



การเปรียบเทียบระบบการกรองก๊าซชีวภาพด้วย ฝอยเหล็ก สารละลายต่าง และถ่านกัมมันต์
เพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

The comparatives of biogas filter system using namely steel capillary, alkaline
solution and charcoal for remove hydrogen sulfide

นัตทยา เจริญสุข*

Narttaya Chareonsuk

เดชา โฉมงามดี*

Decha Chomngamdee

Received : April 12, 2020

Revised : June 2, 2020

Accepted : July 17, 2020

บทคัดย่อ

ปัจจุบันก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่ง จากองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพพบว่า มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งส่งผลทำให้คุณภาพของก๊าซชีวภาพลดลง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เปรียบเทียบผ่านวัสดุดูดซับ 3 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ที่ปริมาณ 1, 1.5, 2 และ 2.5 กิโลกรัม สารละลาย NaOH ที่ pH 8, 9, 10 และ 11 และถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม ในถังกรองขนาด 25 ลิตร จากระบบการหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยนำก๊าซชีวภาพให้ผ่านวัสดุกรองที่อัตราการไหล 0.35 ลิตรต่อนาที วัดปริมาณก๊าซก่อนผ่านวัสดุกรองพบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 1,305 ppm และก๊าซมีเทน (CH_4) 70.8% ในถังหมักขนาด 100 ลิตร ผลการทดลองพบว่า เมื่อก๊าซชีวภาพกรองผ่านฝอยเหล็กสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงสุด 98.9 % ที่ปริมาณฝอยเหล็ก 2.5 kg กรองผ่านสารละลาย NaOH สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงสุด 95.6 % ที่ pH 11 และกรองผ่านถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงสุด 50 % ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ 4 กิโลกรัม และเมื่อนำมากรองผ่านวัสดุทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงสุด 99 %

คำสำคัญ : ระบบกรองก๊าซ / ก๊าซชีวภาพ / ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi campus

ABSTRACT

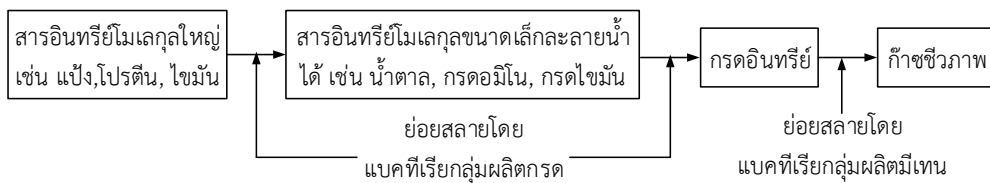
Nowadays, biogas is an alternative energy. From the composition of biogas, it is found that there is hydrogen sulfide gas (H_2S) which causes the quality of the biogas to decrease. The objective of this research is to reduce the amount of hydrogen sulphide gas. By studying the adsorption of hydrogen sulphide gas (H_2S) comparing through 3 absorbent materials which are Capillary steel at the amount of 1, 1.5, 2 and 2.5 kg NaOH solution at pH 8, 9, 10 and 11 and activated carbon at the amount of 1, 2, 3 and 4 kg in a 25 liter filter tank. From anaerobic fermentation (Anaerobic) system, this research is conducted by taking biogas through the filter material at a flow rate of 0.35 liters per minute, measuring the amount of gas before passing through the filter material, found 1,305 ppm hydrogen sulfide (H_2S) and Methane (CH_4) 70.8% in a 100 liter fermentation tank. The results showed that When biogas is filtered through steel capillaries, hydrogen sulfide gas (H_2S) can be removed up to 98.9% at the amount of 2.5 kg of capillary filtered through NaOH solution. Can get rid of hydrogen sulfide gas (H_2S) up to 95.6% at pH 11 and filter through activated carbon, can get rid of hydrogen sulfide gas (H_2S) up to 50% at the amount of activated carbon 4 kilograms. 3 types can eliminate up to 99% of hydrogen sulfide gas.

