

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เม็ดดินเผาเคลือบ
ด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

REMOVAL OF HYDROGEN SUNFIDE FROM BIOGAS USING BOTH
FERRIC CHOLORIDE AND SODIUM HYDROXIDE IMPREGNATED
BAKED CLAY BALL

ศิริพงษ์ ตรีรัตน์¹ เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง² และ ชิตพล คงศิลา³

^{1,2}อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

199 ม.6 ต.ป่าอ้อดอนชัย อ.เมือง จ.เชียงราย 57000,

siripong.tr21@gmail.com¹, chalemchat.me@gmail.com²

³อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี

64 ถนนทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุตรธานี 41000, chittapol_pol@hotmail.com

Siripong Treerat¹ Chalermchat Mekmuangthong² and Chittapol kongsila³

^{1,2}Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Chiangrai College, 199 Moo 6 Muang District, Chiangrai 57000, Thailand,

siripong.tr21@gmail.com¹, chalemchat.me@gmail.com²

³Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology,

Udon Thani Rajabhat University, 64 Thaharn Road, Muang, Udon Thani 41000, Thailand,

chittapol_pol@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้งานในฟาร์มสุกรขุน โดยใช้เม็ดดินเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 มม. เคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารดูดซับที่บรรจุในแพ็คคอลัมน์ (Packed column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มม. เหลือช่องว่างด้านบนประมาณ 10 ซม. ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขุนมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านแพ็คคอลัมน์ 1,790 ppm อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 5 ลิตร/นาที ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ตัวแปรที่ศึกษาคือ ความยาวของแพ็คคอลัมน์ 50, 75, และ 100 ซม. ผลการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพพบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

หลังผ่านแพ็คคอลัมน์ในวันแรกที่มีความยาว 50, 75, และ 100 ซม. ลดลงเป็น 27.6, 20.3 และ 9.5 ppm ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นร้อยละ 98.46, 98.87 และ 99.47 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ สามารถเพิ่มขึ้นได้ตามความยาวของแพ็คคอลัมน์

คำสำคัญ: ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์, ก๊าซชีวภาพ, เม็ดดินเผา, การกำจัด, การเคลือบ, เพอร์ริกคลอไรด์, โซเดียมไฮดรอกไซด์

ABSTRACT

The aim of this study is to design the hydrogen sulfide removal unit for swine farm using both ferric chloride and sodium hydroxide impregnated baked clay ball 13 mm of diameter. The baked clay ball was a common adsorbent used in filter media containing in packed column 4inch of diameter and leaving about 10 cm of space above. Biogas was derived from swine farm before passing through the packed column 1,790 ppm of hydrogen sulfide, 5 ลิตร/นาที in of biogas flow rate. The condition of hydrogen sulfide removal unit were investigated using completely randomized design (CRD) for the effect of packed column 50, 75 and 100 cm of length. It was found that the amount of outlet hydrogen sulfide concentration in the first day after passing the packed column 50, 75 and 100 cm of length were reduced hydrogen sulfide in biogas 27.6, 20.3 and 9.5 ppm, respectively. Efficiency were increased 98.46%, 98.87% and 99.47%, respectively. Efficiency for adsorption of hydrogen sulfide from biogas It can be increased by column pack length

KEYWORDS: Hydrogen sulfide, Biogas, Baked clay ball, Removal, Impregnation, Ferric chloride, Sodium hydroxide.

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีความเข้มข้นประมาณ 80–4,000 ppm ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นเหมือนกลิ่นไข่เน่า เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำในอากาศ จะกลายเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) สามารถกัดกร่อนโลหะและทำให้เกิดคราบตะกรันภายในเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ลินไอดี ลินไอเสีย ลูกสูบ ห้องเผาไหม้ ฯลฯ ส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าสั้นลง นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพหากสูดดมเป็น

ระยะเวลาานาน ๆ ดังนั้นการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจึงมีความจำเป็นในกรณีที่จะต้องนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทน

จากการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มขนาด 1–2 มม. ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้วเคลือบด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 76 mg/g [1] การใช้สารดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวกระตุ้นซ้ำด้วยไอน้ำและเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 84.75 mg/g [2] การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารดูดซับซีกสิ่งเหลือที่ไม่ปรับสภาพซึ่งสนิมเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 70.22 [3] การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารดูดซับซีกสิ่งเหลือที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 25.88 [4] การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 99.3–97.3 และสามารถฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบเหล็กซัลไฟด์ (FeS) ให้กลับมาเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ไหลผ่านระบบ [5]

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การดูดซับทางกายภาพโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นสารถูกดูดซับติดอยู่กับผิวของสารดูดซับด้วยแรงดึงดูดค่อนข้างอ่อน จึงเกิดการคายซับได้ง่าย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของสารถูกดูดซับ ทำให้กระบวนการดูดซับไม่สามารถผันกลับได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดกระบวนการดูดซับที่สามารถผันกลับได้ จึงต้องทำให้เกิดการดูดซับด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมีเมื่อสารดูดซับเกิดการอิ่มตัวด้วยสารถูกดูดซับ สารดูดซับจะสามารถทำการฟื้นฟูสภาพสารดูดซับ (Regeneration) โดยทำการไล่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากสารดูดซับที่อิ่มตัวได้เพื่อทำให้สารดูดซับมีพื้นที่ว่างสำหรับการดูดซับครั้งใหม่ ในกรณีการใช้สารดูดซับถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยไอน้ำแล้วเคลือบด้วยสารเคมี การฟื้นฟูสภาพสารดูดซับสามารถทำได้โดยการล้างด้วยน้ำร้อนหรือผ่านกรรมวิธีทางความร้อน และเคลือบซ้ำด้วยสารเคมี แต่ความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังจากการฟื้นฟูจะลดลง เนื่องจากธาตุซัลเฟอร์มีพันธะที่แข็งแรงกับถ่านกัมมันต์ [6] ในกรณีการใช้สารดูดซับซีกสิ่งเหลือที่ไม่ปรับสภาพสามารถฟื้นฟูสารดูดซับได้ง่าย แต่ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ การใช้สารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถฟื้นฟูสารดูดซับได้และมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนการผลิตสารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทามีขั้นตอนการผลิตและการเตรียมวัตถุดิบที่ยุ่งยาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมี โดยใช้สารดูดซับเป็นเม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเพอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถทดแทนสารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทาเคลือบด้วยสารละลายเพอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดอุปกรณ์การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งใช้เวลาในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากที่สุดที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีความเข้มข้นไม่เกิน 200 ppm

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมี โดยมีวัสดุ สารเคมี และวิธีการวิจัย ดังนี้

2.1 วัสดุ

วัสดุที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เป็นวัสดุดินเผามวลเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 มม. ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลิตมาจากดินเหนียวธรรมชาติ นำมาเผาที่อุณหภูมิ 1,300 °C ด้วยอุณหภูมิในการเผาที่อุณหภูมิสูงมาก จึงมีความแข็งแรงไม่เปื่อยยุ่ย ยุบตัว หรือย่อยสลาย โครงสร้างมีรูพรุนขนาดเล็ก มีโพรงอากาศมากมายในเม็ดดินเผา มีพื้นที่ผิวดูดซับสูง มีน้ำหนักเบา สามารถลอยน้ำได้ จึงมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 1 เม็ดดินเผาก่อนแช่ในสารละลาย

2.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยใช้น้ำเสียจากมูลสุกรขุนของวิไลมาตย์ฟาร์ม เป็นฟาร์มขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 59 หมู่ 3 ตำบลนางัว อำเภอนาหว้า จังหวัดนครพนม มีจำนวนสุกรประมาณ 700 ตัว ป่อหมักก๊าซ

