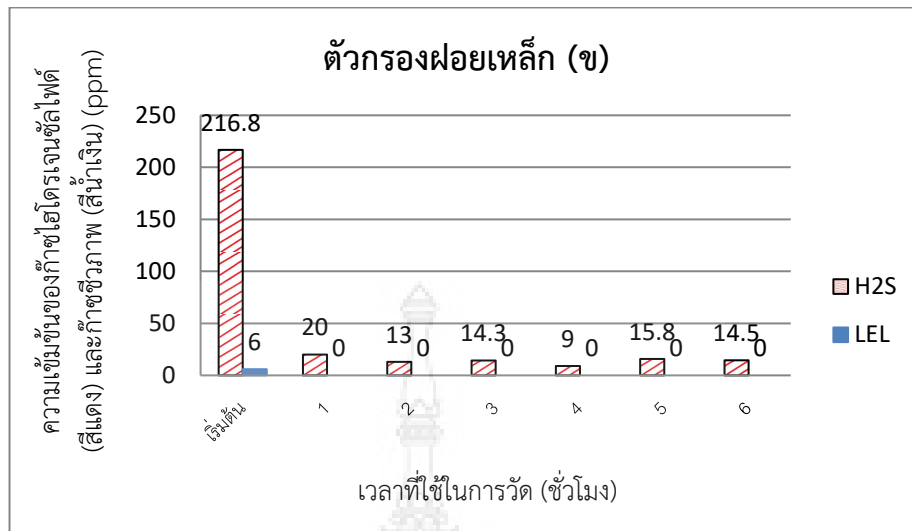




ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ ในกระบวนการหมักขนาดเล็ก กราฟ (ก) เปรอร์เซ็นต์การลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ

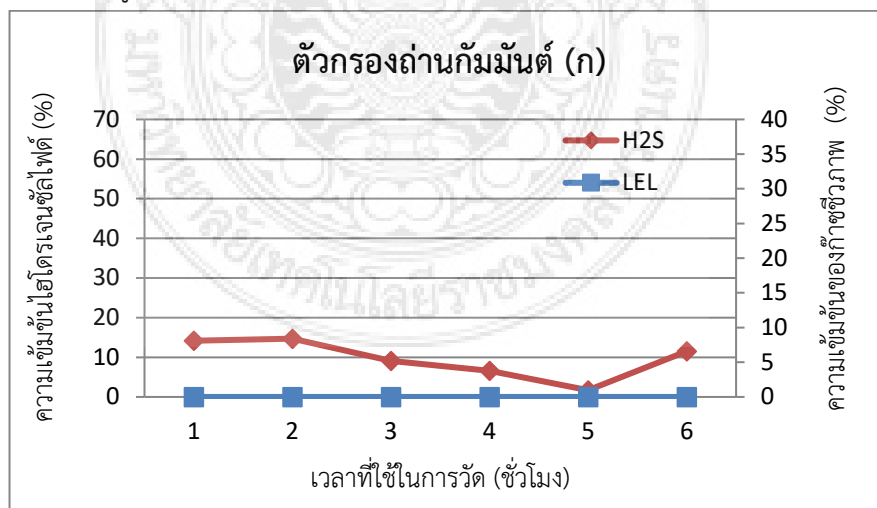
จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองฝอยเหล็กจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองฝอยเหล็กมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยหลักการดูดซับทางเคมีได้ 55 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.4

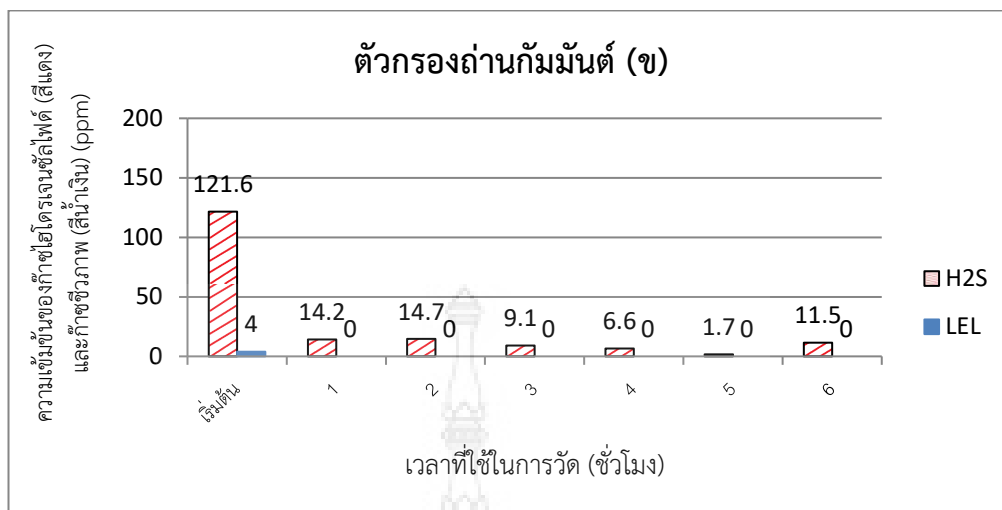




ภาพที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก กราฟ (ก) เปรี่เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก

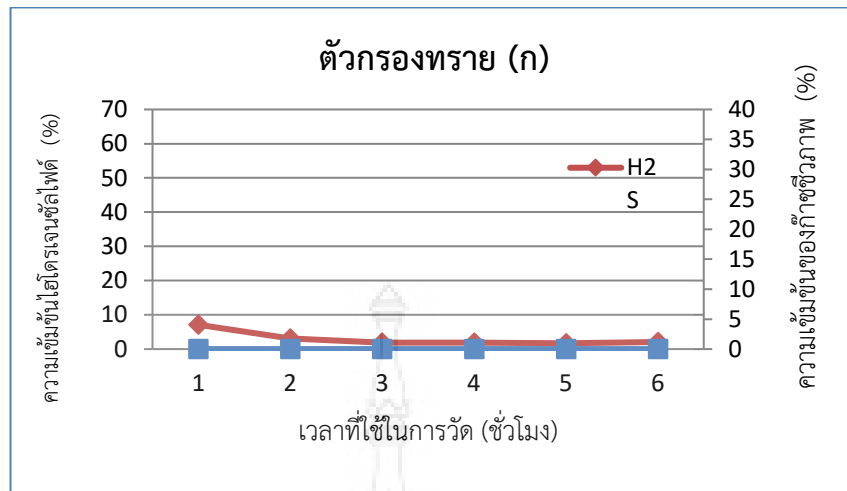
จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองถ่านกัมมันต์จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองถ่านกัมมันต์มีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยหลักการดูดซับทางกายภาพได้ 88 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4.5





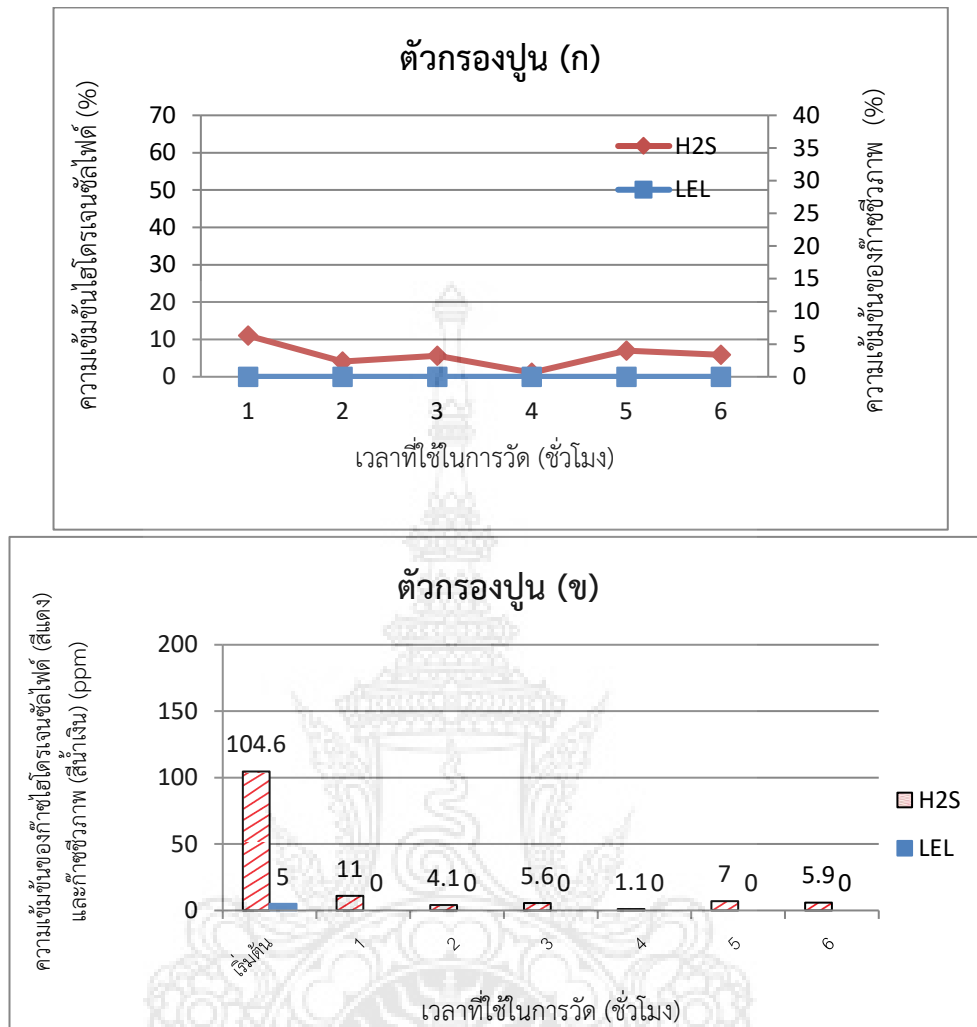
ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ กราฟ (ก) เเปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองทราย จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองชนิดทรายจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองทรายมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยหลักการดูดซับทางกายภาพได้ 76 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ด้วยหลักการกรองที่ผ่านช่องว่างของเม็ดทราย และอาจมีการทำปฏิกิริยาบนผิวของเม็ดทราย ซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ด้วย



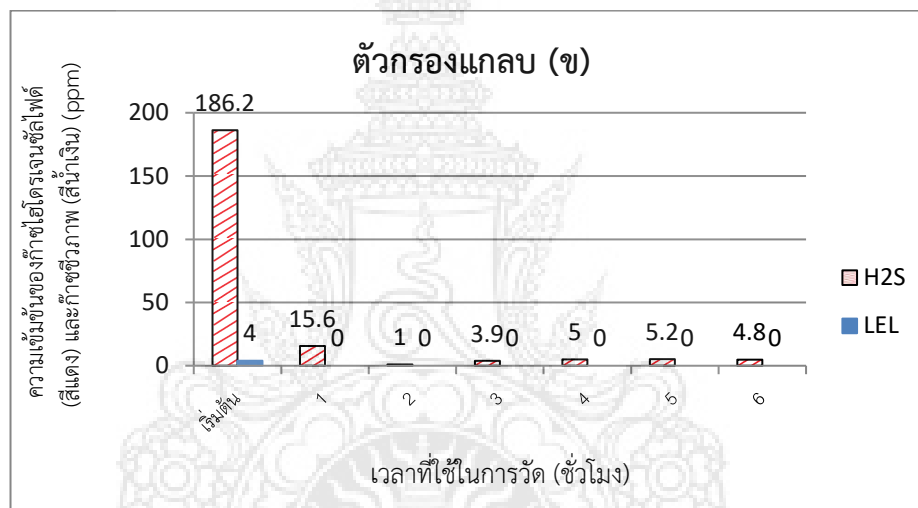
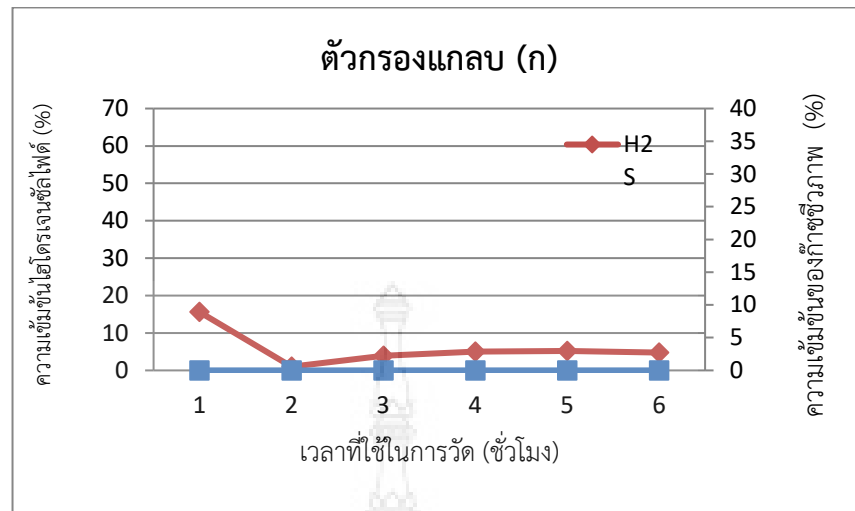
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยทราย กราฟ (ก) เปรี่เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยทราย กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยทราย

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองปูน จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองปูนจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองปูนมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยหลักการดูดซับทางเคมีได้ 48 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.7 หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะคงที่ในการทำงานได้ยาวนานถึง 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยปูน กราฟ (ก) เปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยปูน กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยปูน

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองแกลบ จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองแกลบจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองแกลบมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยหลักการดูดซับทางกายภาพได้ 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4.8 หลังจากชั่วโมงที่ 2 ตัวกรองแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง

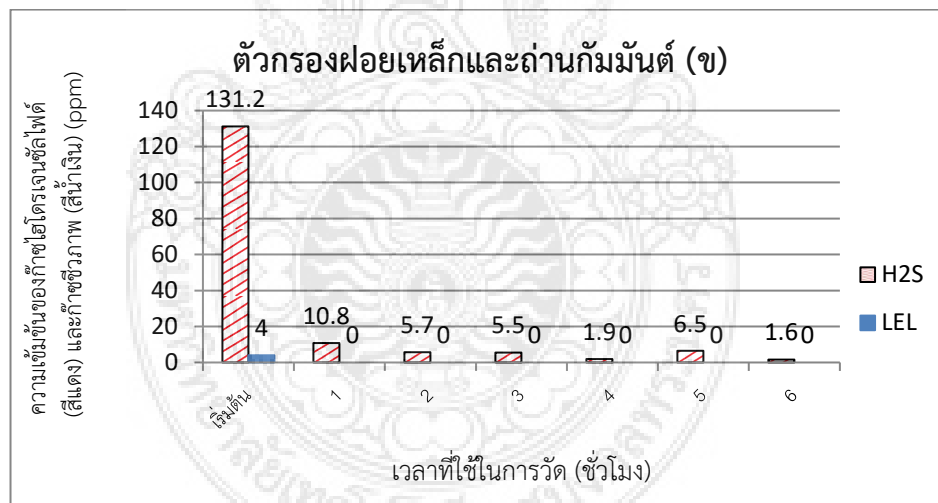
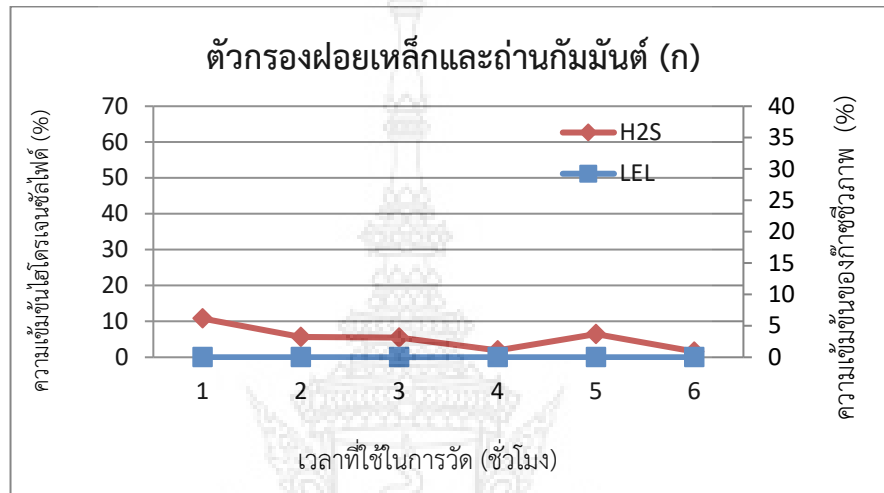


ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซซิวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยแกลบ กราฟ (ก) เปรอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซซิวภาพที่ผ่านการกรองด้วยแกลบ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซซิวภาพผ่านการกรองด้วยแกลบ

4.1.2.3 ตัวกรองผสม

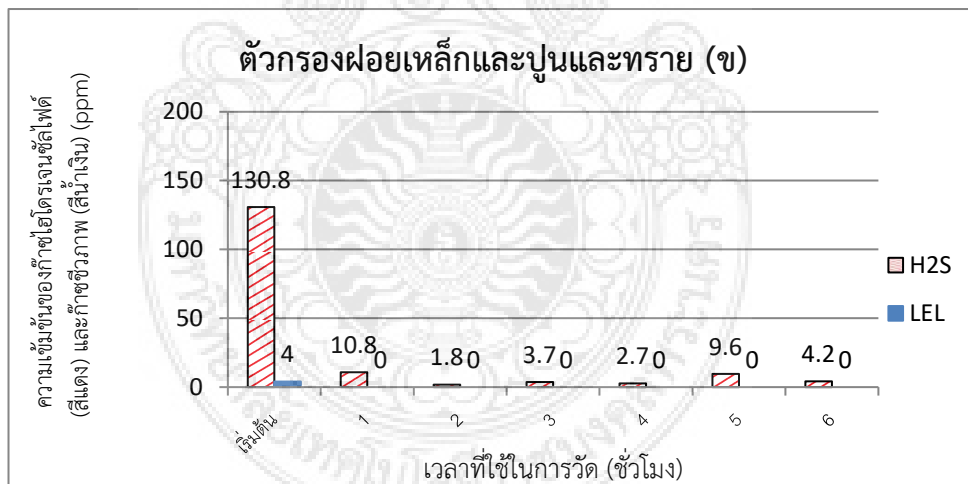
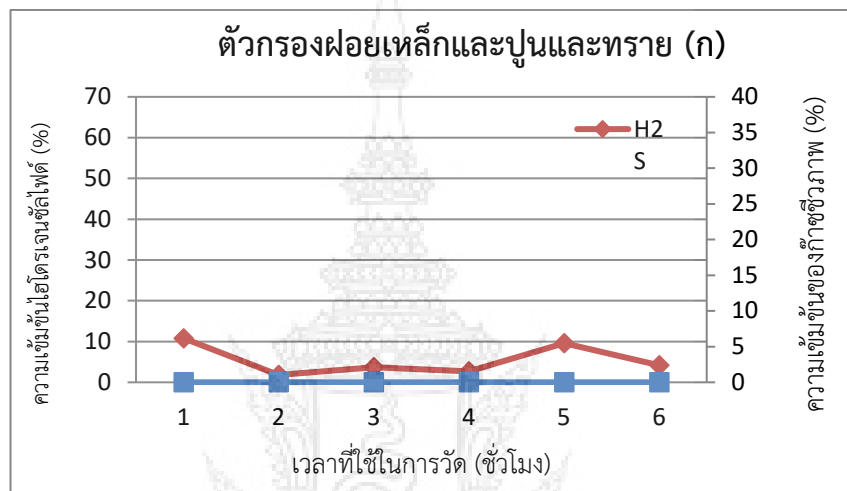
จากภาพที่ 4.9-4.11 แสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุดูดซับที่เป็นตัวกรองผสมจะมีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่ำกว่าวัสดุดูดซับของชนิดตัวกรอง โดยตัวกรองฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้ดีในชั่วโมงที่ 4 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 39 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองฝอยเหล็กและปูนและทรายมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุดในชั่วโมงที่ 2 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 61 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองฝอยเหล็กและแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชั่วโมงที่ 4 สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 48 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก และถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์จากด้านล่างสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์มีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 39 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.9



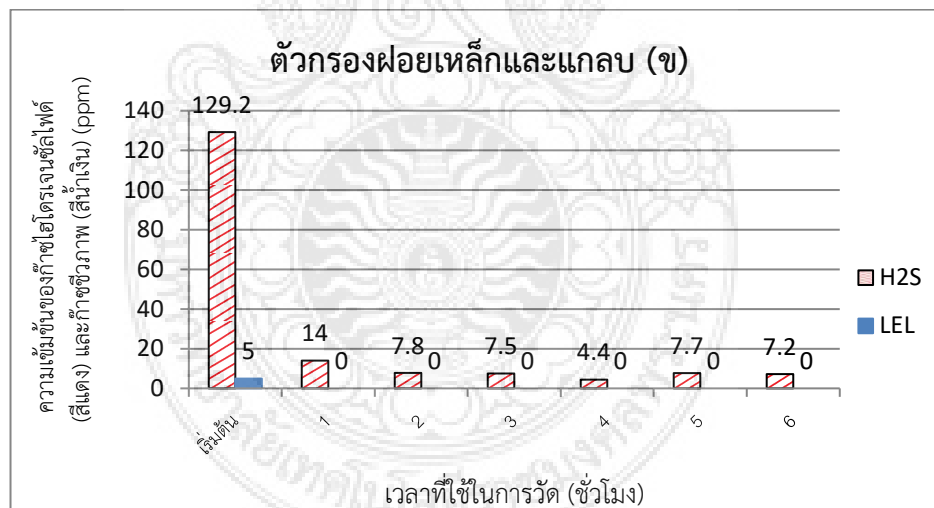
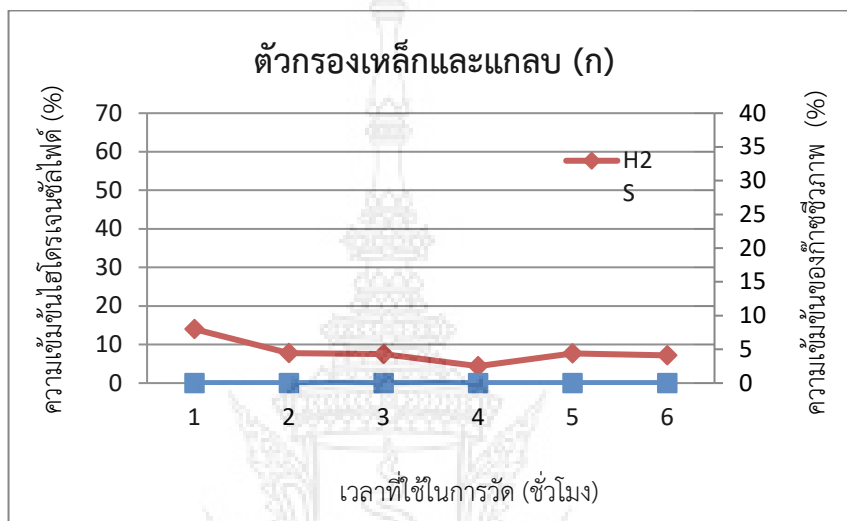
ภาพที่ 4.9 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์ กราฟ (ก) เปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและถ่านกัมมันต์

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองฝอยเหล็กและปูนและทราย จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองฝอยเหล็กและปูนและทรายจากด้านล่างสู่ด้านบนพบว่าตัวกรองฝอยเหล็กและปูนและทรายมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 61 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและปูนและทราย กราฟ (ก) เปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและปูนและทราย กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและปูนและทราย

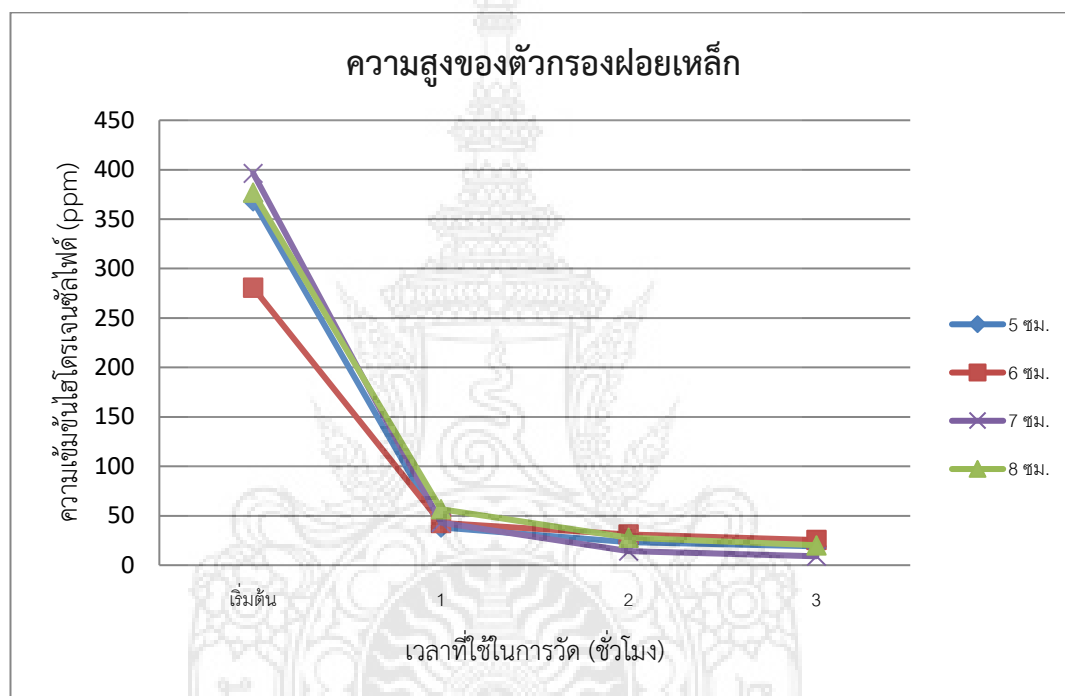
จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กด้วยตัวกรองฝอยเหล็กและแคลบ จากผลการทดลองที่หมักนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปล่อยก๊าซให้ผ่านตัวกรองฝอยเหล็กและแคลบจากด้านล่างด้านบน พบว่าตัวกรองฝอยเหล็กและแคลบมีความสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 48 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.11



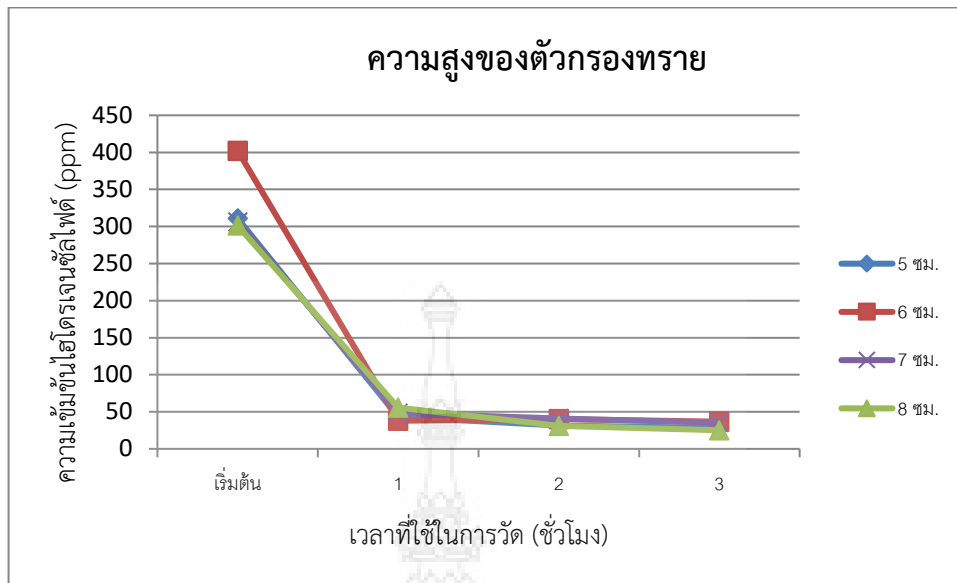
ภาพที่ 4.11 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและแคลบ กราฟ (ก) เปอร์เซ็นต์การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและแคลบ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กและแคลบ

4.1.2.4 การทดสอบความสูงของเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

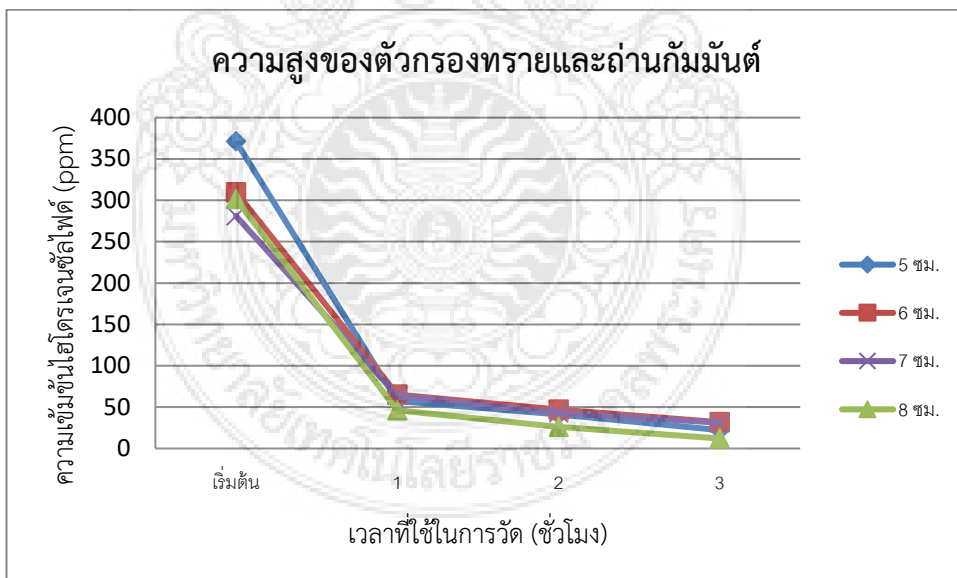
การทดสอบความสูงของเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นการหาขนาดของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการกรองขั้นต่อไป จากภาพที่ 4.12 และ 4.14 จะสังเกตเห็นได้ว่าความสูงที่คัดเลือกมาใช้กับตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะ 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ความสูงไม่มีผลต่อการกรอง เนื่องจากการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแต่ละระยะความสูงมีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.12 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองฝอยเหล็ก ที่ความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่หมักเป็นระยะเวลา 15 วัน



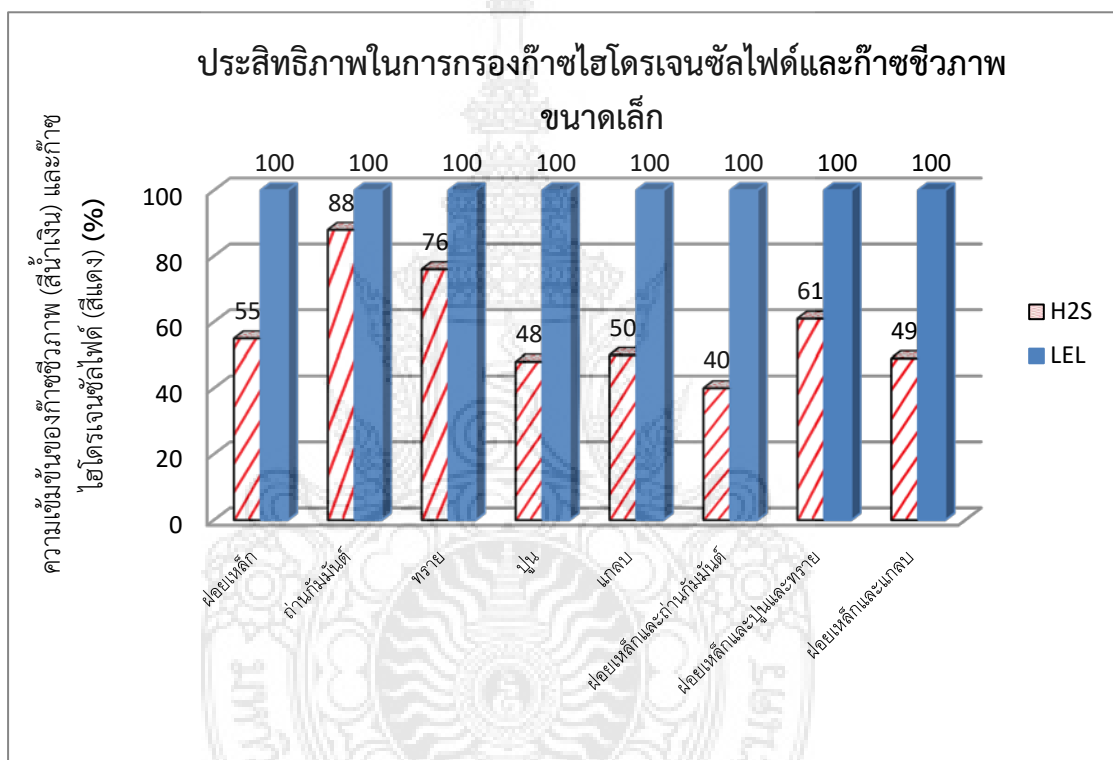
ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองทราย ที่ความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่หมักเป็นระยะเวลานาน 15 วัน



ภาพที่ 4.14 แผนภูมิแสดงความสามารถในการกรองของความสูงของตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ ที่ความสูง 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร ในการกรองก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ที่หมักเป็นระยะเวลานาน 15 วัน

4.1.2.5 สรุปผลการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในกระบวนการกรองขนาดเล็ก

จากกระบวนการกรองขนาดเล็กพบว่าชนิดตัวกรองและตัวกรองผสมมีความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4.15 โดยมีระยะเวลาเป็นตัวแปรสำคัญเนื่องจากตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละชนิดมีระยะเวลาในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เท่ากัน รวมถึงช่องว่างของวัสดุที่นำมาใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละชนิดที่แตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเพราะเมื่อตัวกรองมีความชื้นสูงจะทำให้ตัวกรองที่มีช่องว่างขนาดใหญ่เกิดการยุบตัว



ภาพที่ 4.15 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

จากการทดสอบความสูงที่ต่างกัน คือ 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าความสูงไม่มีผลต่อการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแต่ละระยะความสูงมีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมือนกัน

ดังนั้นขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก (ปริมาณ 1 ลิตร) ทางคณะผู้วิจัยได้พบว่าตัวกรองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์คือ ผอยเหล็กทราย และถ่านกัมมันต์คณะผู้วิจัยจึงเลือกตัวกรองทั้ง 3 ชนิดดังที่กล่าวมาเพื่อนำไปพัฒนาต่อในกระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางต่อไป

4.1.3 กระบวนการหมัก และกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

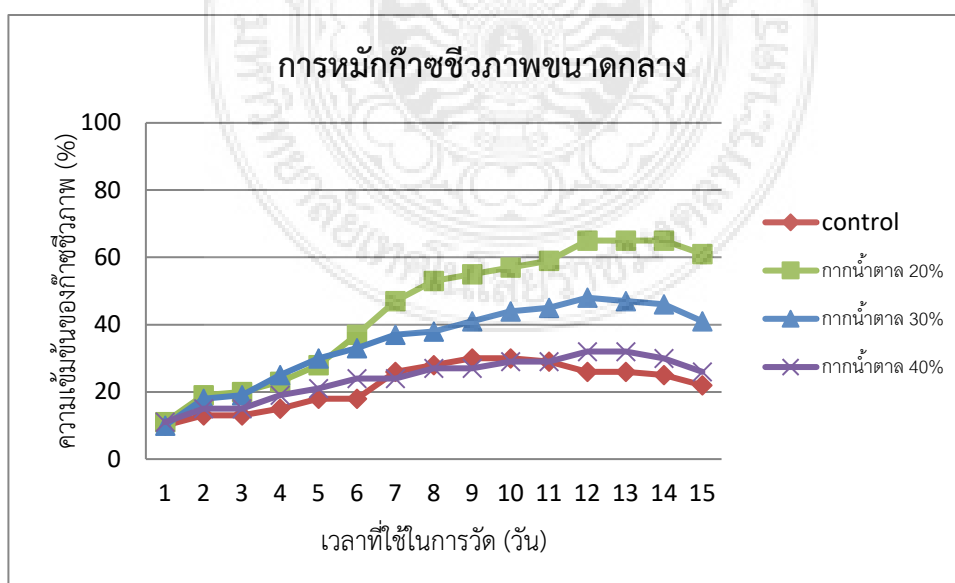
กระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง เป็นขั้นตอนของการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกรองแต่ละชนิด และอัตราการลดลงของก๊าซชีวภาพ โดยการใช้วัสดุในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งหมด 3 ชนิด คือ ทรายและถ่านกัมมันต์ ผอยเหล็ก และทราย ซึ่งมีกระบวนการที่ใช้น้ำเสียต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 18:2 ลิตร

จากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพในปริมาณ 20 ลิตร จำนวน 3 ขวดที่หมักเป็นระยะเวลาเวลานาน 15 วัน เพื่อทดสอบปริมาณกากน้ำตาลที่เหมาะสม แล้วทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่คัดเลือกมาทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณ 1000 กรัม ทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ ทุก 1.5 ชั่วโมงเพื่อคัดเลือกชนิดตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระยะเวลาเพิ่มขึ้น

4.1.3.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง

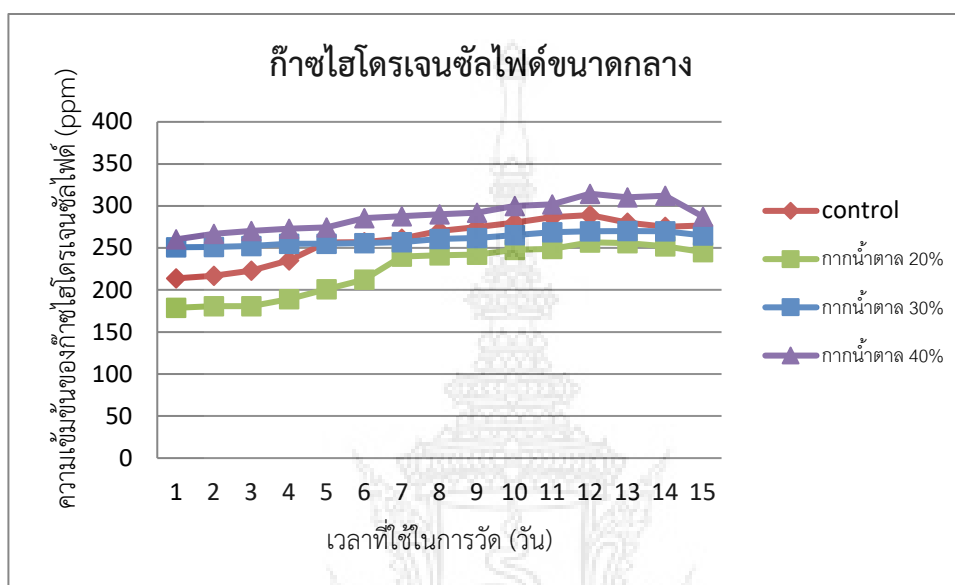
จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กได้ทดลองปริมาณกากน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางที่เหมาะสม โดยการใช้กากน้ำตาล หล้า และชานอ้อย สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของก๊าซชีวภาพและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย

เนื่องจากการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก พบว่าก๊าซชีวภาพสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่องเมื่อผ่านไป 7 วัน คณะผู้วิจัยจึงได้มีการปรับ C:N Ratio เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้แก่เชื้อจุลินทรีย์ โดยการเติมหล้าและชานอ้อยในปริมาณที่เท่ากัน และกากน้ำตาลในปริมาณ 20 30 และ 40 มิลลิลิตรลงไปในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อทดสอบปริมาณของกากน้ำตาลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.16 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน

จากการทดลองการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขนาดกลางในถังขนาด 20 ลิตร พบว่าเมื่อมีการปรับ C:N Ratio โดยใส่หญ้าและขานอ้อยในปริมาณที่เท่ากัน และกากน้ำตาล พบว่ากากน้ำตาลปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไปในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะส่งผลการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4.17 แผนภูมิแสดงแสดงถึงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน

จากการทดลองการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขนาดกลาง ในถังขนาด 20 ลิตร พบว่าเมื่อมีการปรับ C:N Ratio โดยใส่หญ้าและขานอ้อยในปริมาณที่เท่ากัน และกากน้ำตาล พบว่ากากน้ำตาลปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไปในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะส่งผลการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วัน

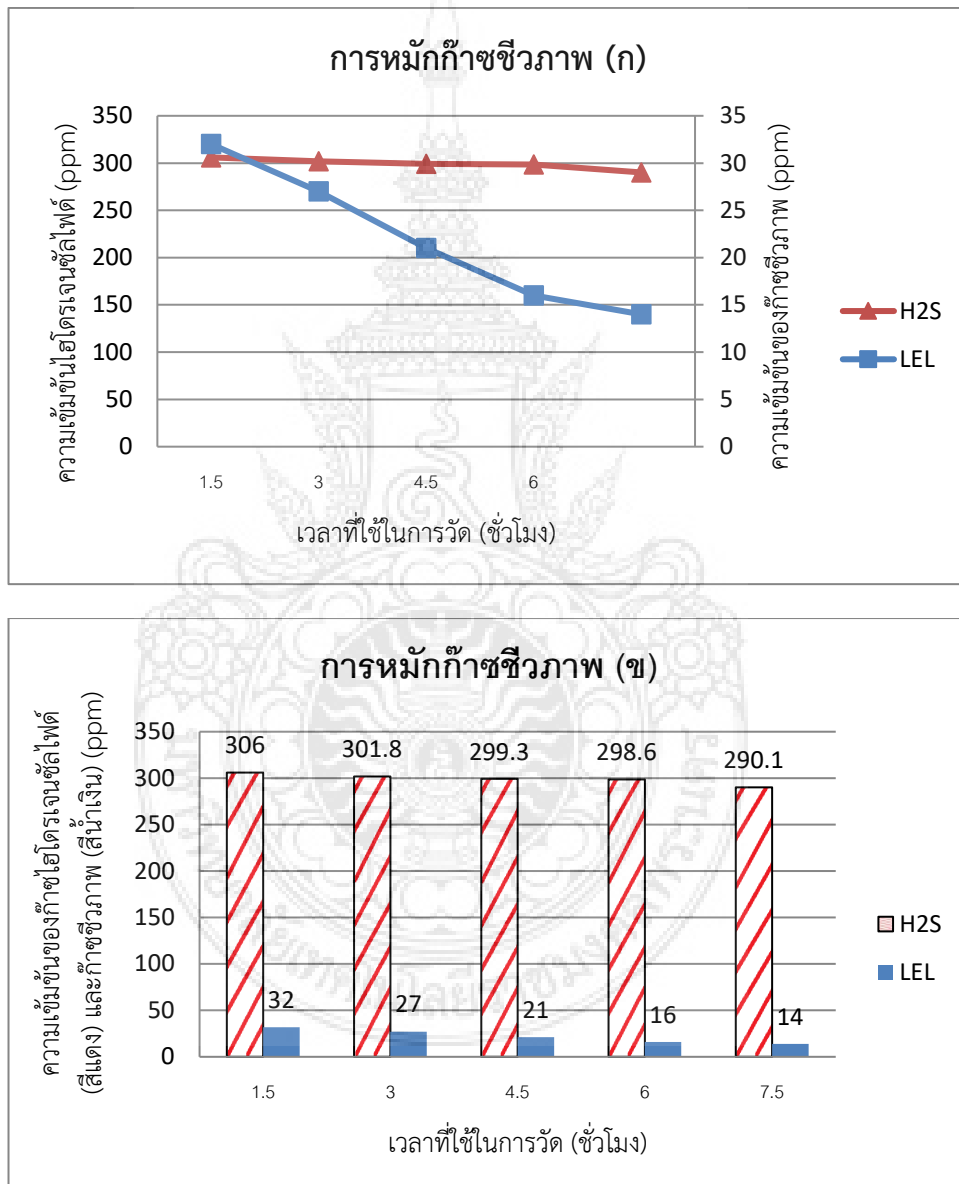
4.1.3.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

จากการทดลองกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ระยะเวลาในการกรองเพิ่มขึ้น เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพในการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยให้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผ่านตัวกรองจากด้านล่างขึ้นด้านบนซึ่งช่วยลดการสูญเสียของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในขณะที่ทำการวัดและเพื่อให้การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

โดยถึงควบคุมไม่ได้ผ่านตัวกรองแสดงถึงการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะที่ควบคุม การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง โดยเริ่มจากฝอยเหล็กมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในช่วงที่ 4 สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

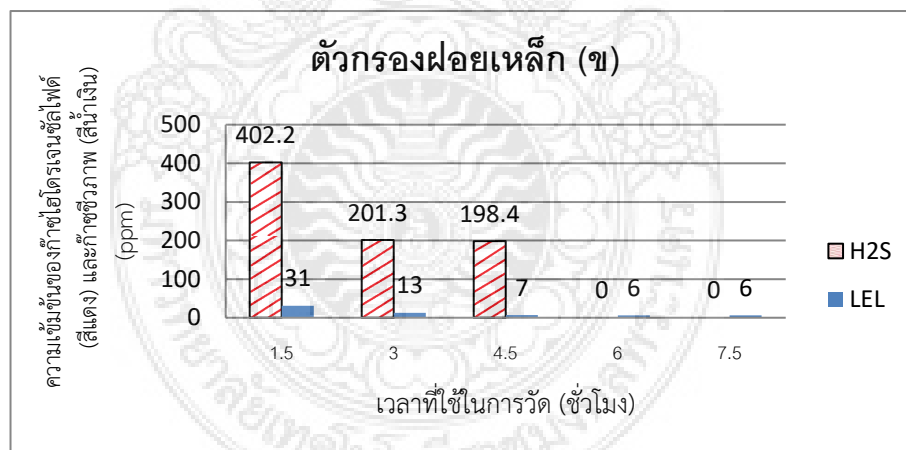
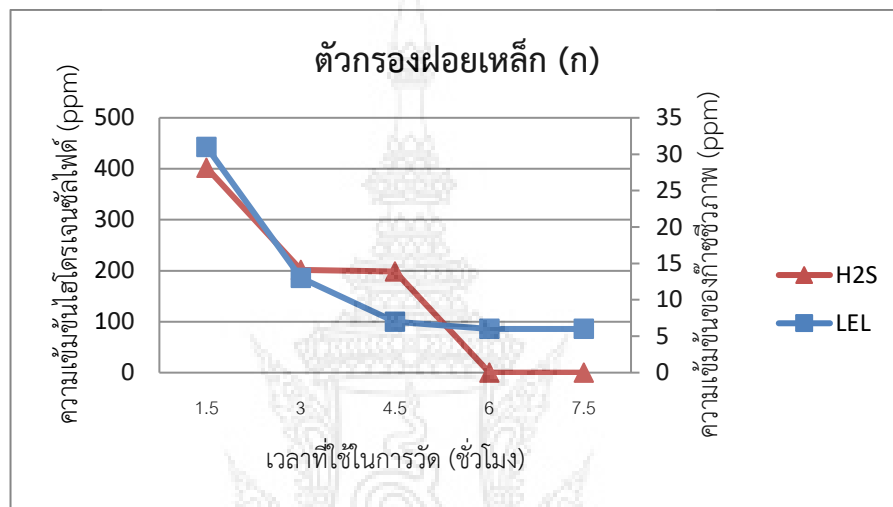
ตัวกรองทรายมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในช่วงที่ 4 สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 65 เปอร์เซ็นต์ ตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในช่วงที่ 5 สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสภาวะควบคุมในตัวควบคุมที่ไม่ผ่านตัวกรองนั้นค่าของก๊าซชีวภาพ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการลดลงอย่างต่อเนื่องอาจเกิดจากการสูญเสียหายไปของก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการวัดผลของก๊าซทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 4.18