Keywords : Biogas Filter System / Biogas / Hydrogen Sulfide

บทนำ

จากรายงานคุณภาพพลังงานของประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2561 (กระทรวงพลังงาน, 2561) ประเทศไทยมีการใช้พลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานดังต่อไปนี้ น้ำมันสำเร็จรูป 49.29%, ไฟฟ้า 20.02%, พลังงานหมุนเวียน 9.43%, ถ่านหิน 8.18%, ก๊าซธรรมชาติ 6.87% และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม 6.21% จากรายงานดังกล่าวเมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย ในรูปแบบเชื้อเพลิงชีวภาพตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-พ.ศ.2561 มีแนวโน้มในการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่เพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากรัฐบาลเริ่มให้การสนับสนุนการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ก๊าซชีวภาพที่นำมาผลิตไฟฟ้านั้น มาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรรวมถึงขยะมูลฝอย โดยส่วนใหญ่แล้วสถานที่ๆ สามารถผลิตน้ำเสียได้มากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้นั้น ต้องเป็นโรงงานหรือฟาร์มปศุสัตว์ที่นำน้ำสะอาดเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตจำนวนมากจึงจะได้น้ำเสียออกจากระบบมาก เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ฟาร์มสุกรขนาดต่างๆ ฯลฯ ดังที่กล่าวมาข้างต้นน้ำเสียที่ได้ออกมานั้นสามารถนำมาเข้ากระบวนการหมักเพื่อที่จะนำก๊าซชีวภาพมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึงก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ ด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่มคือแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane producing bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลที่เล็กลงจนกลายเป็นกรดอินทรีย์ จากนั้นแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กเป็นสารอาหารและย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ (Breur & Andel, 1987) ดังภาพที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ก๊าซมีเทน (CH₄) 50-70 %, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 20-50 %, ไอน้ำ (H₂O) 0-10 %, ก๊าซไนโตรเจน (N₂) 0-5 %, ก๊าซออกซิเจน (O₂) 0-2 %, ก๊าซแอมโมเนีย (NH₃) 0-1 % และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) 50-10,000 ppm



ภาพที่ 1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

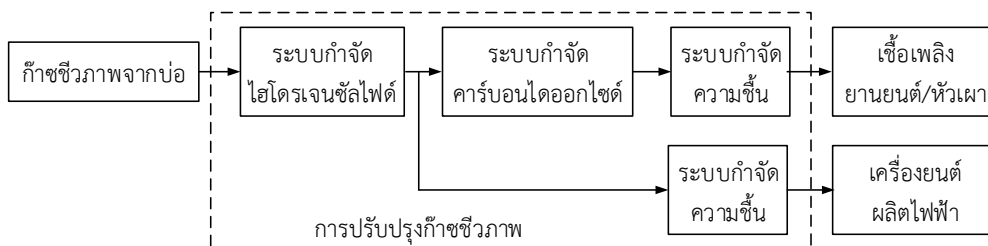
การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์มีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 2 ประการคือ

1) การใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ห่วยสำหรับหม้อน้ำ หรือหม้อน้ำร้อน ซึ่งก๊าซชีวภาพสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเติมได้ทุกชนิด ปัญหาที่พบเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ห่วย เช่น การจุดเตาไม่ติด การระเบิดในห้องเผาไหม้ในขณะที่จุดเตาหรือขณะเดินเครื่อง เปลวไฟกระพือและดับในขณะที่กำลังเร่งไฟ การระเบิดที่ปล่องไอเสีย การสูญเสียความร้อนในระบบกับอุณหภูมิปล่องไอเสียที่ร้อนจัด

2) การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้ในยานพาหนะ ซึ่งก๊าซชีวภาพสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเบนซิน ก๊าซแอลพีจี หรือก๊าซธรรมชาติ องค์ประกอบอย่างอื่นที่ไม่ใช่ก๊าซมีเทนล้วนเป็นสิ่งเจือปนที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งานทั้งสิ้น ปัญหาที่พบเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เช่น สตาร์ทเครื่องไม่ติดหรือติดยาก เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง น้ำมันเครื่องสกปรกมาก และอายุสั้น ห้องเผาไหม้สกปรกมาก ปล่องไอเสียร้อนจัด วาล์วไอเสียไหม้และอายุสั้น เดินเครื่องได้ไม่ต่อเนื่อง ต้องหยุดเพื่อซ่อมบำรุงบ่อยมาก

