

การลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในฟาร์มเลี้ยงไก่ด้วยระบบชีวภาพ

Reduction of Hydrogen Sulfide in Chicken Farm by Biological Systems

ครรชิต เงินคำคง^{1*} ศิริประภา ชัยเนตร¹ นันทน์ภัส เงินคำคง² ชินานาฏ วิทยาประการ³ และรุ่งนภา เขียววิจิตร¹
Khanchit Ngoenkhamkhong^{1*} Siraprapa Chainetr¹ Nannaphat Ngoenkhamkhong²
Chinanat Withayaprapakorn³ and Rungnapha Khiewwiji¹

Received: June 26, 2025; Revised: September 11, 2025; Accepted: September 11, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในฟาร์มเลี้ยงไก่แบบกึ่งปิด โดยได้ออกแบบและดำเนินการติดตั้งระบบให้สามารถควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของการเลี้ยงสัตว์ปีก ผลการศึกษาตลอดระยะเวลา 90 วัน พบว่า ระบบสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึงร้อยละ 94.63 ± 0.32 ส่วนคุณภาพน้ำเสียของระบบบำบัดที่ใช้สเปรย์ร่วมกับวัสดุตัวกลางชนิดโครอสโม่มีเดียมีประสิทธิภาพในการลดค่าน้ำเสีย ได้แก่ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ไนเตรต (NO_3^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยจุลินทรีย์ในระบบมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นซัลเฟต ส่งผลให้กลิ่นเหม็นลดลงอย่างชัดเจน ส่งผลให้สารอินทรีย์ในระบบบำบัดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้ภายในระบบได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในการบริหารจัดการกลิ่นและน้ำเสียในฟาร์มสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์; ฟาร์มไก่; ระบบชีวภาพ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

² คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

¹ Faculty of Engineering, Rajamagala University of Technology Lanna

² Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

³ Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamagala University of Technology Lanna

* Corresponding Author, Tel. 08 6184 7248, E - mail: kunchit2516@rmutl.ac.th

Abstract

This study aims to assess the efficiency of a biofiltration system in order to remove the hydrogen sulfide gas in a semi-enclosed poultry farm. The system was designed and installed to maintain key the environmental factors, which were temperature, humidity and air velocity within the optimal ranges according to the poultry farming standards. The results over a 90-day observation period showed that the system could achieve a hydrogen sulfide removal efficiency of as high as 94.63 ± 0.32 %. Regarding the wastewater quality, the treatment system using a spray mechanism in combination with cross flow media resulted in a continuously decreasing in the wastewater quality parameters including TSS, BOD, COD, NO_3^- and SO_4^{2-} . Moreover, the dominant microbial populations in the system were identified, that were microorganisms in the system play a crucial role in converting hydrogen sulfide gas into sulfate, resulting in a significant reduction in malodors. These microbial activities contributed to a continuous decline in organic pollutants in the treatment system. The findings indicate that the treated wastewater can be safely reused within the system without causing adverse environmental impacts. This study highlights the potential of biofiltration system as an effective and sustainable solution for the odor and wastewater management in livestock farming.

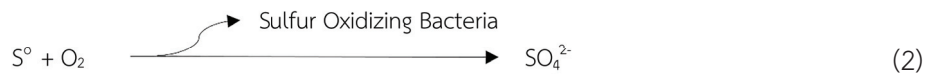
Keywords: Hydrogen Sulfide; Chicken Farm; Biological Systems