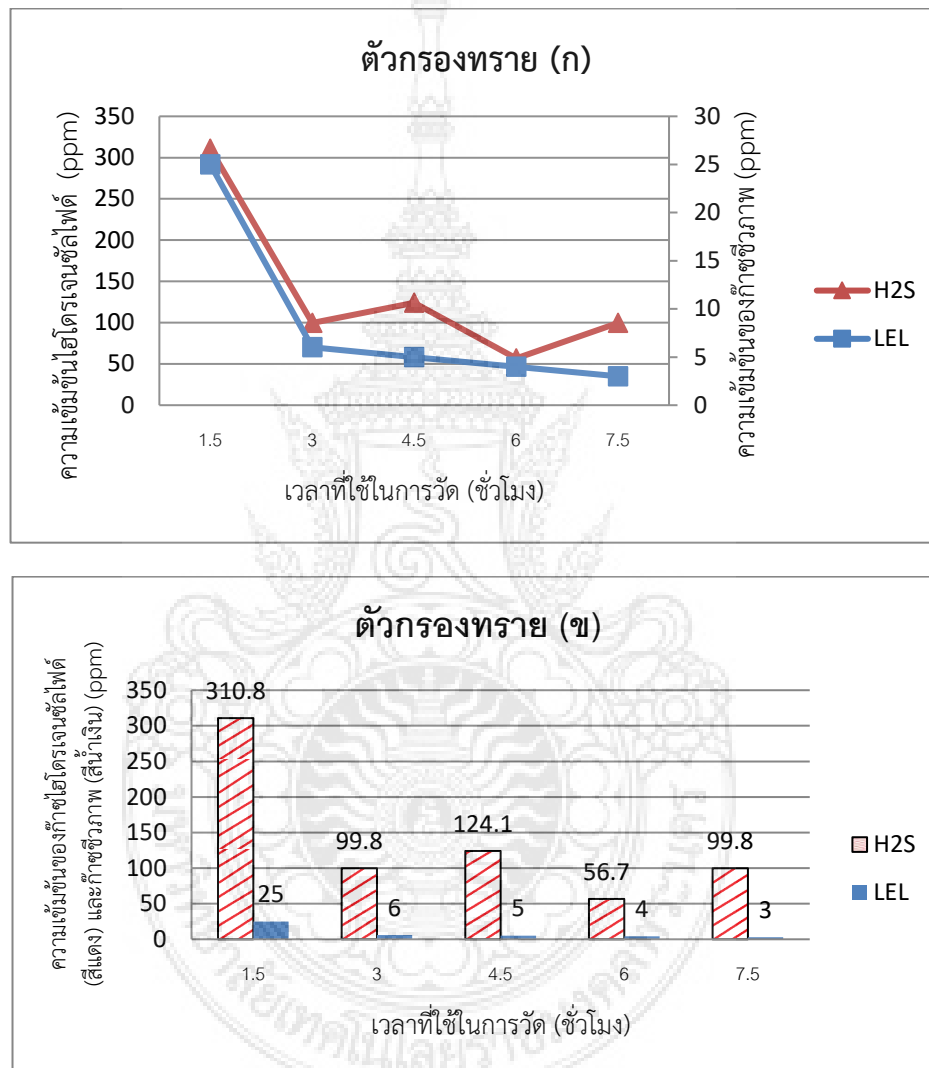
ภาพที่ 4.18 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพในสภาวะปกติในตัวควบคุมขนาดกลาง กราฟ (ก) ความเข้มข้นการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพ

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก จากผลการทดลองที่หมักก๊าซชีวภาพนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ โดยการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ผ่านตัวกรองฝอยเหล็กจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองฝอยเหล็กสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในช่วงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.18



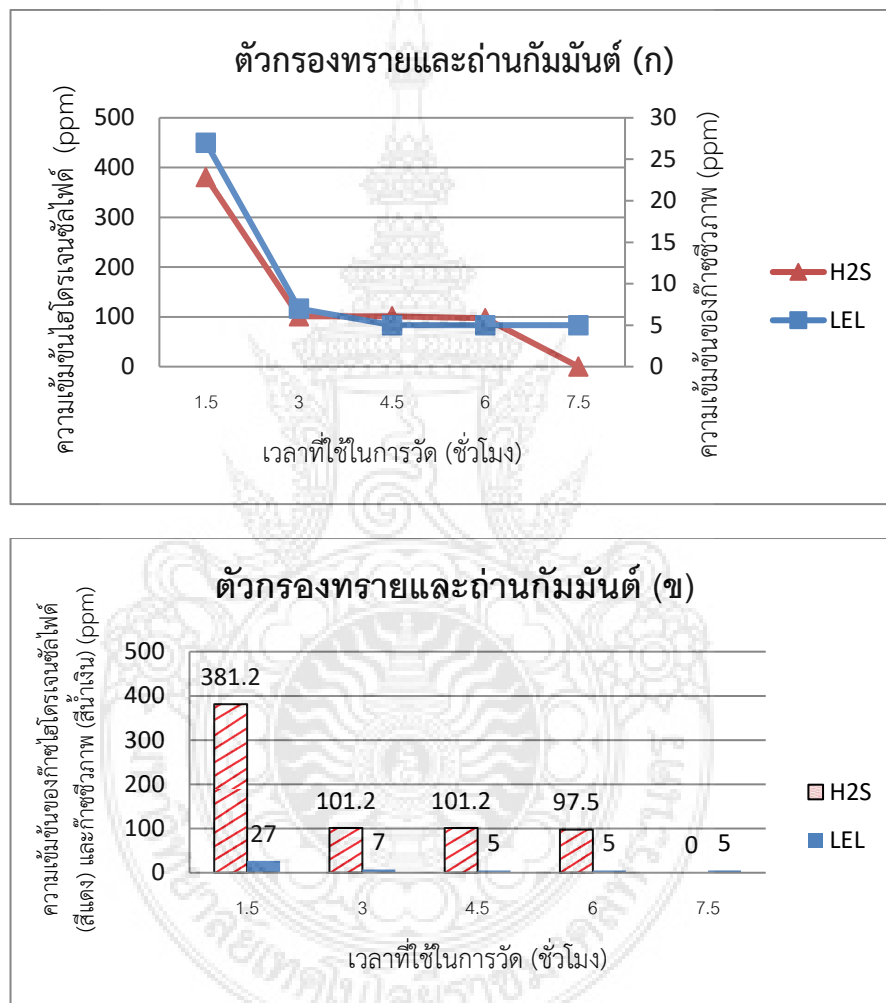
ภาพที่ 4.19 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองฝอยเหล็กขนาดกลาง กราฟ (ก) ความเข้มข้นการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก

จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางด้วยตัวกรองทราย จากผลการทดลองที่หมักก๊าซชีวภาพนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ โดยการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ผ่านตัวกรองชนิดทรายจากด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองทรายสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 65 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายขนาดกลาง กราฟ (ก) ความเข้มข้นการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยทราย กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยทราย

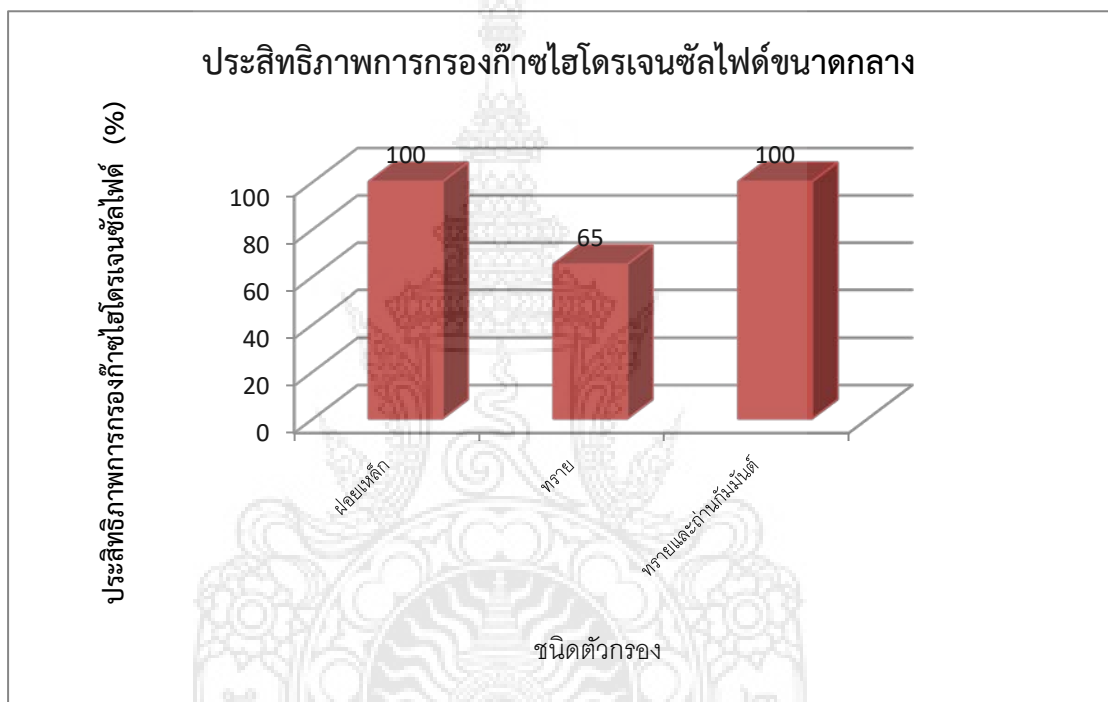
จากการทดลอง การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองที่หมักก๊าซชีวภาพนาน 15 วัน แล้วนำตัวอย่างมาทำการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ โดยการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ผ่านตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน พบว่าตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในชั่วโมงที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4.21



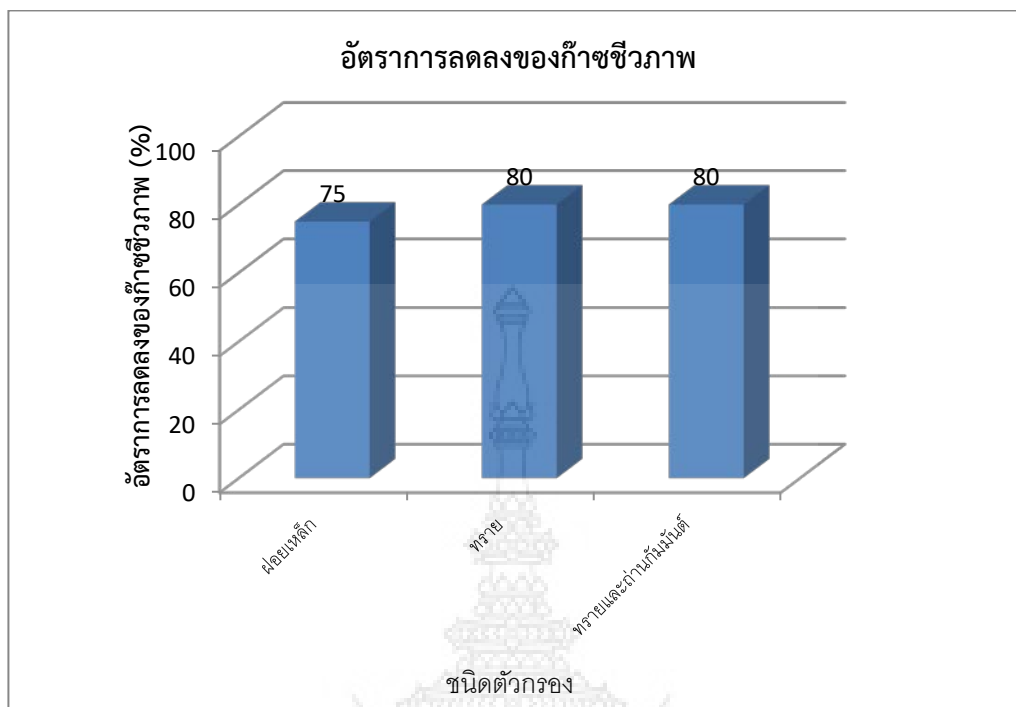
ภาพที่ 4.21 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ ขนาดกลาง กราฟ (ก) ความเข้มข้นการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยทรายและถ่านกัมมันต์ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยทรายและถ่านกัมมันต์

4.1.3.3 สรุปผลการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในกระบวนการกรองขนาดกลาง

จากภาพที่ 4.15 และ 4.20 จะแสดงถึงการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละชนิดและพบว่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นรวมถึงขนาดของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่ขึ้น (1.5 ลิตร) จะเพิ่มประสิทธิภาพในการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 65-100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.22 ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวกรองที่เหมาะสมในการกรองขนาดกลางคือ ตัวกรองฟลอยเหล็กและตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์และสามารถนำไปพัฒนาเป็นตัวกรองขนาดใหญ่ได้