ดังนั้นปัญหาที่มักเกิดขึ้นเมื่อนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน เมื่อเข้าสู่กระบวนการที่ผ่านเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยไม่มีการกรองนำก๊าซอื่นๆ ที่ไม่ใช่ก๊าซมีเทนออกก่อนนำไปใช้งานนั้นทำให้เครื่องยนต์ได้รับความเสียหายส่งผลให้ระยะต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงประโยชน์ของการสร้างระบบกรองก๊าซชีวภาพเพื่อศึกษาระบบกรองก๊าซชีวภาพและถังหมักที่สามารถทำให้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นมีค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นไปตามมาตรฐาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) โดยเป้าหมายของการวิจัยในครั้งนี้คือ กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้เหลือค่าน้อยกว่า 200 ppm โดยที่ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองจะต้องประกอบ

ไปด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่า 45% ขึ้นไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพและควบคุมให้มีคุณภาพสม่ำเสมอเหมาะกับการใช้งานทุกสภาวะ ภาพที่ 2 แสดงแผนผังการปรับปรุงก๊าซชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

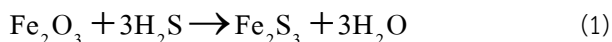


ภาพที่ 2 แผนผังการระบบการปรับปรุงก๊าซชีวภาพ

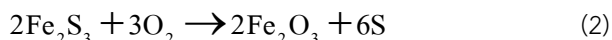
ระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีการ คือ

1) กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยของแข็ง โดยสารที่ใช้ในการดูดซับ ได้แก่ Iron Oxide (Fe_2O_3) ซึ่งในต่างประเทศนิยมใช้ในรูปแบบผงแต่ในประเทศไทยจะนิยมใช้ฝอยเหล็ก เมื่อมีการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จนอิ่มตัวแล้วจะต้องมีการเปลี่ยนสารดูดซับใหม่แล้วนำสารดูดซับที่อิ่มตัวแล้วไปฟื้นฟูสภาพ ด้วยอากาศและนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สมการที่ (1)

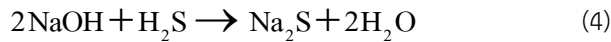
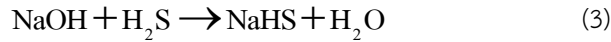


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศ สมการที่ (2)



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนโดยในช่วงการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีการคายความร้อน 0.65 kJ/g ของ H_2S ดังนั้น ในช่วงการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศก็จะมีมีการคายความร้อน 5.8 kJ/g ของ H_2S ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงการฟื้นฟูสภาพ สารดูดซับจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากและมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยในการฟื้นฟูสภาพของฝอยสนิมเหล็ก อาจจะทำอย่างง่าย คือ การนำมาตากแดดโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ สัก 2 ถึง 3 วัน เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศไปทำปฏิกิริยาเกิดไพไรต์ (Pyrite) เป็นคราบสีดำ

2) กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายต่าง โดยอาศัยหลักการของความสามารถในการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายในสารละลายที่มีค่าความเป็นด่าง pH สูง ($7 \leq \text{pH} \leq 10$) เทคโนโลยีนี้ประกอบไปด้วย หอดูดซึม (Absorption column) ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวตั้ง ภายในหอดูดซึมมีการไหลของก๊าซส่วนใหญ่จะเป็นการไหลขึ้นหรืออาจจะเป็นในลักษณะที่ก๊าซถูกพ่นทางด้านล่างผ่านชั้นของสารละลาย โดยเมื่อก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลสวนทางกับสารละลายต่างจะเกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยสารละลายที่ใช้ ได้แก่ น้ำที่มีค่า pH สูง หรือ น้ำปูนใส และ สารละลายโซดาไฟ เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ (3) และ (4)



สารละลายที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงไปแล้ว ทำให้ pH ของสารละลายลดลง และความสามารถในการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำลงด้วย จึงต้องมีการเปลี่ยนสารละลายใหม่อยู่เสมอ โดยส่วนใหญ่จะใช้การควบคุม pH ของสารละลายขาเข้าหอดูดซึมให้มี pH > 7 ในการใช้สารละลายที่เป็นด่างนี้ มีการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในบ่อเปิดบ่อท้ายๆ ซึ่งมีค่า pH สูงมาใช้ ก็สามารถทำได้แต่ต้องใช้ปริมาณน้ำมาก และต้องควบคุม pH อยู่เสมอจึงจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูง

ระบบกำจัดความชื้นกระบวนการกำจัดความชื้นใช้สารดูดความชื้นกัมมันต์ โดยจะให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านจากล่างสู่บน ความสามารถของถ่านกัมมันต์สามารถถึงความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติการกำจัดความชื้นเหมือนกับซิลิกาเจลทุกประการ