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์ในประเทศได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีทั้งระบบการเลี้ยงแบบฟาร์ม ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและระบบเลี้ยงแบบรายย่อย ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์กระจายอยู่ตามชนบท โดยเฉพาะการเลี้ยงแบบรายย่อย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ของชุมชน ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมทั้งภายในบริเวณฟาร์ม พื้นที่เลี้ยงสัตว์และชุมชนใกล้เคียงเป็นอย่างมาก เช่น น้ำที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ภายในเล้า สิ่งขับถ่ายทั้งปัสสาวะ มูลไก่และน้ำเสียที่เกิดจากการฉีดล้างทำความสะอาด (Prombaiyen, 2025) นอกจากนั้นแล้วกลิ่นอีกส่วนหนึ่งจะออกมาพร้อมกับพัดลมท้ายเล้า ซึ่งเป็นพัดลมระบายอากาศในระบบโรงเรือนแบบปิด ลมเหล่านั้นจะพัดพากลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบริเวณในส่วนของท้ายเล้า ซึ่งเป็นทิศทางลมที่เกิดจากการระบายจะนำกลิ่นที่หลงเหลือภายในโรงเรือนออกมาด้วย ซึ่งนำพาเอากลิ่นที่เกิดจากมูลไก่ไข่ ทั้งก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของไก่ไข่ รวมทั้งสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงเรือนนั้นด้วย การระบายอากาศออกช่วยให้ก๊าซต่าง ๆ ภายในโรงเรือนลดลง แต่มลอากาศดังกล่าวหากปล่อยออกโดยไม่ได้รับการบำบัดลดกลิ่นเหม็นลงจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางอากาศทั้งภายในฟาร์มเองและชุมชนลุ่มข้าง หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกต้องปัญหาอาจทวีความรุนแรงจนส่งผลให้ฟาร์มไม่สามารถประกอบกิจการในพื้นที่ปัจจุบันต่อไปได้ (Price, 2023)

ปัจจุบันการบำบัดกลิ่นที่ใช้มีหลายวิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี เช่น การสครับด้วยเคมี การใช้ความร้อนทำปฏิกิริยาและการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น (Panich et al., 2023) วิธีทางกายภาพ เช่น การควบแน่นและการดูดซับ เป็นต้น วิธีทางชีวภาพ เช่น การใช้วัสดุตัวกรองแบบชีวภาพและการสครับด้วยชีวภาพ (Sirianuntapiboon and Chuamkaew, 2007; Shareefdeen and Singh, 2008; Pudi et al., 2022) ซึ่งการบำบัดกลิ่นด้วยวิธีการทางชีวภาพนั้น ได้รับการยอมรับและสนใจศึกษามากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง วิธีการบำบัดกลิ่นที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การบำบัดทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพการกำจัดของระบบนี้อยู่ระหว่างร้อยละ 85 - 99 (Potivichayanon, 2005)

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยจึงเลือกที่จะพัฒนาระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ โดยวิธีทางชีวภาพเป็นการใช้จุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีความสามารถในการกำจัดกลิ่นเกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะที่มีออกซิเจนซึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปและกลายเป็นสารประกอบซัลเฟต ดังสมการที่ (1) และ (2) (Oyarzun et al., 2003)



จากเหตุผลข้างต้นทำให้คณะนักวิจัยร่วมกับสถานประกอบการได้ออกแบบระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกมาจากการระบายอากาศในระบบโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่แบบปิด โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการระบายอากาศภายในโรงเรือน ระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพมีศักยภาพในการเป็นต้นแบบของเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศ พร้อมทั้งส่งเสริมการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพดังกล่าว ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต แต่ยังเป็นแนวทางที่สามารถนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนในระยะยาว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตการวิจัย

1.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ กรณีศึกษา บริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด

1.2 พื้นที่ดำเนินการวิจัย คือ บริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่ขนาดกลางที่มีรอบการเลี้ยงประมาณ 80 สัปดาห์ ฟาร์มดังกล่าวมีจำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยงอยู่รวมทั้งสิ้น 7,000 ตัวต่อโรงเรือน และได้มีการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพไว้บริเวณส่วนท้ายของโรงเรือน เพื่อทำการศึกษาความสามารถในการลดกลิ่นโดยเฉพาะกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นกลิ่นหลักที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในมูลสัตว์ ขอบเขตของการวิจัยจะมุ่งเน้นการวัดผลด้านคุณภาพอากาศก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ รวมถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบในสถานะการใช้งานจริง เพื่อประเมินศักยภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ ในการนำไปประยุกต์ใช้กับฟาร์มปศุสัตว์ในบริบทที่คล้ายคลึงกัน

1.3 โรงเรือนมีความกว้าง 8.20 เมตร โรงเรือนยาว 67.30 เมตร

1.4 โดยทำการศึกษาเดือนมกราคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2568

2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น Analytical Reagent (AR) ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์และวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ ได้แก่ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 , Ag_2SO_4 , HgSO_4 , $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$, Na_2SO_4 , BaCl_2 , $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$, HCl และ Plate Count Agar (PCA)

3. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

ใช้น้ำเสียจากระบบบำบัดขั้นหลังของบริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด มาทำการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณโดยใช้ น้ำเสีย 1,000 ลิตร ขึ้นแรกเติมกากน้ำตาล 10 กิโลกรัม และทำการเพาะเลี้ยง โดยสังเกตจะมีฟองอากาศขึ้น และมีฝ้าขึ้นบริเวณผิวหน้าของถังในการขยายเชื้อ (ประมาณ 5 วัน) เป็นจุลินทรีย์เริ่มต้นในการเดินระบบ (Chuenban, 2017)

4. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์

โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในการฉีดพ่นให้ความชื้นแก่ตัวกลางยัดเกาะของจุลินทรีย์ โดยน้ำเสียดังกล่าวจะไหลเวียนกลับลงมายังบ่อจุลินทรีย์เพื่อใช้หมุนเวียนในระบบอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บรวบรวมจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยใช้พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ไนเตรต (NO_3^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) (APHA, AWWA and WEF, 2007) โดยทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ และตรวจวัดทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำเสียตลอดระยะเวลาการศึกษา ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับความสกปรกของน้ำเสียในระบบและใช้เป็นแนวทางในการเฝ้าระวัง ป้องกันหรือออกแบบกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมในกรณีที่น้ำเสียอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากระบบการดังกล่าวยังไม่มีมีการปล่อยออกสู่ภายนอก เนื่องจากมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบ จึงอยู่ในขอบเขตการควบคุมและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก และปฏิบัติตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ค) และเรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุม การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564

5. ศึกษาตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ หลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นในรูปแบบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ โดยการตรวจวัดอากาศในลักษณะ Location-Specific Sampling เพื่อประเมินสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนอย่างต่อเนื่อง โดยทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ และเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 90 วัน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพอากาศ ได้แก่ การวัดความเร็วลม (Tasto 410i; Germany) อุณหภูมิ (Testo 925; Germany) ความชื้น (4IN1 Multi-Function Environment Meter; Standard ST-8820 Environment Mete; USA) และความเข้มข้นของกลิ่นในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Biogas 5000 Geotech; UK) ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดถูกนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปีก ตามประกาศของกรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Prombaiyen, 2025) เพื่อประเมินว่าอากาศภายในโรงเรือนยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์และแรงงานภายในฟาร์มหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่น

6. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

โดยทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ โดยดำเนินการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งก่อนเข้าและหลังจากจากระบบบำบัด เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดกลิ่น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชนิดพกพา Biogas 5000 Geotech (UK) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวัดก๊าซในสภาวะแวดล้อมของฟาร์ม โดยทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ และเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 90 วัน ติดต่อกัน ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพโดยใช้ดังสมการที่ (3)

$$\text{ประสิทธิภาพการลดกลิ่นในรูปแบบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ร้อยละ)} = (C_{in} - C_{out}) / C_{in} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

C_{in} = ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด (ppm)

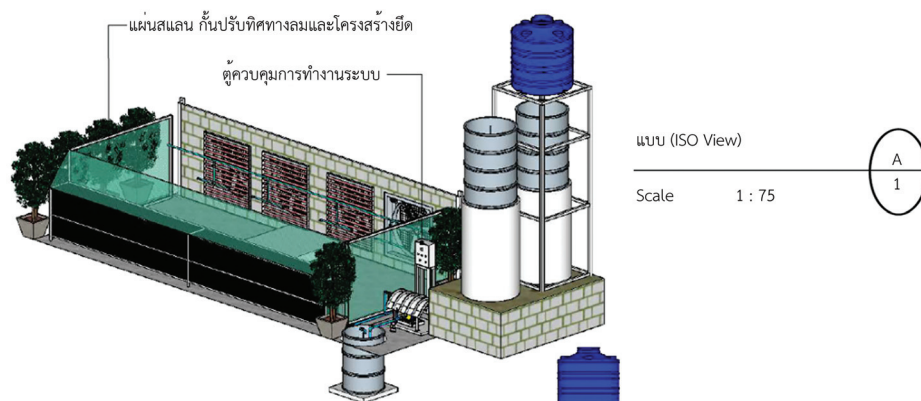
C_{out} = ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบบำบัด (ppm)

7. ศึกษาการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

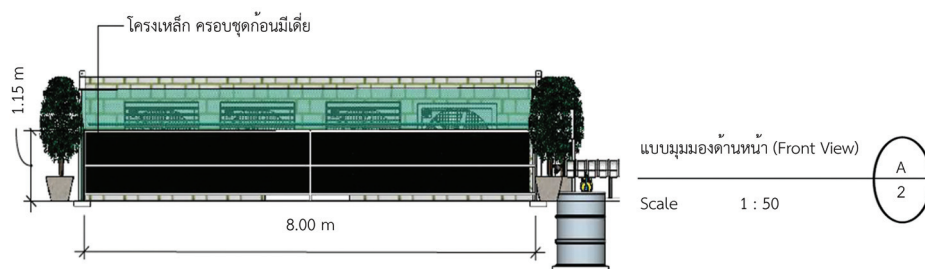
โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่กำจัดกลิ่นในระบบบำบัดกลิ่นในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดเพื่อนำมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ (Total Plate Count) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ Standard Plate Count Method (APHA, AWWA and WEF, 2007; Wattanajira, 2015) โดยทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ และเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 90 วัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากบริเวณที่มีการหมุนเวียนน้ำผ่านวัสดุตัวกลางที่จุลินทรีย์ยึดเกาะ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการใช้งานระบบ

8. หลักการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

จากรูปที่ 1 แสดงรายละเอียดระบบบำบัดกลิ่น โดยระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพจะประกอบไปด้วยระบบพ่นละอองน้ำ (บ่อจุลินทรีย์) ควบคุมรอบการทำงานผ่านระบบควบคุมไฟฟ้าเพื่อสั่งการทำงานให้พ่นละอองน้ำตามรอบเวลา เพื่อให้ความชื้นกับมีเดียสร้างสภาพที่เหมาะสมไม่ชื้นแฉะหรือแห้งจนเกินไปเอื้อต่อการเจริญเติบโตและเหมาะสมแก่การทำงานของจุลินทรีย์ กลิ่นที่ถูกระบายออกจากภายในโรงเรือน จะถูกจุลินทรีย์ที่มาพร้อมละอองน้ำจับ ส่วนมีเดียทำหน้าที่เป็นพื้นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เลือกใช้ตัวกลางชนิด คออสโฟมีเดียเพื่อเพิ่มพื้นที่ต่อปริมาตร ส่งผลให้ช่วยเพิ่มระยะเวลาและปริมาณจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

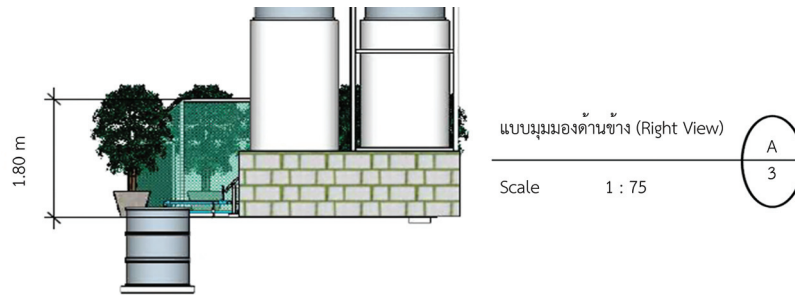


(ก) มีความยาวของมีเดีย 8 เมตร สูง 1.15 เมตร ติดตั้งห่างจากพัดลมท้ายโรงเรือน 4 เมตร

