ผลของสารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงในก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเอทานอล

Effect of Ammonium Sulfate Nutrition on Removal Efficiency of High Concentrated H_2S in Biogas from Wastewater of Ethanol Industry

พุฒิสรรค์ ทับเปลี่ยน[1*] รสสุคนธ์ จะวะนะ[2] และพฤกษ์ อักกะรังสี[3]

Putthisan Tubplian[1*], Rotsukon Jawana[2] and Pruk Aggarangsi[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO4$) ในกลุ่มจุลินทรีย์ CM2(SOB) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่สภาพความเป็นด่างทั้งหมดเท่ากับ 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำการป้อนก๊าซชีวภาพเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ปริมาณ 650-700 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง การทำงานของถังปฏิกรณ์ประกอบไปด้วย 2 กระบวนการคือ กระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีวภาพ กำหนดให้อัตราการไหลของสารตัวกลางในระบบ 0.8 ลิตรต่อนาที พบว่าเมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตที่ 0 500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 97.0 ± 1.6 97.2 ± 2.3 และ 95.6 ± 2.9 แสดงให้เห็นว่าสารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟตไม่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากค่าพีเอชของสารตัวกลางในระบบที่ลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังปฏิกรณ์เคมี

คำสำคัญ: การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซชีวภาพ สารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟต

Abstract

The objective of the study is to investigate ammonium sulfate nutrient ($(NH_4)_2SO4$) in bacteria CM2 (SOB) for the removal efficiency of hydrogen sulfide (H_2S) in sodium hydroxide (NaOH) solution

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

[2] นักวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50100

[3] ผศ., ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

[1] Graduate Student, Master of Engineering Program, Department of Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 50200, Thailand

[2] Researcher, Energy Research and Development Institute – Nakornping, Chiang Mai University, 50100, Thailand

[3] Asst. Prof., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 50200, Thailand

* Correspondent author: peetubplian@gmail.com Tel.: 087-7280690

(Received: March 23, 2020; Revised: May 7, 2020; Accepted: May 21, 2020)

as working media.An alkalinity level of 12,000 mg l^{-1} as calcium carbonate is controlled to compare the removal efficiency of H_2S at loading rate between 650–700 g-H_2S $dm^{-3}h^{-1}$. The reactor is setup to have a two-stage chemical and biological process with liquid mass flow rate at 0.8 dm^3min^{-1}. The result indicates that addition of ammonium sulfate 0, 500 and 2,000 mg l^{-1} the removal efficiency H_2S is 97.0 ± 1.6, 97.2 ± 2.3 and 95.6 ± 2.9 %. It shows that ammonium sulfate does not improve removal efficiency of H_2S due to the decrease in pH value of NaOH, which is an important factor for absorbing H_2S in the chemical reactor.

Keywords: Hydrogen Sulfide Removal, Biogas, Ammonium Sulfate Nutrition

บทนำ

การขยายตัวของอุตสาหกรรมเอทานอลในอนาคตอาจส่งผลให้เกิดน้ำเสียหรือของเสียเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก [1] ซึ่งน้ำเสียหรือกากส่าเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเอทานอลสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วยก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทน (Methanogens) จึงได้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่มีคาร์บอนสมดุล (Carbon Neutral) ซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [2] ทำให้เป็นแรงผลักดันที่สำคัญในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน [3] อย่างแพร่หลาย โดยก๊าซชีวภาพสามารถนำไปเผาให้ความร้อนโดยตรงหรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยก๊าซสองชนิดหลังนั้นเป็นก๊าซไม่พึงประสงค์จึงต้องมีการบำบัดก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซพิษ ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายไข่เน่าเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดซึ่งสามารถกัดกร่อนผิวโลหะของเครื่องยนต์และระบบท่อส่งก๊าซ รวมทั้งส่งผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดออกก่อนที่จะนำไปใช้งาน

กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีอยู่หลายกระบวนการ เช่น กระบวนการทางกายภาพ (Physical Process) กระบวนการทางเคมี (Chemical Process) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Process) และกระบวนการทางเคมีและชีวภาพร่วม [4] ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป [5] วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งคือ กระบวนการทางเคมีและชีวภาพร่วม (Combined Chemical and Biological Process) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถเวียนสารละลายตัวกลางนำกลับมาใช้ใหม่ (Regenerated) ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการใช้สารเคมีได้อีกทางหนึ่งด้วย

การปรับปรุงก๊าซชีวภาพโดยกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีกระบวนการทำงานคือ เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สัมผัสกับสารละลายด่างภายในถังปฏิกรณ์เคมีจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เมื่อหมุนเวียนน้ำเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ชีวภาพ กลุ่มเชื้อแบคทีเรียซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรีย (Sulfur Oxidizing Bacteria, SOB) จะสามารถออกซิไดซ์ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ได้ด้วยการเติมอากาศในปริมาณที่ควบคุมและสารอาหารที่เหมาะสม [6] เพื่อแปรสภาพสารประกอบเป็นการฟื้นสภาพของสารละลายด่างดังสมการที่ 3 ส่วนตะกอนของซัลเฟอร์สามารถแยกออกจากถังปฏิกรณ์ด้วยการตกตะกอนได้ หากเติมอากาศในปริมาณที่มากเกินไปจะได้ดังสมการที่ 4

$$2H_2S + 2NaOH \longrightarrow Na_2S + 2H_2O \quad (1)$$

$$H_2S + NaOH \longrightarrow NaHS + H_2O \quad (2)$$

$$2NaHS + O_2 \longrightarrow 2NaOH + 2S \quad (3)$$

$$2NaHS + 4O_2 \longrightarrow 2NaHSO_4 \quad (4)$$

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

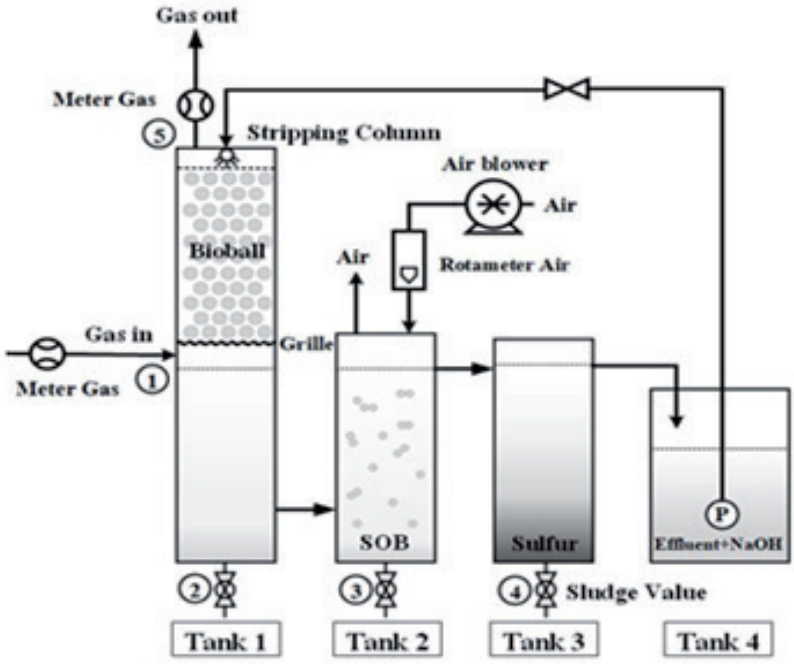
เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ยี่ห้อ Gas Data รุ่น GFM Series เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ HORIBA รุ่น pH 11 ปั๊มน้ำเสียแบบจุ่มสำหรับหมุนเวียนสารตัวกลางในระบบเครื่อง ORP Electrode Mettler ยี่ห้อToledo รุ่น In Lab Redox Flow เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ SK Sato รุ่น SK-0110-00 เครื่องเติมอากาศยี่ห้อHIBLOW รุ่น HP100 ขนาด 95 วัตต์ 220 โวลต์ และปั๊มรีดก๊าซชีวภาพ (Peristaltic Pump) ยี่ห้อ Watson-Marlow รุ่น 323S

การผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ใช้ทดลองครั้งนี้ เป็นก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเอทานอลของบริษัท ธนภัคดี จำกัด อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำน้ำเสียมาเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วนน้ำเสียต่อน้ำประปา 1 : 4 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) และปรับค่าสภาพด่างทั้งหมดให้เท่ากับ 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากนั้นป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบราง CMU-CD ขนาด 1,100 ลิตร ซึ่งเป็นบ่อหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ภายในบรรจุเชื้อตั้งต้นปริมาตร 300 ลิตร โครงสร้างของถังทำมาจากวัสดุสแตนเลส เกรด 202 มีขนาดความยาว 3 เมตร กว้าง 1.16 เมตร สูง 1 เมตร และติดตั้งพลาสติกพีวีซีความหนา 1.2 มิลลิเมตร ไว้ด้านบนของถังปฏิกรณ์ เพื่อใช้สำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะไหลผ่านมิเตอร์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพก่อนนำไปทดลองขั้นต่อไป

ชุดถังปฏิกรณ์ที่ใช้ศึกษา

ชุดถังปฏิกรณ์ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์เคมี (Tank 1) ทำจากท่อพีวีซีสำเร็จรูปแบบทึบแสงความหนา 8.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ภายในบรรจุตัวกลางไบโอบอลขนาด 1 นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซชีวภาพและสารตัวกลาง ส่วนถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Tank 2) ทำจากท่อพีวีซีสำเร็จรูปแบบทึบแสงความหนา 8.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร มีปริมาตรใช้งาน 7 ลิตร สำหรับถังตกตะกอน (Tank 3) ทำจากท่อพีวีซีสำเร็จรูปแบบทึบแสงความหนา 8.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร มีปริมาตรใช้งาน 7 ลิตร และถังพักน้ำ (Tank 4) ขนาด 200 ลิตร โดยมีรายละเอียดดังแสดงภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพชุดการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale)

การดำเนินทดลอง

ในการทดลองได้ใช้ปั๊มป้อนก๊าซชีวภาพเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เคมี (Tank 1) ผ่านมิเตอร์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ เพื่อควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพให้คงที่ตามปริมาณอัตราภาระบรรทุกของก๊าซชีวภาพที่ศึกษาให้อยู่ในช่วง 650 - 700 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง และควบคุมอัตราการไหลของสารตัวกลางในระบบให้คงที่เท่ากับ 0.8 ลิตรต่อนาที ตลอดการทดลอง ซึ่งภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Tank 2) ได้เติมหัวเชื้อกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 ที่มีความเข้มข้น 1 x 10^6 CFU/mL จำนวน 7 ลิตร โดยเติมเข้าไปเพียงครั้งเดียวในแต่ละการทดลอง และมีการเติมอากาศที่อัตราการไหล 1.6 ลิตรต่อนาทีตลอดเวลา ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นจุลินทรีย์กลุ่ม SOB ที่คัดแยกมาจากระบบกรองชีวภาพแบบด่างของงานวิจัยก่อนหน้านี้

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซ H_2S โดยใช้สารตัวกลางน้ำ เปรียบเทียบกับสารตัวกลางน้ำที่มีการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 และการศึกษาผลของสารอาหารจุลินทรีย์ในสารตัวกลางสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีค่าความเป็นด่างทั้งหมดเท่ากับ 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต และเติมสารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) ที่ความเข้มข้น 0 500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 เข้าไปในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Tank 2) การเดินระบบเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องโดยทำการเก็บข้อมูลวันละ 6 ชั่วโมงทุก ๆ 30 นาที ในช่วง 3 ชั่วโมงแรก และทุกๆ 60 นาที จนครบ 6 ชั่วโมง ที่เวลา 0 30 60 90 120 150 180 240 300 360 ตลอดระยะเวลา 5 วันของการทดลองสารตัวกลางน้ำ และระยะเวลา 15 วันของการทดลองสารตัวกลางสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยทำการเก็บข้อมูลองค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพก่อนและหลังการทดลอง เช่น ร้อยละของก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละของก๊าซออกซิเจน (O_2) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) พร้อมทั้งตรวจวัดค่าพีเอช (pH) และค่าโออาร์พี (ORP)