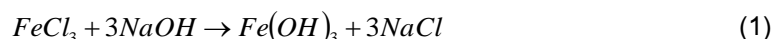
ชีวภาพแบบ Cover Lagoon ดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 100 m³/day ก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ประมาณ 1,700–1,800 ppm ใช้เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องปั่นไฟฟ้าขนาด 20 kW



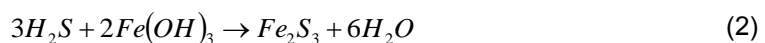
รูปที่ 2 บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ Cover Lagoon

2.3 สารเคมี

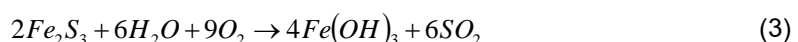
เมื่อดินเผาไม่สามารถเป็นสารดูดซับได้โดยการเคลือบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จำเป็นต้องเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) เพื่อทำให้เกิดเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ซึ่งสามารถช่วยให้เกิดการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีขึ้น ดังสมการที่ 1



สารเคมีที่มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ได้แก่ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ดังสมการที่ 2

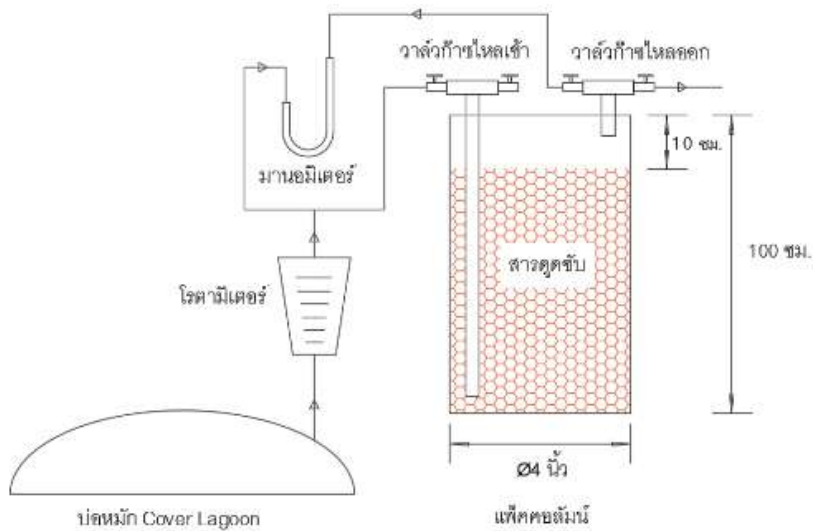


สามารถฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบ Fe₂S₃ ให้กลับมาเป็น Fe(OH)₃ ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน (O₂) ไหลผ่านระบบดังสมการที่ 3



2.4 ชุดอุปกรณ์กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ชุดอุปกรณ์สำหรับกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพและการฟื้นฟูสภาพการดูดซับใช้ชุดอุปกรณ์ชนิดแพ็คคอลัมน์ (Packed Column) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารถูกดูดซับคือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้สัมผัสกับสารดูดซับคือเม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เพื่อทำการถ่ายโอนมวลสาร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไดอะแกรมของแพ็คคอลัมน์ที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

หลักการการทำงานของของแพ็คคอลัมน์ที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ จากรูปที่ 3 ก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ Cover Lagoon จะถูกลำเลียงมาตามท่อก๊าซก่อนเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพสามารถวัดได้จากโรตารีเตอร์ ขณะที่ความดันของก๊าซชีวภาพวัดได้จากமானอมิเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อตัวยูภายในบรรจุน้ำ ทั้งหมดติดตั้งอยู่ระหว่างบ่อหมักก๊าซชีวภาพและชุดอุปกรณ์การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ชุดอุปกรณ์การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพมีโครงสร้างแบบแพ็คคอลัมน์ (Packed column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มม. ความยาว 100 ซม. ภายในประกอบด้วยท่อลำเลียงก๊าซจำนวน 2 ท่อ คือท่อลำเลียงก๊าซเข้าสู่แพ็คคอลัมน์ โดยให้ส่วนปลายท่อเว้นระยะห่างจากฐานของแพ็คคอลัมน์ประมาณ 10 ซม. ท่อลำเลียงก๊าซออกจากแพ็คคอลัมน์โดยให้ส่วนปลายท่อเว้นระยะห่างจากเม็ดดินเผาด้านบนบนประมาณ 10 ซม. และบรรจุเม็ดดินเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 มม. เคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับ เหลือช่องว่างด้านบนบนประมาณ 10 ซม.