ภาพที่ 4.22 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง



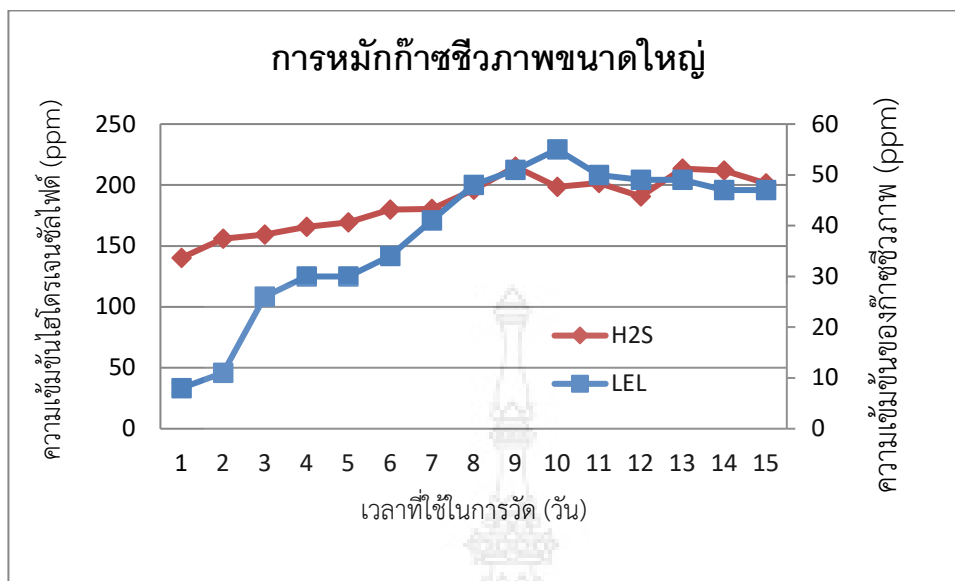
ภาพที่ 4.23 อัตราการลดลงของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

4.1.4 กระบวนการหมักและการกรองก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

4.1.4.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

จากการทดลองการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขนาดกลาง ได้มีการพัฒนาการหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร โดยทำการคัดเลือกการหมักก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง โดยใช้หญ้าและขานอ้อยในปริมาณที่เท่ากัน และใช้กากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์ของการหมัก แล้วทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน

จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ พบว่าก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณสูงสุด 55 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการหมักใช้หญ้าและขานอ้อยในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของการหมักก๊าซชีวภาพ และใช้กากน้ำตาลปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของการหมักก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.24 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ ที่ได้จาก การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางเป็นเวลานาน 15 วัน

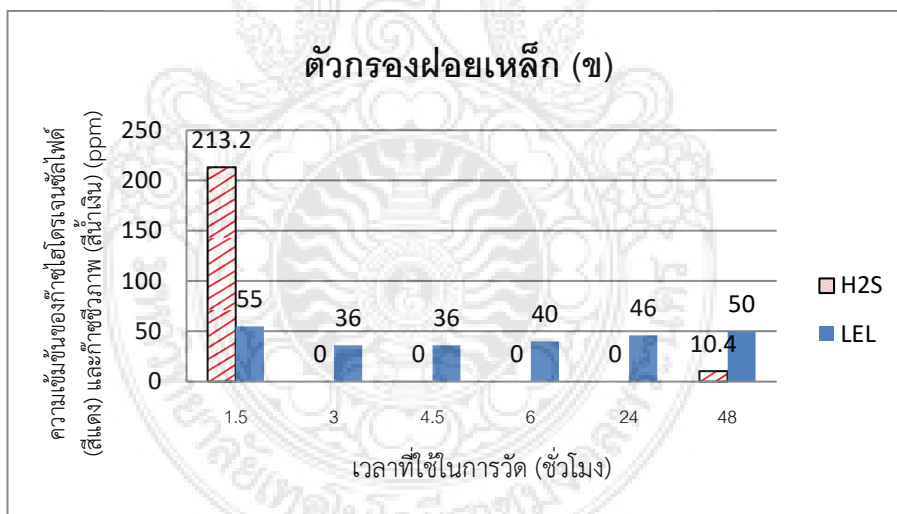
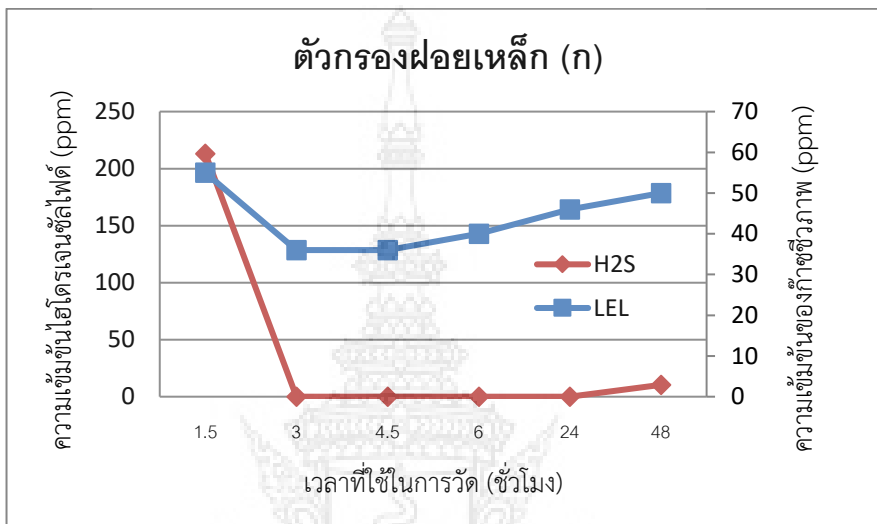
จากการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ในถังขนาด 200 ลิตร โดยใส่หญ้า และขานอ้อยลงไปในกระบวนการหมัก 5 เปอร์เซ็นต์ ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน พบว่า กากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์

4.1.4.2 กระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่เป็นขั้นตอนเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ได้ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพใน การลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร เนื่องด้วยใน การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางจึงได้พัฒนามาใช้ทดสอบการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดใหญ่ คณะผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกตัวกรองที่เหมาะสมมา 2 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก และทรายและ ถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 2,500 กรัม เพื่อทดสอบการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับถังขนาด 200 ลิตร ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1) การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก

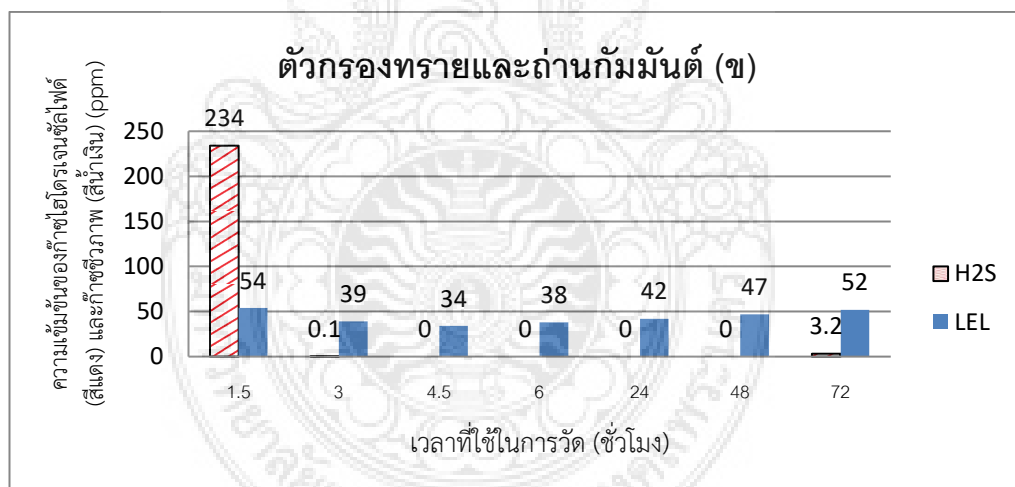
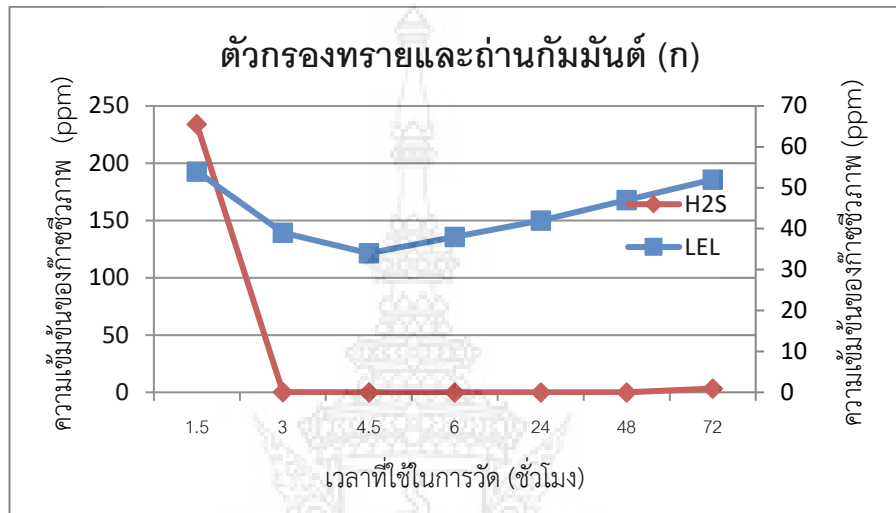
จากการหมักน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณการหมัก 200 ลิตรโดยทำการหมักไว้ในระยะเวลา 15 วันและทำการกรองด้วยฝอยเหล็กพบว่าตัวกรองฝอยเหล็กสามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ต่อเนื่องติดต่อกัน 48 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองฝอยเหล็ก กราฟ (ก) ความเข้มข้นการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็ก

2) การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์

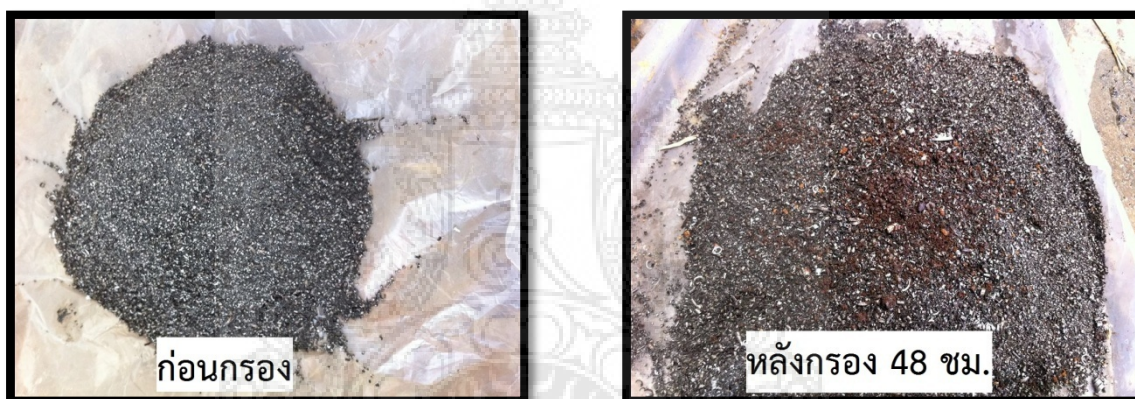
จากการหมักน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณการหมัก 200 ลิตรโดยทำการหมักไว้ในระยะเวลา 15 วันและทำการกรองด้วยทรายและถ่านกัมมันต์ พบว่าตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์สามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ต่อเนื่องติดต่อกัน 72 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4.26