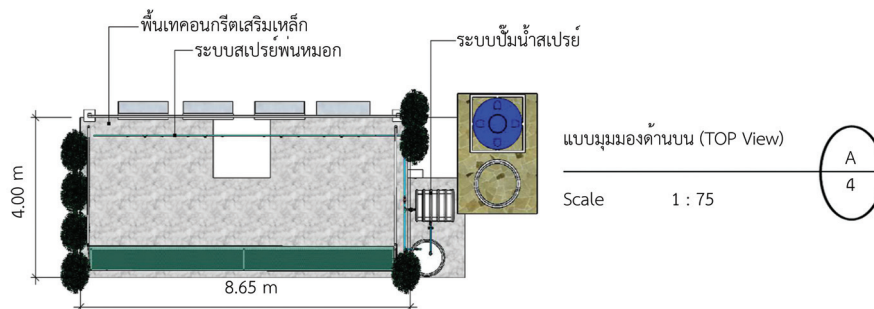


(ข) ด้านข้างล้อมรอบด้วยสแลมสูง 1.80 เมตร

รูปที่ 1 แบบระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ



(ค) บ่อสเปรย์จุลินทรีย์มีขนาด 1,000 ลิตร



(ง) ระบบปั๊มน้ำ ระบบกรอง และระบบไฟฟ้า

รูปที่ 1 แบบระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ (ต่อ)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียบ่อจุลินทรีย์ พบว่าค่าคุณลักษณะของน้ำเสีย ได้แก่ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ไนเตรต (NO_3^-) และ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป โดยค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 273.33 ± 2.36 - 242.33 ± 2.05 226.67 ± 2.36 - 189.33 ± 0.47 629.00 ± 1.41 - 521.67 ± 2.36 143.67 ± 1.25 - 125.67 ± 0.47 และ 2.01 ± 0.08 - 1.61 ± 0.01 ppm ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน (Wongphadungkiet and Suwannawitayakorn, 2011) ส่วนค่าความเป็นกรดต่างอยู่ที่ 7.02 ± 0.00 - 7.10 ± 0.01 จากรายงานวิจัย Lang (2011) พบว่าค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการทำงานจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 7.50-8.00 และ ยังพบว่าค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้กระบวนการบำบัดที่ใช้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ด้วยเหตุนี้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบดังกล่าว จึงมีคุณภาพที่เหมาะสมและสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

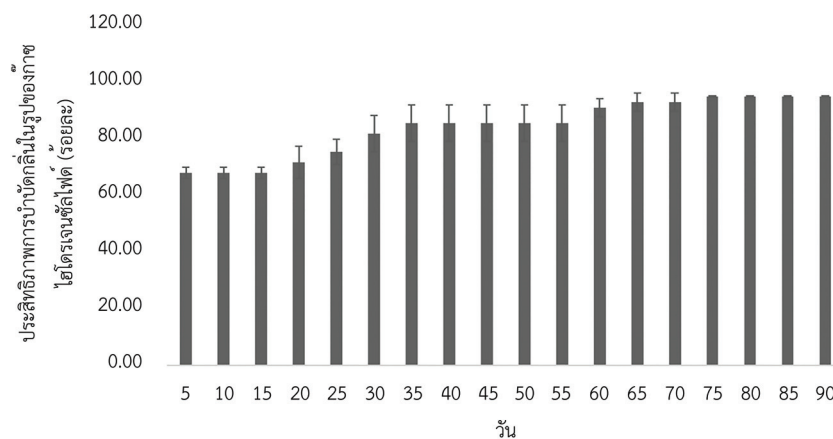
2. ผลการศึกษাত্রาววัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

จากการศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่หลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ พบว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในโรงเรือนอยู่ที่ 2.48 ± 0.04 เมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนไก่ไข่ คือ 2.23 - 2.63 เมตรต่อวินาที (Nopparatmaitri et al., 2013) ขณะที่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ 29.00 ± 0.00 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าค่าที่มาตรฐานเล็กน้อย โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับไก่ไข่ไม่ควรเกิน 27 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้สัตว์เกิดความเครียดทางความร้อน ซึ่งจะนำไปสู่การลดลงของการกินอาหารและสมรรถภาพการผลิต (Phonprasit, 2008) ภาวะความเครียดจากความร้อน (Heat Stress) นับเป็นหนึ่งในปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ

การผลิตของสัตว์ปีกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่ไข่ ความร้อนที่สะสมในโรงเรือนอาจก่อให้เกิดผลกระทบ ตั้งแต่การเจริญเติบโตและการผลิตไข่ลดลง รวมถึงคุณภาพและความปลอดภัยของไข่และเนื้อไก่ลดลง นอกจากนี้ ความเครียดจากความร้อนยังส่งผลต่อ การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ปีกอีกด้วย (Balnave and Brake, 2005; Boonkum et al., 2014) และค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 69.08 ± 0.63 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่ของกรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2019) การออกแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ จึงควรคำนึงถึงการระบายอากาศอย่างเหมาะสม โดยการ ออกแบบให้โรงเรือนมีความโปร่งและสามารถถ่ายเทอากาศได้ดี จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอากาศเสียและความร้อนภายในจะถูกระบายออกและถูกแทนที่ด้วยอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก ส่งผลให้สภาพแวดล้อม ภายในโรงเรือนไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ไก่ภายในโรงเรือน รวมไปถึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Wongphadungkiet and Suwannawitayakorn, 2011)

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ พบว่าระบบ ดังกล่าวสามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อยู่ในช่วงร้อยละ 67.78 ± 1.92 94.63 ± 0.32 ตลอดระยะเวลาการทดลอง 90 วัน (รูปที่ 2 และตารางที่ 1) โดยพบว่าประสิทธิภาพการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นมากที่สุดถึงร้อยละ 94.63 ± 0.32 ประสิทธิภาพที่สูงของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ สามารถอธิบายได้จากการเลือกใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงเป็นตัวกลาง ยึดเกาะ ของจุลินทรีย์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับรายงานของ Yao et al. (2022) ที่ระบุว่า การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบ Bio-Trickling Filter (BTF) สามารถกำจัดก๊าซได้ถึงร้อยละ 98 และงานวิจัยของ Phothiwichayanon (2011) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟอกซ์ฟิล์ม ไบโอสแครบเบอร์ ใช้อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที และความเข้มข้นของก๊าซ 10 ppm พบว่า ระบบสามารถกำจัด ก๊าซได้สูงถึงร้อยละ 99.99 แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในฟาร์มไก่ไข่ สามารถนำมาใช้ เพื่อลดปัญหากลิ่นรบกวนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

4. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

จากการตรวจวัดจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ (ตารางที่ 2) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในช่วง $1.07 \times 10^7 - 3.67 \times 10^7$ CFU/ml ตลอดระยะเวลาการทดลอง 90 วัน โดยเฉพาะในวันที่ 90 พบว่าอัตราส่วนของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกบำบัดต่อจำนวนจุลินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.000254 mg/CFU ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจน

ซัลไฟด์แบบชีวภาพ ตามรายงานของ Devinny et al. (1999) ระบุว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพอยู่ในช่วง $10^7 - 10^9$ CFU/ml สอดคล้องกับค่าที่พบในการศึกษาครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่าระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับประสิทธิภาพในการลดกลิ่นโดยในช่วงแรกของการเดินระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพจุลินทรีย์เข้าสู่ระยะปรับตัว จากนั้นจะเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไประบบเข้าสู่ภาวะคงตัว ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ในระบบเริ่มคงที่และมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดกลิ่น กระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพที่อาศัยจุลินทรีย์ เป็นกลไกหลักในการย่อยสลายสารมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ในระบบมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว (Chung et al., 2000; Chen et al., 2023; Cesar et al., 2025)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ชีวภาพ

วัน	ค่าเฉลี่ย		
	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อนเข้าระบบ (ppm)	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากระบบ (ppm)	ประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ร้อยละ)
5	9.33±0.58	3.00±0.00	67.78±1.92
10	9.33±0.58	3.00±0.00	67.78±1.92
15	9.33±0.58	3.00±0.00	67.78±1.92
20	9.33±0.58	2.67±0.58	71.48±5.70
25	9.33±0.58	2.33±0.58	75.19±4.49
30	9.00±0.00	1.67±0.58	81.48±6.42
35	9.00±0.00	1.33±0.58	85.19±6.42
40	9.00±0.00	1.33±0.58	85.19±6.42
45	9.00±0.00	1.33±0.58	85.19±6.42
50	9.00±0.00	1.33±0.58	85.19±6.42
55	9.00±0.00	1.33±0.01	85.19±6.42
60	9.00±0.00	0.83±0.01	90.74±3.21
65	9.00±0.00	0.67±0.01	92.59±3.21
70	9.00±0.00	0.67±0.01	92.59±3.21
75	9.33±0.58	0.50±0.01	94.63±0.32
80	9.33±0.58	0.50±0.01	94.63±0.32
85	9.33±0.58	0.50±0.00	94.63±0.32
90	9.33±0.58	0.50±0.01	94.63±0.32