หลังจากที่ก๊าซชีวภาพถูกปล่อยมาตามท่อก๊าซเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะถูกบังคับให้ไหลผ่านเม็ดดินเผาที่ตำแหน่งล่างสุดของแพ็คคอลัมน์ หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพจะไหลย้อนขึ้นมาด้านบนโดยผ่านชั้นของเม็ดดินเผาอย่างต่อเนื่อง ในระหว่างนี้จะเกิดการดูดซับด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมีเมื่อสารดูดซับเกิดการอิ่มตัวด้วยสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น ทำให้ความสามารถการดูดซับเริ่มลดลง สีผิวของสารดูดซับมีลักษณะกลายเป็นสีเทาดำดังแสดงในรูปที่ 4 สารดูดซับควรได้รับการฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) สามารถทำได้โดยการปิดวาล์วก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่แพ็คคอลัมน์ และเปิดวาล์วอากาศทั้งสองฝั่งเชื่อมต่อท่อลมเข้าที่วาล์วอากาศโดยใช้ลมจากเครื่องอัดอากาศ ทำการไล่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากสารดูดซับที่อิ่มตัว เพื่อให้สารดูดซับมีพื้นที่ว่างสำหรับการดูดซับครั้งใหม่ กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบ FeS ให้กลับมาเป็น $Fe(OH)_3$ ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ไหลผ่านระบบของชุดอุปกรณ์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบแพ็คคอลัมน์ สังเกตสีผิวของสารดูดซับจะต้องกลับมาเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม ทั้งนี้ระยะเวลาเพื่อการฟื้นฟูสภาพใช้เวลาประมาณ 1 วัน



รูปที่ 4 เม็ดดินเผาหลังผ่านการใช้ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

2.5 เครื่องมือวัดก๊าซ

เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซ รุ่น Multi Gas Detector ใช้วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าและออกจากแพ็คคอลัมน์ แสดงหน่วย ppm ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณของอากาศในส่วน



รูปที่ 5 เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซ รุ่น Multi Gas Detector

2.6 วิธีการทดลอง

2.6.1 การเตรียมสารละลายเพื่อเคลือบสารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ปริมาณ 500 g (1 กระปุก) ต่อน้ำ 3 Litre เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 1,000 g (1 ชอง) ต่อน้ำ 8 Litre

2.6.2 เคลือบสารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

นำเม็ดดินเผาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เตรียมไว้นาน 30 min ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นนำเม็ดดินเผาที่แช่ในสารละลายไปผึ่งลมให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแช่เม็ดดินเผาในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์



รูปที่ 7 เม็ดดินเผาหลังจากแช่ในสารละลายและผึ่งลมจนแห้ง

2.6.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของชุดอุปกรณ์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ทำการผลิตชุดอุปกรณ์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยบรรจุเม็ดดินเผาเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) เข้าไปในแพ็คคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 inch มีความยาวแตกต่างกัน (50, 75 และ 100 ซม.) เหลือช่องว่างด้านบนประมาณ 10 ซม. ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักแบบ Cover Lagoon และหาระยะเวลาในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีความเข้มข้นไม่เกิน 200 ppm วางแผนการทดลองสำหรับแผนแบบสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เนื่องจากหน่วยทดลองคือเม็ดดินเผาเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งมีความสม่ำเสมอในหน่วยทดลอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขุนมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านแพ็คคอลัมน์ 1,790 ppm เมื่อนำไปผ่านชุดอุปกรณ์กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่แพ็คคอลัมน์มีความยาวแตกต่างกัน 50, 75 และ 100 ซม. พบว่าแพ็คคอลัมน์ที่มีความยาว 100 ซม. สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังผ่านแพ็คคอลัมน์ในวันแรกได้มากที่สุด โดยปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านแพ็คคอลัมน์ในวันแรก เท่ากับ 9.5 ppm และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Breakthrough Time) ที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีความเข้มข้นไม่เกิน 200 ppm พบว่ามีระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดได้มากที่สุดโดยระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Breakthrough Time) ที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีความเข้มข้นไม่เกิน 200 ppm เท่ากับ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 1 หลังจากเลยระยะเวลาดังกล่าว ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกจะมีความเข้มข้นมากกว่า 200 ppm แตกต่างกับแพ็คคอลัมน์ที่มีความยาว 50 ซม. และ 75 ซม. อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 ขณะที่แพ็ค