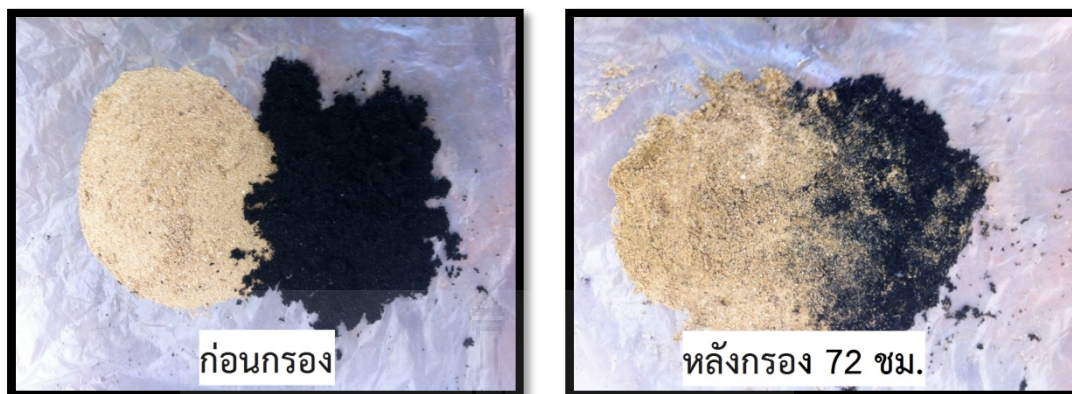
ภาพที่ 4.26 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน แล้วผ่านการกรองด้วยตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ กราฟ (ก) ความเข้มข้นการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองด้วยทรายและถ่านกัมมันต์ กราฟ (ข) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชีวภาพผ่านการกรองด้วยทรายและถ่านกัมมันต์

4.1.4.3 สรุปผลการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

จากขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่โดยใช้ตัวกรองฝอยเหล็ก และตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์พบว่าตัวกรองทั้งสองชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการกรองจับ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เท่ากัน คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทิ้งไว้ พบว่าตัวกรองฝอยเหล็กเกิดสนิม (ภาพที่ 4.27) เนื่องจากได้รับความชื้นจากไอน้ำและการกัดกร่อน ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ตัวกรองฝอยเหล็กสามารถกรองได้สูงสุดเพียง 48 ชั่วโมง และตัวกรอง ทรายและถ่านกัมมันต์สามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากในขณะกรองก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีไอน้ำเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้ตัวกรองเกิดความชื้น (ภาพที่ 4.28) และทำให้ ประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง โดยสามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 72 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.27 ลักษณะของฝอยเหล็กก่อนกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และหลังกรองก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.28 ลักษณะของทรายและถ่านกัมมันต์ก่อนกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และหลังกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 48 ชั่วโมง

4.2 อภิปรายผล

จากการทดลองกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยมีการคัดเลือกวัสดุทั้งหมด 5 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ ทราย ปูน และแกลบ ในขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กตัวกรองที่เหมาะสมคือ ฝอยเหล็ก ทรายและถ่านกัมมันต์ เนื่องจากตัวกรองทั้ง 3 ชนิดสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด เมื่อพัฒนากระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกระบวนการกรองขนาดกลางพบว่าตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมคือ ฝอยเหล็ก และทรายและถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มากขึ้นจะทำให้ตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้นจากนั้นคัดเลือกตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูงที่สุดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่โดยตัวกรองที่เหมาะสมคือ ตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เท่ากันคือ 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ติดต่อกัน 72 ชั่วโมง โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำการชีวภาพมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกโดยใช้ตัวกรองทรายและถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อช่วยให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ขึ้นและช่วยลดปัญหาการเกิดการผุกร่อนของอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ที่ทำจากโลหะได้

จากการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก โดยทำการใส่กากน้ำตาลในปริมาณที่ต่างกันลงไปในการหมัก ในขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กปริมาณกากน้ำตาลที่เหมาะสม คือ 30 มิลลิลิตร เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพได้ถึง 71.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพัฒนาการหมักก๊าซชีวภาพเป็นขนาดกลาง โดยใส่หญ้าและขาน้อยลงไปในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยกากน้ำตาลที่เหมาะสมที่สุดคือ กากน้ำตาล

20 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพัฒนากระบวนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ การใส่หญ้าและขานอ้อยลงไป
ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ 5 เปอร์เซ็นต์ และใส่กากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มปริมาณ
ก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาเรื่องการพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมัก มีขั้นตอนหลักเพื่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เริ่มขั้นตอนแรกด้วยการหมักก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการใช้น้ำเสียจากโรงงานที่มีแหล่งคาร์บอนเป็นหลักมาเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้เชื้อเหล่านี้สร้างก๊าซชีวภาพ แต่ทั้งนี้ในการหมักก๊าซชีวภาพนี้จะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนในระบบ ดังนั้นในขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้ทดลองใช้สารตัวกรองธรรมชาติที่หาได้ง่าย ราคาถูก ที่เคยมีรายงานวิจัยว่าสามารถช่วยกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ โดยได้เลือกตัวกรองจากวัสดุทั้งหมด 5 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ ททราย แกลบ และปูน มาพัฒนาในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีการศึกษาที่ดูทั้งปริมาณ ความสูงของตัวกรอง และระยะเวลาที่สามารถใช้ในการกรองของตัวกรองแต่ละชนิด โดยเน้นความมีประสิทธิภาพ ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกได้ 60-80 เปอร์เซ็นต์ และยังคงได้ก๊าซชีวภาพหลังจากการกรองอย่างน้อย 50-70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทีมผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

- 5.1 ชนิดและความเหมาะสมของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
 - 5.1.1 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก
 - 5.1.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลาง
 - 5.1.3 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใหญ่
- 5.2 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ
 - 5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้
 - 5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัยนี้ในครั้งต่อไป

5.1 ชนิดและความเหมาะสมของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

5.1.1 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

จากการพัฒนาการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก โดยการใช้ตัวกรองจากวัสดุทั้งหมด 5 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ ททราย แกลบ และปูนทำให้สามารถสรุปได้ว่า ชนิดตัวกรองมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในขั้นตอนการกรองขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ทำการควบคุมการกรองด้วยการชั่งน้ำหนักของตัวกรองให้มีน้ำหนักที่เท่ากัน คือ 10 กรัม และทำการตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ ทุก 1 ชั่วโมง พบว่าการกรอง

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นไปอย่างรวดเร็วและเริ่มช้าลงในชั่วโมงที่ 4 และระยะเวลาในกระบวนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งต้องใช้เวลาในการกรองเพิ่มขึ้น

5.1.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลาง

ขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางโดยคัดเลือกชนิดตัวกรองที่เหมาะสมในขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กมา 3 ชนิด คือ ทรายและถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็ก และทราย ผู้วิจัยได้ทำการควบคุมในเรื่องของความสูง และระยะเวลาในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเพิ่มระยะเวลาการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 1.5 ชั่วโมง พบว่าการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวกรองฝอยเหล็ก และทรายและถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าทราย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมด้วย

5.1.3 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใหญ่

5.1.3.1 ขั้นตอนการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่โดยทำการคัดเลือกจากตัวกรองที่เหมาะสมในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางมา 2 ชนิด คือ ทรายและถ่านกัมมันต์ และฝอยเหล็ก โดยการพัฒนามาเป็นถึงขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริง พบว่าตัวกรองฝอยเหล็ก มีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ตัวกรองฝอยเหล็กจะเกิดสนิม เนื่องจากได้รับไอน้ำจากการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้ประสิทธิภาพของตัวกรองฝอยเหล็กลดลง และตัวกรอง ทรายและถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงลดลง เนื่องจากได้รับไอน้ำจากการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้ตัวกรองเกิดความชื้น

5.1.3.2 ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพโดยการเพิ่มอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับเชื้อจุลินทรีย์โดยการใส่หญ้าและขานอ้อยในปริมาณอย่างละ 5 เปอร์เซ็นต์ และใส่กากน้ำตาลในปริมาณที่ต่างกัน ในขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก (ไม่ใส่หญ้าและขานอ้อย) กากน้ำตาล 30 เปอร์เซ็นต์ (1 ลิตร) สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 71.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน กากน้ำตาล 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้แต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของเชื้อจุลินทรีย์ และการหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง (20 ลิตร) กากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ 65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากน้ำตาล 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ยังคงมีปริมาณกากน้ำตาลที่มากเกินไป และยังได้กากน้ำตาลจากขานอ้อย ทำให้กากน้ำตาลมีปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็นของเชื้อจุลินทรีย์ และการหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ (200 ลิตร) สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ 55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใส่

หญ้า ขานอ้อย และกากน้ำตาลลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพสามารถช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักได้

5.2 ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักในครั้งนี้ ผู้วิจัยนำเสนอปัญหาข้อแก้ปรับปรุง และเพื่อใช้เป็นแนวทางในงานวิจัยในอนาคตต่อไป โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้

5.2.1.1 จากการศึกษากระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ โดยใช้เชื้อและน้ำเสียจากบริษัท เสริมสุข (จำกัด) มหาชน โรงงานปทุมธานี โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการเติมกากน้ำตาลให้เป็นแหล่งคาร์บอนแก่เชื้อจุลินทรีย์ พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

5.2.1.2 จากการศึกษาการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของตัวกรองจากวัสดุทั้งหมด 5 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการกรอง ซึ่งเมื่อทำการตรวจวัดบ่อยครั้งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงได้

5.2.1.3 ในการกรองขนาดกลาง (ปริมาณ 20 ลิตร) และขนาดใหญ่ (ปริมาณ 200 ลิตร) เมื่อกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าตัวกรองเหมาะสม คือ ทรายและถ่านกัมมันต์เหมาะแก่การนำมาใช้ในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และในการกรองมีการสูญเสียก๊าซชีวภาพในระหว่างการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วงที่ 3-7.5 ทั้งนี้เนื่องจากการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องมีการปรับสภาพให้มีการลดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพที่สูญเสียไปกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้เครื่องกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหมาะสมกับการกรองขนาดใหญ่และต้องมีการป้องกันการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ ในขณะที่กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จำเป็นต้องควบคุมให้ดีขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัยนี้ในครั้งต่อไป

5.2.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหมักก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และลดการสูญเสียของก๊าซชีวภาพให้น้อยที่สุด

5.2.2.2 ควรปรับเปลี่ยนชนิดของตัวกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ วิธีการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขนาดของตัวกรองและวัสดุที่นำมาหมักก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ดียิ่งขึ้น

5.2.2.3 ควรเพิ่มระยะเวลาในการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพในการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. “ก๊าซชีวภาพคืออะไร”. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ วันที่ 3 ตุลาคม 2556. เข้าถึงได้จาก <http://greenenergy.ete.eng.cmu.ac.th/showtech2.php?tid=1>
- กฤษ ศรีบุญเรือง และสมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์. 2556. “การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยใช้ปฏิกิริยาการดูดซับ และการดูดซึมทางเคมี.” การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 29. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. หน้า ST1166-ST1170.
- กฤตภาส สิงคบุตร และคณะ. 2554. “การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย”. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 (3) : 26-32.
- จิราภรณ์ วงศ์สุวรรณ. 2556. “การดูดซับ และการแลกเปลี่ยนไอออน”. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร. คณะเทคโนโลยีเกษตรและอาหาร.
- จักรกฤษณ์ อัมพูช และฉัตรชัย กัญญาวุธ. 2551. “กระบวนการดูดซับขั้นสูง(Advanced Adsorption Processes)”. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- จักรวาล บัณฑิต. 2554. “การผลิตปุ๋ยซีเมนต์”. สืบค้นเมื่อ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557 เข้าถึงได้จาก http://www.ebuild.co.th/article.php?g_id=3&article_id=43
- ทวีทรัพย์ จิตติวัฒนานุกุล. 2552. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเหล็ก. กรุงเทพมหานคร: จี สตีล.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. 2554. “การเตรียมถ่านกัมมันต์จากต้นปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ในฟลูอิดไธซ์เบด.” คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภาพร พานิช และคณะ. มปป. “การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์”. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บรรเจิด แสงจันทร์, กอบสิน ทวีสิน และ นุชธนา พูลทอง. 2547. “การเปรียบเทียบคุณสมบัติทรายหล่อของแต่ละแห่งในประเทศไทย”. วารสารวิจัย และพัฒนา มจร. 24 (1) : 57-68.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- พรพจน์ ศรีสุขชยะกุล. 2556. “อาร์คิจุลินทรีย์สายพันธุ์แกร่ง”. ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. “Mesophilic Bacteria/แบคทีเรียที่อุณหภูมิปานกลาง”. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557 เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0198/mesophilic-bacteria>
- พิสิทธิ์ ซีรติลก. 2547. “การจัดการทรัพยากรทรายเป็นแห่งประเทศไทย”. การประชุมสัมมนา ณ ห้องประชุมกรมทรัพยากรธรณี. หน้า 9.
- วงศ์วิวรรธ ธนุศิลป์ และสุนันทา เลาว์ณย์ศิริ. 2555. “การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ โดยใช้ ถ่าน กัมมันต์ และ เหล็ก ” การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. หน้า 419.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน. 2552. “เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ – ก๊าซชีวภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์”. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557. เข้าถึงได้จาก http://biogas.erd.or.th/biogasTech_sub_adv.php
- สมพงษ์ ใจมา. 2549. “แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน”. เกษตรกรรมธรรมชาติ. ฉบับที่ 9. หน้า 55-58.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์, งามอาจ ส่องสี และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2555. “การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน.” แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 2. หน้า 201-204
- สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล. 2556. “การป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก”. วิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันติพงษ์ ปิตตฤกษ์ดี. 2557. “ปูนซีเมนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม”. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ วันที่ 22 พฤษภาคม 2557 เข้าถึงได้จาก <http://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0111>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