จากการเปรียบเทียบระบบบำบัดกลิ่นประเภทต่าง ๆ พบว่าระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีต้นทุนดำเนินงานต่ำถึงปานกลาง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและใช้พลังงานต่ำเหมาะสำหรับกลิ่นที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ โดยต้องควบคุมค่าความชื้นและอุณหภูมิอย่างเหมาะสม เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในทางตรงกันข้ามระบบบำบัดกลิ่นแบบเคมีมีประสิทธิภาพสูงแต่มีต้นทุนและความเสี่ยงจากสารเคมีสูง ส่วนระบบบำบัดกลิ่นแบบถ่านกัมมันต์

ใช้งานสะดวกแต่มีข้อจำกัดด้านความชื้นและอายุการใช้งาน ดังนั้นระบบบำบัดกลั่นแบบชีวภาพจึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับฟาร์มไก่ไข่ โดยให้ความสำคัญค่าในระยะยาว สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 6 และเป้าหมายที่ 12 ในมิติด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ระบบบำบัดกลั่นแบบชีวภาพยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้การบำบัดกลั่นมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และปริมาณจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ

วัน	ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่น ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/ml)
0	-	1.07×10^7
5	67.78 ± 1.92	1.17×10^7
10	67.78 ± 1.92	1.30×10^7
15	67.78 ± 1.92	1.40×10^7
20	71.48 ± 5.70	1.53×10^7
25	75.19 ± 4.49	1.67×10^7
30	81.48 ± 6.42	1.67×10^7
35	85.19 ± 6.42	1.67×10^7
40	85.19 ± 6.42	1.87×10^7
45	85.19 ± 6.42	1.93×10^7
50	85.19 ± 6.42	2.13×10^7
55	85.19 ± 6.42	2.43×10^7
60	90.74 ± 3.21	3.13×10^7
65	92.59 ± 3.21	3.63×10^7
70	92.59 ± 3.21	3.63×10^7
75	94.63 ± 0.32	3.67×10^7
80	94.63 ± 0.32	3.67×10^7
85	94.63 ± 0.32	3.67×10^7
90	94.63 ± 0.32	3.67×10^7

สรุปผล

จากการศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่หลังการติดตั้งระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพพบว่า ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น และความเร็วภายในโรงเรือนถือว่าเหมาะสมไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของโรงเรือน และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่ของกรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากการฉีดพ่นในระบบสเปรย์มีเดีย พบว่าค่า TSS BOD COD NO_3^- และ SO_4^{2-} มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการศึกษาการเดินระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพที่ใช้ตัวกลางมีเดียเป็นแหล่งยึดเกาะจุลินทรีย์ร่วมกับการฉีดพ่นน้ำเสียแบบหมุนเวียนซึ่งเอื้อต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาและช่วยให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบชีวภาพ พบว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 67.78 ± 1.92 - 94.63 ± 0.32 ตลอดระยะเวลา 90 วัน แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นที่อยู่ในระดับสูง และมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 1.07×10^7 - 3.67×10^8 CFU/ml ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกระบวนการบำบัดกลิ่น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการเลือกใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงเป็นตัวกลางยึดเกาะของจุลินทรีย์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในฟาร์มไก่ไข่ สามารถนำมาใช้เพื่อลดปัญหากลิ่นรบกวนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