วัสดุกรองที่เกษตรกรนำมาใช้กรองกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทั่วไป ได้แก่

1) ฝอยเหล็ก (Iron Oxide) เป็นฝอยเหล็กที่ได้มาจากการกลิ้ง โดยมีความสามารถในการปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สาเหตุเพราะมีสนิมเกิดขึ้นที่ฝอยเหล็กเป็นสนิมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นสารประกอบระหว่างเหล็กกับออกซิเจน เกิดเป็นไฮเดรตเฟอริกออกไซด์ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}_3$) เมื่อรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดเป็นสารประกอบเหล็กซัลเฟต (สมชัย, 2546)

2) สารละลายด่าง (Alkaline Solution) โดยจะทำให้สารละลายมีขนาดเล็กโดยใช้หัวพ่นละอองน้ำโดยที่ค่า pH > 7 อาศัยหลักการเรื่องความสามารถในการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายในสารละลายที่มีค่าความเป็นด่าง โดยเมื่อก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลสวนทางกับสารละลายด่างจะเกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยสารละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำปูนใส และ สารละลายโซดาไฟ (สมชัย, 2546)

3) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) มีคุณสมบัติในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะต้องมีขนาดรูพรุนเหมาะสมกับก๊าซนั้นๆ คุณสมบัติทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการดูดซับนั้นจะอาศัยหลักการแพร่ของก๊าซหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในเม็ดถ่านซึ่งภายในจะเกิดปฏิกิริยาเคมี และความสามารถของถ่านกัมมันต์อีกอย่างคือ การดูดซับกลิ่น โดยถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ไม้ ถ่านหินลิกไนต์ หรือ กะลามะพร้าว เป็นต้น (สมชัย, 2546)

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาใช้ในการกรองโดยเลือกวัสดุมา 3 ชนิด ได้แก่ ฝอยเหล็ก สารละลายด่าง และถ่านกัมมันต์ โดยองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas) ก่อนผ่านวัสดุกรอง พบปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) 70.8 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 26.9 % ก๊าซออกซิเจน 0% ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 1,305 ppm และก๊าซอื่นๆ 2.2 % ความดันภายในถังก๊าซชีวภาพ 1 บาร์เกจ อุณหภูมิ 27 °C ปริมาณถังก๊าซชีวภาพ 100 ลิตร

เครื่องมือ/อุปกรณ์การทดลอง

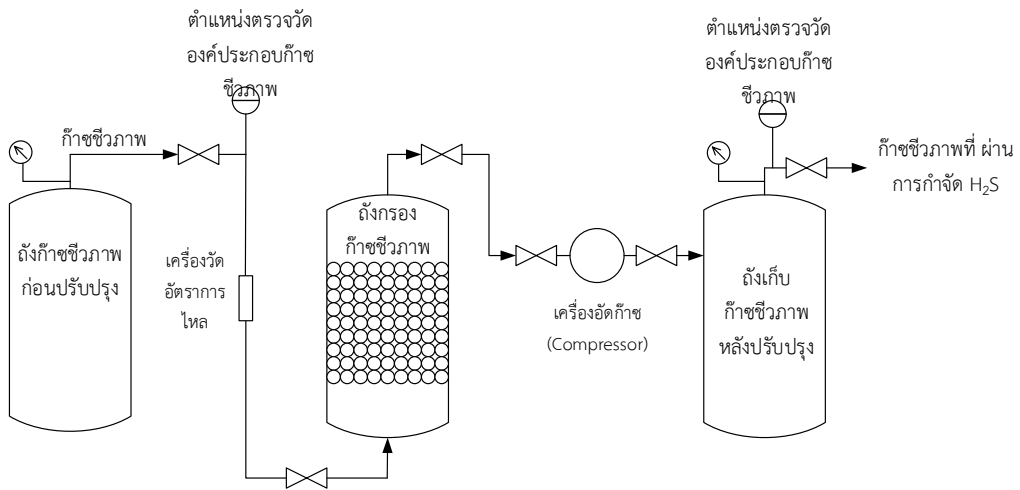
1. เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจวัดคุณภาพของก๊าซชีวภาพ จะใช้เครื่องวัดก๊าซรุ่น Geotech Biogas 5000 โดยเครื่องวัดก๊าซชีวภาพตรวจวัดก๊าซมีเทน (CH_4) 0-100%, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), 0-100%, ก๊าซออกซิเจน (O_2) 0-25%, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0-5000 ppm และก๊าซอื่นๆ