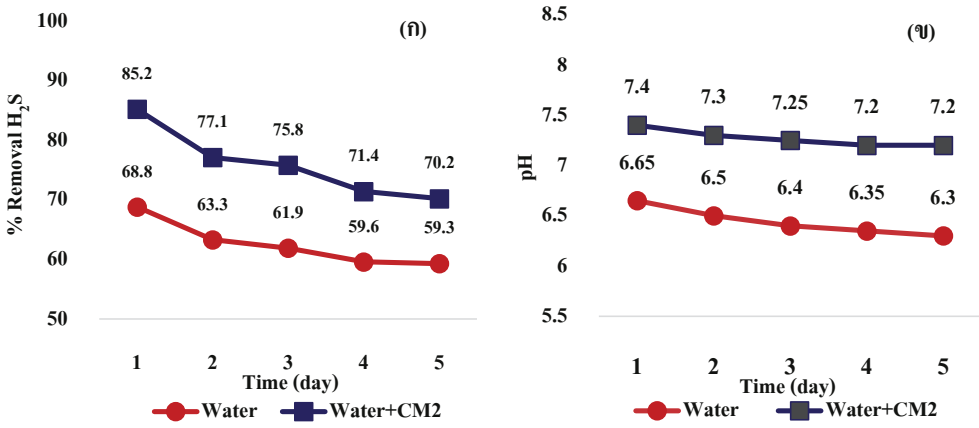
ตารางที่ 1 รายละเอียดแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	สารตัวกลาง	กลุ่มจุลินทรีย์ CM2	ระยะเวลาเก็บข้อมูล (วัน)	ปริมาณ $NH_4(SO_4)_2$ (mg/l)
1	H_2O	ไม่เติม	5	-
2		เติม		-
3	NaOH	เติม	15	0
4		เติม		500
5		เติม		2,000

ผลและอภิปลายผลการวิจัย

1. ผลของจุลินทรีย์ CM2 ในสารตัวกลางน้ำ

เมื่อศึกษาผลของจุลินทรีย์ CM2 ในสารตัวกลางน้ำ [7] ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบกึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 วัน วันละ 6 ชั่วโมง พบว่าในวันแรกของการทดลองโดยใช้สารตัวกลาง [8] H_2O+CM2 มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 85.2 จากนั้นค่อยๆ ลดลงเหลือร้อยละ 70.2 ส่วนในวันแรกของการทดลองโดยใช้สารตัวกลาง H_2O มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 66.8 และลดลงเหลือร้อยละ 59.3 ดังแสดงในภาพที่ 2ก. เมื่อพิจารณาค่า pH ของสารตัวกลาง พบว่าในสารตัวกลาง H_2O+CM2 มีค่า pH ลดลงจาก 7.4 เหลือเพียง 7.2 ส่วนสารตัวกลาง H_2O มีค่า pH ลดลงจาก 6.65 เหลือเพียง 6.3 ดังแสดงในภาพที่ 2ข. แสดงให้เห็นได้ว่าค่า pH เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังแสดงในงานวิจัยของ Azizi, Biard, Couvert, & Amor, 2014 [9] ที่ได้ศึกษาค่า pH ของสารละลายตัวกลางในหอกลั่น (Packing Column) โดยพบว่าค่า pH ของของเหลวในคอลัมน์ที่มีค่าสูงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูงเช่นกัน ดังนั้นในสารตัวกลาง H_2O+CM2 ซึ่งมีค่า pH สูงกว่าจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Namgung, Ahn, & Song, 2012 [4] ที่พบว่าจุลินทรีย์กลุ่ม SOB ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อีกด้วย