References

- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], and Water Environment Federation [WEF]. (2007). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21sted). Washington, DC, United States.
- Balnave, D. and Brake, J. (2005). Nutrition and Management of Heat-Stressed Pullets and Laying Hens. *World's Poultry Science Journal*, 61(3), 399-406. <https://doi.org/10.1079/WPS200565>
- Boonkum, W., Duangjinda, M., Laopaiboon, B. and Vongpralub, T. (2014). Effect of Heat Stress on Genetic Parameters and Egg Production in Thai Pradu Hang Dam Breed Chickens. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(3), 319-328. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj/article/view/250544/171367>
- Cesar, R., Marques, P.J.L., Tavares, J.R.A., Antunes, F.C., Goncalves, J.M., Vicentini, R., Cavallari, M.R., Brandao, B.B.N.S., Hunt, J.D., Doubek, G. and Zanin, H.G. (2025). Biogas Refining: A Review on Advances in Metal-Oxide-Modified Activated Carbon for H₂S and CO₂ Removal. *Energy and Fuels*, 39(3), 39-71. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c03493>
- Chen, G.H., Loosdrecht, M., Ekama, G. and Brdjanovic, D. (2023). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design* (2nded). IWA Publishing.
- Chung, Y.-C., Huang, C., Tseng, C.-P. and Pan, J.R. (2000). Biotreatment of H₂S-and NH₃-Containing Waste Gases by Co-Immobilized Cells Biofilter. *Chemosphere*, 41(3), 329-336. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00490-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00490-7)
- Chuenban, S. (2017). *Microorganisms Help to Reduce Odor from Animal Farms (NSTDA, Northern Region)*. Faculty of Science, Maejo University. (in Thai)
- Devinny, J.S., Deshusses, M.A. and Webster, T.S. (1999). *Biofiltration for Air Pollution Control* (1sted). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315138275>
- Lang, W. (2011). *Environmental Microbiology* (2nded). Kasetsart University Press. (in Thai)
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2019). *Good Agricultural Practices for Egg Farms: TISI 6909(G)-2019*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. https://e-book.acfs.go.th/Book_view/156 (in Thai)
- Nopparatmaitri, M., Panthong, A. and Kitpipit, W. (2013). Effects of Indoor Environment Management in Closed Houses on the Production Performance of Laying Hens. *RMUTP Research Journal Sciences and Technology*, 5, 234-241.
- Oyarzun, P., Arancibia, F., Canales, C. and Aroca, G.E. (2003). Biofiltration of High Concentration of Hydrogen Sulfide Using *Thiobacillus thausor*. *Process Biochemistry*, 39(2), 165-170. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00050-5)

- Panich, N., Panic, S., Limpasene, W., Chongwisat, W. and Sueadee, W. (2023). *Air Pollution Treatment Systems* (7th ed). Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Phonprasit, P. (2008). *Teaching Materials for the Subject of Egg Production*. Agricultural Science and Technology Chonburi. (in Thai)
- Phothiwichayanon, S. (2011). *Fixed-Film Bioscrubber Capacity Development*. Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Potivichayanon, S. (2005). *Removal of Hydrogen Sulfide by Fixed-Film Bioscrubber*. (Ph.D. dissertation, Mahidol University). <https://repository.li.mahidol.ac.th/handle/123456789/88721>
- Price, K. (2023, 7 November). *How to Control Ammonia Levels in Poultry Houses*. Alltech. <https://www.alltech.com/blog/how-control-ammonia-levels-poultry-houses> (in Thai)
- Prombaiyen, N. (2025, June 13). *Odor Elimination in Livestock Farms*. <https://certify.dld.go.th/certify/images/download/meeting%20papers/651206/1.pdf>
- Pudi, A., Rezaei, M., Signorini, V., Andersson, M.P., Baschetti, M.G. and Mansouri, S.S. (2022). Hydrogen Sulfide Capture and Removal Technologies: A Comprehensive Review of Recent Developments and Emerging Trends. *Separation and Purification Technology*, 298, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121448>
- Shareefdeen, Z. and Singh, A. (2008). *Biotechnology for Odor and Air Pollution Control* (1st ed). Springer.
- Sirianuntapiboon, S. and Chuamkaew, C. (2007). Packed Cage Rotating Biological Contactor System for Treatment of Cyanide Wastewater. *Journal of The Bioresource Technol*, 98(2), 266-272. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.014>
- Wattanjira, L. (2015). *Microbiological Analysis Operation Manual for the Environment: Water and Waste*. Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna. (in Thai)
- Wongphadungkiet, P. and Suwannawitayakorn, P. (2011). Commercial Seed in Wastewater Treatment Process of Fish Meal Factory. *Kasetsart Engineering Journal*, 24(77), 24-33. (in Thai)
- Yao, X., Shi, Y., Wang, K., Wang, C., He, L., Li, C. and Yao, Z. (2022). Highly Efficient Degradation of Hydrogen Sulfide, Styrene, and M-Xylene in a Bio-Trickling Filter. *Science of the Total Environment*, 808, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152130>