ภาพที่ 3 เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำก๊าซชีวภาพที่จะทดลองจากถังหมักเข้ามาเก็บใน ถังเก็บก๊าซชีวภาพ
2. เมื่อมีก๊าซชีวภาพปริมาณเกิน 50% ของถัง จึงทำการตรวจสอบคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนการทดลอง
3. ปล่องก๊าซชีวภาพเข้าไปในท่อที่จัดทำขึ้น โดยก๊าซจะเข้ามาจากด้านล่างแล้วก๊าซจะลอยจากส่วนล่างของท่อผ่านวัสดุกรองที่เตรียมไว้ทดลอง
4. มีเครื่องอัดก๊าซเป็นอุปกรณ์ดูดก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกรองแล้วไปเก็บยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ
5. เมื่อก๊าซเข้าสู่ถังเก็บก๊าซชีวภาพจนหมดจะทำการวัดค่าปริมาณก๊าซหลังการทดลอง แล้วเปรียบเทียบผลการตรวจวัดก๊าซจากถังเก็บก๊าซทั้ง 2 แผนผังขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

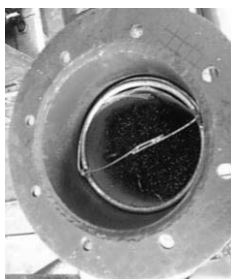
การเตรียมชุดการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง โดยมีถังกรองขนาด 25 ลิตรดังภาพที่ 4 และมีวัสดุกรอง 3 ชนิด ดังภาพที่ 5 มีการออกแบบเงื่อนไขการทดลองดังนี้

1. การทดลองที่ 1 วัสดุกรอง คือ ฝอยเหล็ก ที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน ดังนี้ 1.0 kg, 1.5 kg, 2.0 kg และ 2.5 kg ตามลำดับ
2. การทดลองที่ 2 วัสดุกรอง คือ สารละลายต่าง (NaOH) ค่า pH ดังนี้ pH 8, pH 9, pH 10 และ pH 11 ตามลำดับ โดยในการเพิ่มระดับ pH และใช้กระดาษอินดิเคเตอร์ในการตรวจวัดระดับ pH และทำให้สารละลายต่างแตกตัวเป็นฝอยโดยใช้หัวฉีด
3. การทดลองที่ 3 วัสดุกรอง คือ ถ่านกัมมันต์ โดยใช้น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ คือ 1.0 kg, 2.0 kg, 3.0 kg และ 4.0 kg ตามลำดับ
4. การทดลองที่ 4 วัสดุกรอง คือ วัสดุทั้ง 3 ชนิด โดยเลือกเอาค่าการทดลองที่ดีที่สุดจาก 3 การทดลองที่ผ่านมานำมาใช้ในการทดลอง โดยเรียงลำดับการกรอง คือ ฝอยเหล็ก สารละลายต่าง และถ่านกัมมันต์ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ชุดทดลองระบบกรองชีวภาพ



(ก)



(ข)



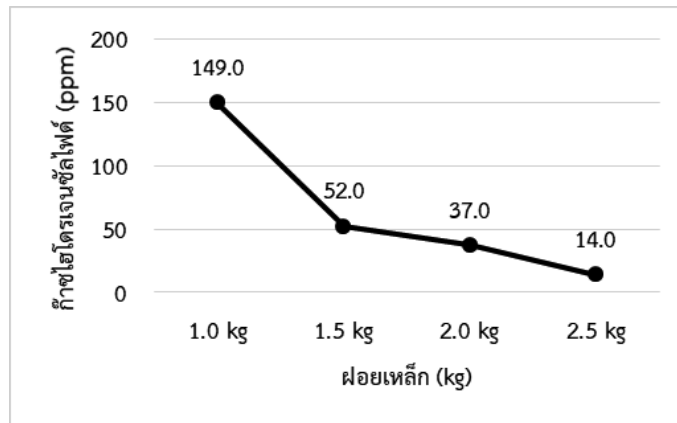
(ค)