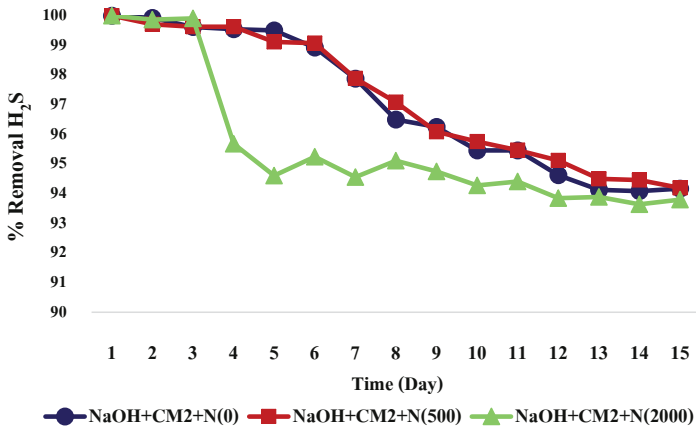


ภาพที่ 2 ก. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในตัวกลาง H_2O+CM2 และ H_2O
ข. เปรียบเทียบค่า pH ของตัวกลาง H_2O+CM2 และ H_2O

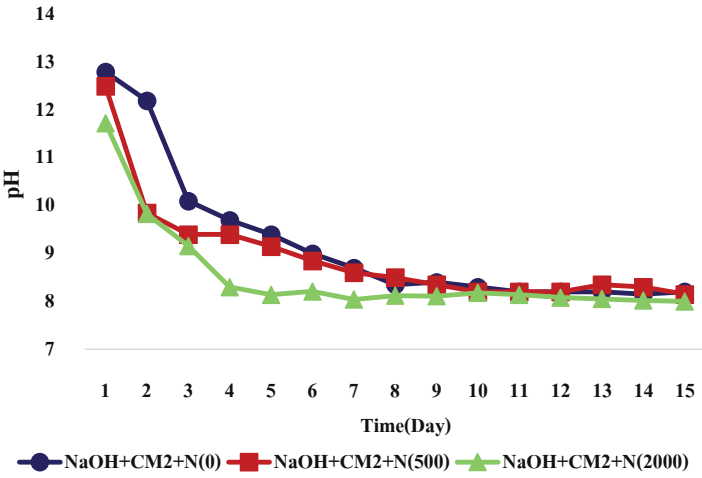
2. ผลของปริมาณสารอาหาร $(NH_4)_2SO4$ ในสารละลายตัวกลาง NaOH

เมื่อใช้สารตัวกลาง NaOH ในการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ [10] ควบคู่กับการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 และศึกษาการเติมสารอาหาร $(NH_4)_2SO_4$ ที่มีส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจน [6] ให้กับกลุ่มจุลินทรีย์ CM2 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ NaOH+CM2+N(0) NaOH+CM2+N(500) และ NaOH+CM2+N(2,000) จากการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 วัน วันละ 6 ชั่วโมง พบว่าในวันที่ 1-3 ของทุกการทดลอง ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 100 หลังจากวันที่ 4 เป็นต้นไป พบกว่าการทดลองที่ความเข้มข้นสารอาหาร NaOH+CM2+N(2,000) มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วค่อยๆ คงที่ ส่วนความเข้มข้นสารอาหาร NaOH+CM2+N(0) และ NaOH+CM2+N(500) พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในช่วงระหว่างวันที่ 6-9 จากนั้นค่อยๆ คงที่ ดังแสดงในภาพที่ 3

Azizi,



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสารตัวลาง NaOH+CM2+N(0), NaOH+CM2+N(500) และ NaOH+CM2+N(2,000)



ภาพที่ 4 ค่า pH ของสารละลายตัวกลาง NaOH+CM2+N(0), NaOH+CM2+N(500) และ NaOH+CM2+N(2,000)

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่า pH ของสารตัวกลางที่มีการเติมสารอาหาร $(NH_4)_2SO_4$ ในปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้ค่า pH ของสารตัวกลางลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่าการทดลองสารตัวกลาง NaOH+CM2+N(2,000) ในช่วงวันที่ 1-4 ของการทดลอง มีค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่า pH ของทุกการทดลองเริ่มมีค่าคงที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.9-8.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า pH ของสารตัวกลางส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ [9]