คอลัมน์ที่มีความยาว 50 ซม. สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้น้อยที่สุดและใช้ระยะเวลาในการดูดซับน้อยที่สุด

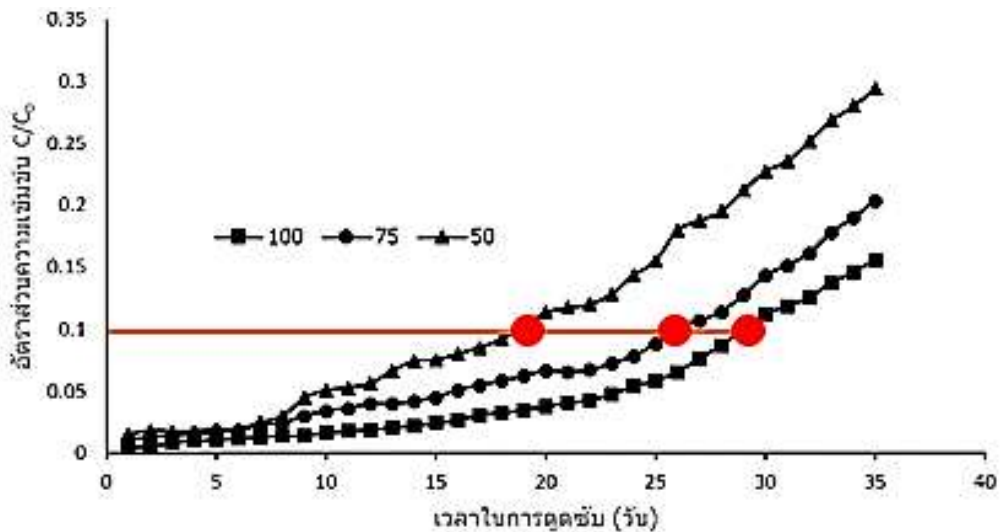
ตารางที่ 1 ความยาวของแพ็คคอลัมน์ที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ความยาวของแพ็คคอลัมน์	ปริมาณ H_2S^* (ppm)	ความสามารถในการดูดซับ** (วัน)	H_2S ที่ลดลง (ร้อยละ)
50 ซม.	27.6	20	98.46 ^a
75 ซม.	20.3	28	98.87 ^b
100 ซม.	9.5	30	99.47 ^c

a, b และ c ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

*ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านแพ็คคอลัมน์ในวันแรก

**ระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Breakthrough Time) ที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกเพิ่มขึ้นไม่เกิน 100-200 ppm เป็นค่ามาตรฐานของแก๊สชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยมาตรฐานความเข้มข้นของ H_2S ในระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพที่กำหนดโดย OSHA (Occupational Safety and Health Administration)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับช่วงเวลาในการดูดซับ