ภาพที่ 5 วัสดุกรอง (ก) ฝอยเหล็ก (ข) สารละลายต่าง (ค) ถ่านกัมมันต์

ผลการวิจัย

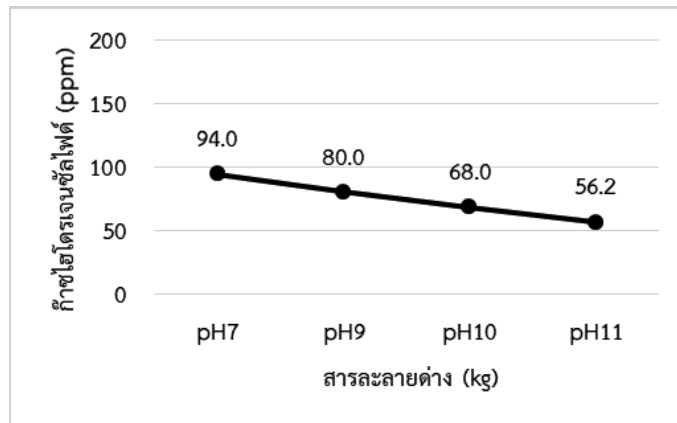
จากการทดลองศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ที่ปริมาณการใช้ 1, 1.5, 2 และ 2.5 กิโลกรัม สารละลาย NaOH ที่ค่า pH 8, 9, 10 และ 11 และ ถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาณการใช้ 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม ของขนาดถังกรอง 25 ลิตร ด้วยระบบการหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยมีผลการทดลองดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุกรองฝอยเหล็ก พบว่า ปริมาณฝอยเหล็กที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซมีเทน (CH_4) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดลองดังภาพที่ 5 และ 6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซมีเทน (CH_4) ที่ดูดซับได้ผ่านวัสดุกรองฝอยเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝอยเหล็กที่ 2.5 กิโลกรัมมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งหลังผ่านการกรองด้วยฝอยเหล็กพบความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เหลือเพียง 14 ppm



ภาพที่ 5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่วัดได้ หลังผ่านวัสดุรองฝอยเหล็กในปริมาณที่ต่างกัน

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุรองสารละลายต่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) พบว่า ค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดลองดังภาพที่ 7 และ 8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซมีเทน (CH_4) ที่ดูดซับได้ผ่านวัสดุรองฝอยเหล็กที่ค่า pH ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ที่ pH 11 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดีที่สุด คือสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เหลือเพียง 56.2 ppm

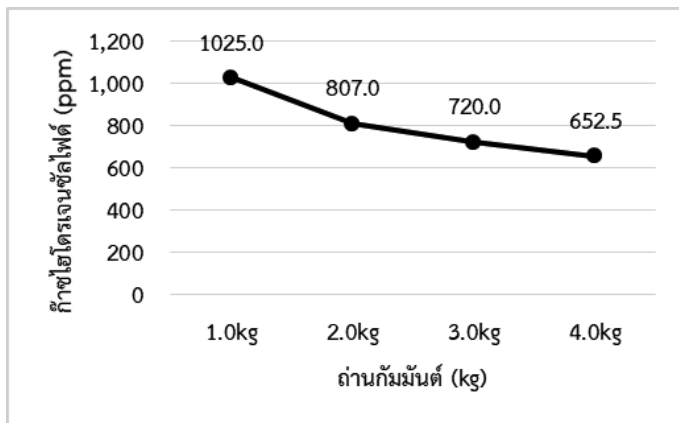


ภาพที่ 7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่วัดได้ หลังผ่านสารละลาย $NaOH$ ที่ pH ที่ต่างกัน

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุรองถ่านกัมมันต์ พบว่า ปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) สูงขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดลองดังภาพที่ 9 และ 10 ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) ผ่านวัสดุรองถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาณการใช้ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณการใช้ 4 กิโลกรัม

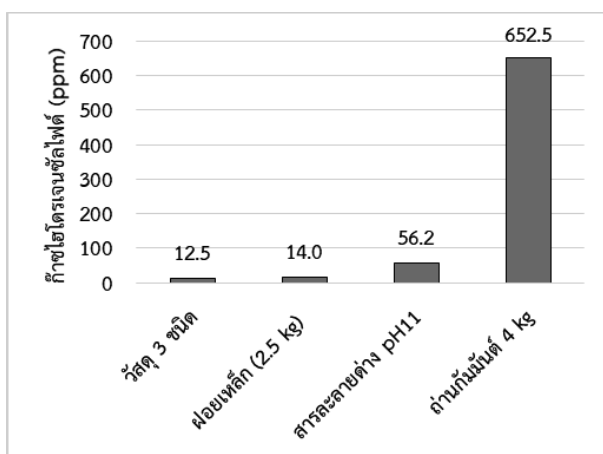
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2563