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าในช่วงวันที่ 1-3 ของการทดลอง ทั้ง 3 การทดลองอาจมีค่า pH แตกต่างกัน แต่เนื่องจากค่า pH ของสารตัวกลางยังคงมากกว่า 8.9-9.0 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 100 จึงทำให้การเติมแอมโมเนียมซัลเฟตไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bontozoglou & Kalabelas, 1993 [12] ที่ได้ศึกษาค่า pH ของสารตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพลดลงจากร้อยละ 100 เมื่อค่า pH ของสารตัวกลางลดลงต่ำกว่าประมาณ 8.9-9.0 ในงานวิจัยนี้สามารถอธิบายถึงประสิทธิภาพที่ลดลงอย่างรวดเร็วของสารตัวกลาง NaOH+CM2+N(2,000) ในวันที่ 4 ของทดลอง ซึ่งเกิดจากสารตัวกลางมีค่า pH ต่ำกว่าช่วงดังกล่าว ส่วนการทดลองสารตัวกลาง NaOH+CM2+N(500) และ NaOH+CM2+N(0) พบว่ามีค่า pH ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากันเนื่องจากในช่วงค่า pH ดังกล่าวเป็นช่วงที่สารตัวกลางมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดี

3. ผลการศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพและคุณสมบัติทางเคมีของสารตัวกลาง

จากการศึกษาส่วนประกอบก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเอทานอลด้วยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Fermentation) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีสัดส่วนดังแสดงใน ตารางที่ 2 เมื่อทำการบำบัดก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการร่วมทางเคมีและชีวภาพโดยใช้สารละลายตัวกลางต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ก๊าซออกซิเจนอัตราส่วนคงที่ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีอัตราส่วนลดลง ทั้งนี้อัตราส่วนของก๊าซสองชนิดหลังลดลงเนื่องจากสามารถละลายในของสารตัวกลาง [11] โดยประสิทธิภาพการละลายขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติทางเคมีของสารตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพก่อนและหลังบำบัด

สารตัวกลาง	Influent biogas				Effluent biogas			
	CH_4	CO_2	O_2	H_2S (ppm)	CH_4	CO_2	O_2	H_2S (ppm)
H_2O	67.6 ± 0.5	26.8 ± 0.3	0	14,000 ± 0	69.2 ± 2.1	26.6 ± 2.1	0	5,234 ± 667
H_2O+CM2	67.4 ± 0.7	27.3 ± 0.3	0	14,000 ± 0	70.6 ± 0.8	24.6 ± 0.6	0	3,812 ± 895
NaOH+ CM2+N(0)	69.7 ± 0.7	27.2 ± 0.9	0	12,400 ± 490	77.1 ± 8.1	20.6 ± 8.1	0	360 ± 191
NaOH+CM2+N(500)	69.5 ± 1.3	26.9 ± 0.7	0	12,000 ± 490	78.9 ± 6.3	19.6 ± 6.0	0	329 ± 295
NaOH+CM2+N(2000)	70.2 ± 1.5	25.8 ± 1.3	0	13,214 ± 560	79.2 ± 4.7	19.2 ± 4.9	0	580 ± 394

ตารางที่ 3 ค่า pH ค่า ORP และประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารตัวกลาง	pH	ORP (mV)	H_2S Removal (%)
H_2O	6.4 ± 0.2	-247 ± 22	62.6 ± 4.8
H_2O+CM2	7.4 ± 0.1	-269 ± 31	75.4 ± 5.6
NaOH+CM2+N(0)	9.2 ± 1.4	-411 ± 32	97.0 ± 1.6
NaOH+CM2+N(500)	8.8 ± 1.0	-389 ± 30	97.2 ± 2.3
NaOH+CM2+N(2000)	8.6 ± 1.0	-340 ± 64	95.6 ± 2.9

หมายเหตุ : สารตัวกลาง H_2O และ NaOH แสดงข้อมูลเมื่อเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องในระยะเวลา 5 วันและ15 วันตามลำดับ