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้น C/C_0 กับระยะเวลาในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ และ C คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่เวลาใดเวลาหนึ่งในแพ็คคอลัมน์สามารถแสดงเป็นกราฟเบรคทรู (Breakthrough Curve) ดังแสดงในรูปที่ 8 ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกเทียบกับระยะเวลาในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแพ็คคอลัมน์ที่มีความยาวแตกต่างกัน 50, 75 และ 100 ซม. พบว่าทั้งหมดมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Breakthrough Time) ของแพ็คคอลัมน์ที่มีความยาวแตกต่างกัน 50, 75 และ 100 ซม. มีระยะเวลาในการดูดซับสูงสุด 18, 26 และ 30 วัน ตามลำดับ พบว่าทั้งหมดมีอัตราส่วนความเข้มข้น C/C_0 มีค่าคงที่ประมาณ 0.1

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองขณะที่กระแสก๊าซไหลผ่านชุดอุปกรณ์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงในวันแรก เมื่อกระแสก๊าซไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง สารดูดซับเริ่มเกิดการอิ่มตัวทำให้ความสามารถในการดูดซับเริ่มลดลง การเพิ่มความยาวของชุดอุปกรณ์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เพิ่มระยะเวลาของกระบวนการดูดซับทางเคมี ส่งผลให้เพิ่มระยะเวลาในการดูดซับสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Breakthrough Time) แต่จะไม่ส่งผลให้อัตราส่วนความเข้มข้น C/C_0 เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอิ่มตัวด้วยสารถูกดูดซับลดลง ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพสามารถเพิ่มขึ้นได้ตามความยาวของแพ็คคอลัมน์

ผลจากการนำเม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับ สามารถทำการฟื้นฟูสภาพสารดูดซับ (Regeneration) โดยทำการไล่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากสารดูดซับที่อิ่มตัวได้ง่ายกว่าสารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทาเนื่องจากโครงสร้างมีรูพรุนขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวดูดซับสูง มีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาทดแทนสารดูดซับทรายผสมปูนซีเมนต์เทา

References

- [1] Guo J, Luo Y, Lua AC, Chi R, Chen Y, Bao X, Xiang S. Adsorption of hydrogen sulfide (H_2S) by activated carbons derived from oil-palm shell. Carbon 2017;45(2):330-6.
- [2] Sitthikhankaewa R, Predapitakkunb S, Kiattikomolb R, Pumhiran S, Assabumrungrat S, Laosiripojana N. Performance of commercial and modified activated carbons for

- hydrogen sulfide removal from simulated biogas. 2011 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CET);2011 Jun 27-29; Kuala Lumpur, Malaysia. p.135-9.
- [3] Thanusin W, Louawansiri S. Hydrogen sulfide removal from biogas by activated carbon and iron. The 9th National Conference Kasetsart University Kamphaengsaen Campus; 2012 Dec 6-7; Nakhon Pathom, Thailand. p. 419-27. (In Thai)
- [4] Boonla P, Laowansiri S, Anuwattana R, Kaomuangnoi KU. Removal of hydrogen sulfide in biogas using iron oxide activated by sodium hydroxide solution. The 13th Mahasarakham University Research Conference; 2013 Sep 7-8; Maha Sarakham, Thailand. p. 630-8. (In Thai)
- [5] Tangtawiwiphat Sc, Songse Ag, Chewaaitarakun Br. Removal of hydrogens sulfide from biogas for community use. Khon Kaen Agriculture Journal 2012;40:201-4. (In Thai)
- [6] Bagreev A, Rahman H, Bandosz T.J. Thermal regeneration of a spent activated carbon previously used as hydrogen sulfide adsorbent. (2001). Carbon 2001;39(9):1319-26.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ศิริพงษ์ ตรีรัตน์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย
199 ม.6 ต.ป่าอ้อดอนชัย อ.เมือง จ.เชียงราย โทรศัพท์ 063-7942288
E-Mail: siripong.tr21@gmail.com



เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตร
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย
199 ม.6 ต.ป่าอ้อดอนชัย อ.เมือง จ.เชียงราย โทรศัพท์ 087-5647371
E-Mail: chalermchat.me@gmail.com



ชิตพล คงศิลา ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี โทรศัพท์ 086-2324119
E-Mail: chittapol_pol@hotmail.com

Article History:

Received: September 3, 2020

Revised: December 25, 2020

Accepted: December 25, 2020