ให้ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดีที่สุด คือสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหลือเพียง 652.5 ppm



ภาพที่ 9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่วัดได้ หลังผ่านวัสดุกรองถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาณการใช้ต่างๆ

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อผ่านวัสดุกรองทั้ง 3 ชนิด ทำการทดลองโดยนำก๊าซชีวภาพผ่านวัสดุกรองทั้ง 3 ชนิด โดยเลือกใช้สภาวะ (Condition) ที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด พบว่าการนำก๊าซชีวภาพผ่านวัสดุกรองทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้วัสดุดูดซับเพียงชนิดเดียว สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เหลือเพียง 12.5 ppm จากการทดลองสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงถึง 99%



ภาพที่ 11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่วัดได้ หลังผ่านวัสดุกรองต่างชนิดกัน

อภิปรายผล

1. ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุกรองฝอยเหล็ก

จากการทดลองสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงถึง 98.93 % สาเหตุที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลง เนื่องจากฝอยเหล็กเป็นสารประกอบ Fe_2O_3 เมื่อรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเหล็กซัลเฟต (Fe_2S_3) ทำให้เกิดกระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังแสดงในสมการที่ (1) อย่างไรก็ตามฝอยเหล็กมีข้อจำกัด คือระยะเวลาในการอิ่มตัวของสัณ กระบวนการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศจะเกิดอุณหภูมิสูงเสี่ยงต่อการลุกไหม้ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยศวีวรรธ (2563) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ซึ้กึ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ, ซึ้กึ่งเหล็กปรับสภาพด้วย HCl และถ่านกั้มันต์ พบว่าซึ้กึ่งเหล็กไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับ H_2S ได้สูงสุด 70.82 % เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงเกิดกระบวนการดูดซับก๊าซซึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัย Thanakunpaisit, et al. (2017) Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas using Laterite Materials as an Adsorbent ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวศึกษาการดูดซับ H_2S ด้วย Laterite ซึ่งมีส่วนประกอบของ Fe_2O_3 เช่นเดียวกับฝอยเหล็ก พบว่าสามารถดูดซับ H_2S ได้สูงถึง 91.5 % เนื่องจาก Laterite และ H_2S มีพลังงานในการดูดซับสูง -27.06 kcal/mol ซึ่งสูงสุดเมื่อเทียบกับก๊าซตัวอื่นๆ จึงสามารถดูดซับ H_2S ได้ดี

2. ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุกรองสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

จากการทดลองสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงถึง 95.69 % ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ลดลงเนื่องจากการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านสารละลาย NaOH เพราะเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับสารละลาย NaOH จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้สารโซเดียมออกไซด์ (Na_2S , NaHS) และน้ำ ทำให้เกิดกระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) แต่อย่างไรก็ตามสารละลายต่างมีข้อจำกัด คือสิ้นเปลืองสารเคมี ต้นทุนสูง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัย Tipayawong & Thanompongchart. (2010) Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO_2 and H_2S in a packed column reactor ซึ่งงานวิจัยศึกษาการดูดซับ H_2S จากก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบสารละลายต่างที่แตกต่างกัน NaOH, $Ca(OH)_2$ และ Monoethanallamine ซึ่งสารละลาย NaOH ที่ pH 11.9 สามารถกำจัด H_2S ได้มากเกินขีดความสามารถที่เครื่องวัดจะสามารถตรวจวัดได้ นอกจากนี้สารละลายต่างยังสามารถช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้มากกว่า 90 % อีกด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพให้แก่ก๊าซชีวภาพ

3. ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผ่านวัสดุกรองถ่านกั้มันต์

จากการทดลองสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สูงถึง 50 % แต่อย่างไรถึงแม้ว่า H_2S สามารถกำจัดด้วยการกรองผ่านถ่านกั้มันต์ได้ แต่ก็ไม่สามารถลดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ให้ต่ำกว่า 200 ppm ได้ ซึ่งจะส่งผลอย่างมากต่อความเสียหายของเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นถ่านกั้มันต์จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่อย่างไรก็ตามสารละลายต่างมีข้อจำกัด คือต้นทุนในการ