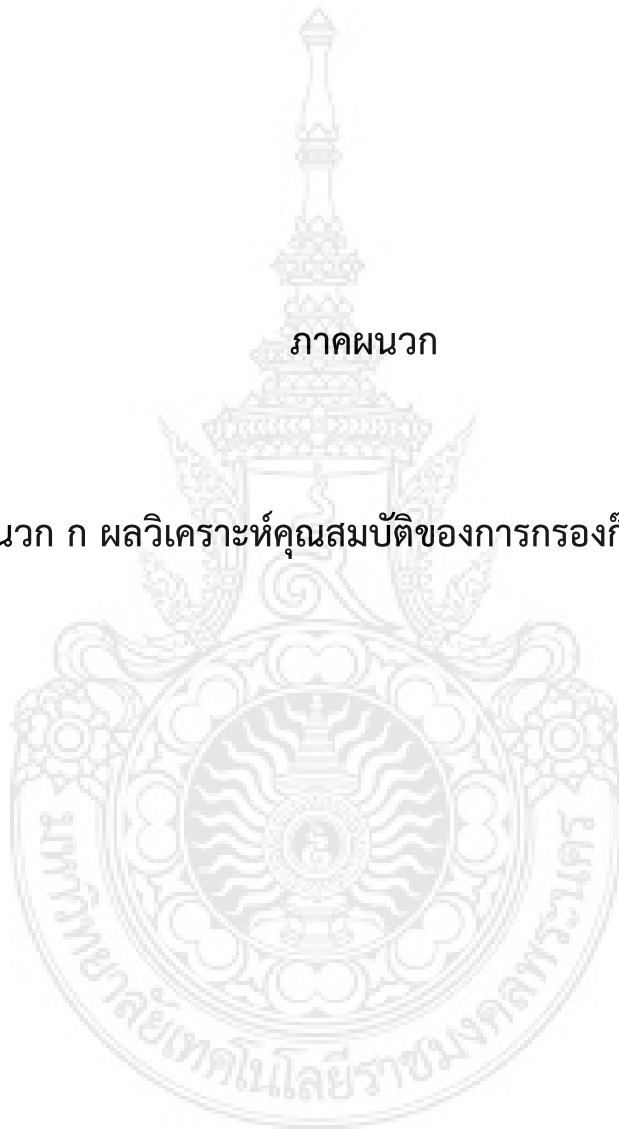
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. “โครงการจัดทำคู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้า ในพื้นที่อันตรายที่มีไอระเหยของสารไวไฟ”. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักวิจัยพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2557. “ผลิตภัณฑ์จากแกลบ”. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ วันที่ 22 พฤษภาคม 2557 เข้าถึงได้จาก <http://www.brrd.in.th/rkb/product/index.php-file=content.php&id=14.htm>
- อานัฐ ตันโซ. 2551. “เกษตรธรรมชาติประยุกต์ : แนวคิด หลักการ เทคนิคการปฏิบัติในประเทศไทย”. (พิมพ์ครั้งที่ 2). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อาริยา วิรัชวรกุล. 2546. “การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน”. ภาควิชาจุลชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Pradyot Patnaik. 2002. “Handbook of Inorganic Chemicals”.
- Siefers, Andrea. 2010. “ A novel and cost-effective hydrogen sulfide removal technology using tire derived rubber particles (MS thesis).” Iowa State University.
- Jay A. Brown. 2008. “ Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases”.
- Friendly fuel trains. 2005. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://th.wikipedia.org/wiki>, 27 กุมภาพันธ์ 2557.
- Diaz E (editor). 2008. “Microbial Biodegradation: Genomics andMolecular Biology.” Caister Academic Press.
- Ngah, W.S. and Hanafiah. 2008. “ Removal of heavy metal from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review.” *Bioresource Technology*. 99, 3935-3948

ภาคผนวก



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณสมบัติของการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1. ผลการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพและการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

1.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

ตาราง ก.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

วันที่	Control	กากน้ำตาล 10%	กากน้ำตาล 20%	กากน้ำตาล 30%
	%LEL	%LEL	%LEL	%LEL
1	27	14	13	16
2	28	15	15	18
3	28	20	21	38
4	28	32	37	50
5	28	37	49	57
6	28	45	56.7	64
7	29	45	56.7	71.5

1.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ตาราง ก.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวควบคุม

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	17.5	379.2	38
2	18.2	351.2	30
3	19	320.2	24
4	19	295.2	22
5	20	256.9	18
6	20	233.6	16

ตาราง ก.3 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองเหล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.8	20	0
2	20.8	13	0
3	20.8	14.3	0
4	20.8	9	0
5	20.8	15.8	0
6	20.7	14.5	0

ตาราง ก.4 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองถ่านกัมมันต์

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.9	14.2	0
2	20.8	14.7	0
3	20.8	9.1	0
4	20.8	6.6	0
5	20.8	1.7	0
6	20.8	11.5	0

ตาราง ก.5 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองทราย

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.8	7.1	0
2	20.8	3.1	0
3	20.9	1.9	0
4	20.9	1.9	0
5	20.8	1.7	0
6	20.8	2.1	0

ตาราง ก.6 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองปูน

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.9	11	0
2	20.8	4.1	0
3	20.9	5.6	0
4	20.9	1.1	0
5	20.8	7	0
6	20.8	5.9	0

ตาราง ก.7 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองแกลบ

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.8	15.6	0
2	20.8	1	0
3	20.8	3.9	0
4	20.8	5	0
5	20.7	5.2	0
6	20.8	4.8	0

ตาราง ก.8 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองเหล็กผสมถ่านกัมมันต์

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.9	10.8	0
2	20.7	5.7	0
3	20.7	5.5	0
4	20.8	1.9	0
5	20.8	6.5	0
6	20.8	1.6	0

ตาราง ก.9 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองเหล็กผสมปูนผสมทราย

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.9	10.8	0
2	20.8	1.8	0
3	20.8	3.7	0
4	20.8	2.7	0
5	20.8	9.6	0
6	20.8	4.2	0

ตาราง ก.10 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็กของตัวกรองเหล็กผสมแกลบ

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.8	14	0
2	20.8	7.8	0
3	20.8	7.5	0
4	20.8	4.4	0
5	20.8	7.7	0
6	20.7	7.2	0

1.3 การกรองความสูงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ตาราง ก.11 การกรองความสูง 5 เซนติเมตร ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20	38.2	10
2	20	23.2	8
3	20	19.1	6

ตาราง ก.12 การกรองความสูง 6 เซนติเมตร ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20	42.7	10
2	20.7	31.2	5
3	20.7	25.4	3

ตาราง ก.13 การกรองความสูง 7 เซนติเมตร ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20	43.2	8
2	20.5	14.2	5
3	20.4	9	3

ตาราง ก.14 การกรองความสูง 8 เซนติเมตร ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดเล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20	56.7	7
2	20	27.8	5
3	20	20.2	4

2. ผลการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพและการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

2.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลาง

ตาราง ก.15 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางของถังควบคุม

วันที่	H ₂ S	%LEL
1	213.8	10
2	216.9	13
3	223	13
4	235.4	15
5	256.7	18
6	257	18
7	261.2	26
8	270.1	28

9	274.9	30
10	280.1	30
11	286.8	29
12	289.1	26
13	280.1	26
14	275.3	25
15	276.8	22

ตาราง ก.16 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางถึงที่มีกากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์

วันที่	H ₂ S	%LEL
1	178.8	11
2	180.7	19
3	180.9	20
4	189	23
5	201.1	28
6	212.3	37
7	239.7	47
8	241.3	53
9	242	55
10	247.8	57
11	249.1	59
12	256.7	65
13	255.9	65
14	252.1	65
15	245.2	61

ตาราง ก.17 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางถึงที่มีกากน้ำตาล 30 เปอร์เซ็นต์

วันที่	H ₂ S	%LEL
1	250.8	10
2	251.1	18
3	252.4	19
4	254.9	25
5	255.1	30
6	255.8	33
7	256.9	37
8	260.9	38
9	261.7	41
10	265.2	44
11	268.8	45
12	270	48
13	270.1	47
14	269.9	46
15	265	41

ตาราง ก.18 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดกลางถึงที่มีกากน้ำตาล 40 เปอร์เซ็นต์

วันที่	H ₂ S	%LEL
1	260.2	11
2	267	15
3	270.3	15
4	273.1	19
5	274.4	21
6	285.6	24
7	287.9	24
8	290.2	27
9	291.8	27
10	299.9	29
11	302	29
12	314.5	32
13	310.2	32
14	312	30
15	287.5	26

2.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลาง

ตาราง ก.19 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางของถังควบคุม

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.2	306	32
2	20.8	301.8	27
3	20.2	299.3	21
4	20.8	298.6	16
5	20.5	290.1	14

ตาราง ก.20 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางของตัวกรองหลัก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.5	402.2	31
2	20.1	201.3	13
3	20.7	198.4	7
4	20.7	0	6
5	20.5	0	6

ตาราง ก.21 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางของตัวกรองทราย

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.1	310.8	25
2	20.5	99.8	6
3	20.7	124.1	5
4	20.1	56.7	4
5	20.7	99.8	3

ตาราง ก.22 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดกลางของตัวกรองทรายผสมถ่านกัมมันต์

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1	20.4	381.2	27
2	20.5	101.2	7
3	20.7	101.2	5
4	20.6	97.5	5
5	20.7	0	5

3. ผลการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพและการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

3.1 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

ตาราง ก.23 การหมักก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่

วันที่	H ₂ S	%LEL
1	140.2	8
2	156	11
3	159.4	26
4	165.6	30
5	169.3	30
6	179.8	34
7	180.3	41
8	196	48
9	215	51
10	198.4	55
11	201.6	50
12	190.7	49
13	213.5	49
14	211.8	47
15	201.5	47

3.2 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่

ตาราง ก.24 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่ของตัวกรองเหล็ก

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1.5	20.9	213.2	55
3	20.9	0	36
4.5	20.3	0	36
6	20.2	0	40
24	20.1	0	46
48	20.1	10.4	50

ตาราง ก.25 การกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาดใหญ่ของตัวกรองทรายผสมถ่านกัมมันต์

ชั่วโมง	O ₂	H ₂ S	%LEL
1.5	20.7	234	54
3	20.6	0.1	39
4.5	20.3	0	34
6	20.1	0	38
24	20.1	0	42
48	19.9	0	47
72	20.2	3.2	52

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพรรณวิภา เพ็ญเกิด
วัน เดือน ปีเกิด 13 มีนาคม 2535
ภูมิลำเนา อำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม จังหวัดนนทบุรี พ.ศ. 2552
ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2556

ทุนการศึกษา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณิกานต์ ชนินทรเทพ
วัน เดือน ปีเกิด 6 ตุลาคม 2534
ภูมิลำเนา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนศรีราษฎร์ จังหวัดชุมพร พ.ศ. 2552
ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2556

ทุนการศึกษา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวผุสดี ลีกระจ่าง
 วัน เดือน ปีเกิด 11 กุมภาพันธ์ 2535
 ภูมิลำเนา เขตหลักสี่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง จังหวัดกรุงเทพฯ พ.ศ. 2552
 ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2556

ทุนการศึกษา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่
 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