ในตารางที่ 3 แสดงค่า pH และค่า ORP ต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากผลการทดลองพบว่าในสารตัวกลางที่มีค่า pH สูง และค่า ORP ต่ำ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง [8] เมื่อพิจารณาสารตัวกลาง H_2O, H_2O+CM2 และ NaOH+CM2+N(0) พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 6.4 ± 0.2 7.4 ± 0.1 และ 9.2 ± 1.4 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 62.6 ± 4.8 75.4 ± 5.6 และ 97.0 ± 1.6 ตามลำดับ สำหรับสารตัวกลาง NaOH ที่มีการเติมสารอาหารแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 9.2 ± 1.4 8.8 ± 1.0 และ 8.6 ± 1.0 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 97.0 ± 1.6 97.2 ± 2.3 และ 95.6 ± 2 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเอทานอลด้วยกระบวนการร่วมทางเคมีและชีวภาพ พบว่าการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ CM2(SOB) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยส่งผลให้ค่า pH ของสารตัวกลางในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการศึกษาผลของสารอาหาร $(NH_4)_2SO_4$ ในสารตัวกลาง NaOH ที่ความเข้มข้น 0 500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หากเติมแอมโมเนียมซัลเฟตมากเกินไป อาจส่งผลให้ค่า pH ของสารตัวกลางในระบบลดลง จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

References

[1] Leme, R. M., & Seabra, J. E. A. (2017). Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes form vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry, *Energy*, *119*(C), 754–766.

[2] Walsh, J. L., Ross, C. C., Smith, M. S., Harper, S. R., & Wilkins, W.A. (1988). *Handbook on biogas utilization*. Atlanta, Georgia: Georgia Tech Research Institute.

[3] Nishio, N., & Nakashimada, Y. (2007). Recent development of anaerobic digestion process for energy recovery form wastes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *103*(2), 105–12.

[4] Namgung, H. K., Ahn, H., & Song, J. (2012). Development of a two-phase bioreactor for the biological removal of hydrogen sulfide from biogas. *Energy Procedia*, *14*, 1143–1148.

[5] Abatzoglou, N., & Boivin, S. (2009). A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 3*(1), 42–71.

[6] Awat, N. M., Abd El-Kader, A. A., Attia, M., & Alva, A. K. (2011). Effects of nitrogen fertilization and soil inoculation of sulfur-oxidizing or nitrogen-fixing bacteria on onion plant growth and yield. *International Journal of Agronomy*, 2011, 316856, 1–6. DOI:10. 1155/2011/316856.

[7] Lien, C. C., Lin, J. L., & Ting, C. H. (2014). Water scrubbing for removal of Hydrogen sulfide (H_2S) In biogas form Hog Farms. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 3*, 1–6. DOI: 10.4236/jacen.2014.32B001.

[8] Pokorna, D., & Zabranska, J. (2015). Sulfur-oxidizing bacteria in environment technology. *Biotechnology Advances*, *33*(6), 1246–1259.

[9] Azizi, M., Biard, P. F., Couvert, A., & Amor, M. B. (2014). Simulation of hydrogen sulphide absorption in alkaline solution using a packing column, *Environment Technology, 35*(24), 3105-3115.

[10] Chaiprapat, S , Mardtihing, R., Kantachote, D., & Karnchanawong, S. (2011). Removal of hydrogen sulfide by complete aerobic oxidation in acidic biofiltration. *Process Biochemistry, 46*(1), 344–352.

[11] Islamiyah, M., Soehartanto, T., Hantoro, R., & Abdurrahman, A. (2015). Water scrubbing for removal of CO_2 (Carbon Dioxide) and H_2S (Hydrogen Sulfide) in biogas form manure. In *The 3rd Indonesia EBTKE-ConEx 2014*. 126–131. June 4–6, 2014, Jakarta: Indonesia.

[12] Bontozoglou, V., & Karabelas, A. J. (1993). Simultaneous absorption of H_2S and CO_2 in NaOH solution: experimental and numerical study of the performance of a short-time contactor. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *32*(1), 165–172.