พื้นสภาพสูง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยวงศ์วิวรรธ (2563) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ซัลเฟอร์เหล็กไม่ปรับสภาพ, ซัลเฟอร์เหล็กปรับสภาพด้วย HCl และถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับ H_2S ได้ 29.72 % และมีข้อจำกัดเรื่องการอ้อมตัว

4. ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อผ่านวัสดุกรองทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองพบว่า มีเพียงวัสดุ 2 ชนิด คือ ฝอยเหล็กและสารละลายด่าง (NaOH) ที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้เท่านั้น ในส่วนถ่านกัมมันต์ที่ไม่สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ต่ำกว่า 200 ppm ได้ เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาการอ้อมตัวของฝอยเหล็ก (วงศ์วิวรรธ และสุนันทา, 2555) พบว่าฝอยเหล็กมีระยะเวลาการอ้อมตัว 19 วัน แต่สารละลายด่าง (NaOH) สามารถใช้งานได้ถึง 30 วัน จึงทำให้สารละลายด่างที่ pH 11 มีประสิทธิภาพในการลดค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุด ภาพที่ 11 และ 12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อผ่านวัสดุกรองต่างชนิดกัน

การศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบการหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน พบว่าการดูดซับด้วยวัสดุกรองฝอยเหล็ก, สารละลายด่าง ถ่านกัมมันต์ และวัสดุกรองทั้ง 3 ชนิดร่วมกัน สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ และมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 98.93 %, 95.69 % 50 % และ 99 % ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยข้างต้นพบว่าถึงแม้การใช้วัสดุกรองร่วมกันในการดูดซับ H_2S ได้ประสิทธิภาพสูงสุด แต่มีต้นทุนในการดำเนินการสูงเมื่อเทียบกับฝอยเหล็กที่ใช้ต้นทุนต่ำกว่าแต่ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและสามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพให้มีค่าต่ำกว่า 200 ppm ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ ฝอยเหล็กจึงเป็นวัสดุกรองทางเลือกที่เหมาะสมในการใช้สำหรับกำจัด H_2S

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี ที่มีส่วนสำคัญต่องานวิจัยดังต่อไปนี้ อาจารย์ภูษิต โชติสวัสดิ์ และ อาจารย์ยุทธนา ศรีผา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำองค์ความรู้ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งความอนุเคราะห์ในการจัดหาเครื่องมือตรวจวัดก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีส่วนสำคัญในการจัดสร้างระบบกรองก๊าซชีวภาพ และนายวรุตม์ บุญคุ้มอยู่ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่มีส่วนสำคัญในการช่วยเหลือในด้านการทดลองต่างๆ จนสามารถสำเร็จจุล่งลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2525). **คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จงกล พูนทวี. (2537). ผลของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฉันทพร จินดาประเสริฐ. (2544). การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์สันดาปภายใน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชยันต์ กิมยงค์. (2545). การพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นันทิยา เปปะตัง. (2545). แนวทางการใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลาง-เล็กไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในจังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จรัสศรี รุ่งวิชานีวัฒน์. (2546). การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักและผลไม้ผสมกับมูลโคโดยการใช้ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศประเภทปริมาณของแข็งต่ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สมชัย อัครทิวา. (2546). **ความรู้พื้นฐานวิศวกรรมของปฏิกิริยาเชิงเร่ง เคมีวิทยา เล่ม 2**. กรุงเทพฯ : พิมพ์ที่อป.
- วงศ์วิวรรธ ธนศิลป์ และสุนันทา เลาว์ณศิริ. (2555). การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 วันที่ 6-7 ธันวาคม พ.ศ. 2555. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. (2553). **คู่มือการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2561). **รายงานคุณภาพพลังงานของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. (2556). **คู่มือการจัดทำรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเชิงพาณิชย์**. กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- Arthur P. Boresi & Richard J. Schmidt. (2003). **Advanced Mechanics of Materials**. (6 th ed.). New York USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Breure, A.M. & Andel, J.G. (1987). **Bioenvironmental Systems**. Florida : CRC Press Cambridge Scientific.
- Robert W. Fox & Alan T. McDonald. (1992). **Introduction to Fluid Mechanics**. School of Mechanical Engineering Purdue University.

- N. Thanakunpaisit, et al. (2017). **Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas using Laterite Materials as an Adsorbent.** Energy Procedia.
- N. Tippayawong & P. Thanompongchart. (2010). **Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor.** Energy.