



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ
ด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการเพื่อสังคม
ของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ

สัญญาเลขที่ RDG 5850083

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ
ด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการเพื่อสังคม
ของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
อาจารย์ศรีไพร สกุลพันธ์	คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
นางสาวสร้อยรัตน์ดา สามโพธิ์ศรี	เทศบาลตำบลป่าเป้า อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
นายสุทธิรัตน์ ปาลาศ	เครือข่ายเกษตรทางเลือกจังหวัดอุดรธานี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด สำหรับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวัสดุกำจัดที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาสภาวะอิ่มตัว (Breakthrough Point) ของถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็กจากโรงกลึง และเหล็กออกไซด์จากระบบประปาบาดาล วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มีการคำนวณต้นทุนการผลิตที่ใช้วัสดุในท้องถิ่น ประเมินการยอมรับและผลลัพธ์ทางสังคม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่า (1) ระดับความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ เหล็กออกไซด์ขนาด S มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด (368.33 นาที) (2) ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด (406.66 นาที) ไม่แตกต่างทางสถิติจากเหล็กออกไซด์ ขนาด M (325.66 นาที) และ (3) ระดับความทนของวัสดุกำจัดที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด (506.66 นาที) ไม่แตกต่างทางสถิติจากเหล็กออกไซด์ ขนาด M (491.66 นาที) และเหล็กออกไซด์คละขนาด (435.00 นาที) ตามลำดับ

ผลการวิจัยมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกรสวนยางพาราและชาวประมง ที่เกาะหมากน้อย อำเภอเมือง จังหวัดพังงา จำนวน 52 ราย จากการประเมินพบว่าผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีพึงพอใจในระดับมาก (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.63) ส่วนผลการวิจัยการรับรู้ต่อคุณสมบัติของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่า ผู้ใช้รับรู้ได้ดีว่าการไม่ใช้ชุดกำจัดในด้านของคุณประโยชน์ ความสอดคล้องและเหมาะสมกับผู้ใช้ ความสามารถในการแบ่งทดลองได้ และการสังเกตเห็นผลได้ชัดเจน รวมทั้งมีความยุ่งยากน้อยในการใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังกล่าว

ทั้งนี้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขนาด 50 เซนติเมตรพร้อมอุปกรณ์ประกอบ มีต้นทุนการผลิตและค่าบริหารจัดการกลุ่ม รวม 961.22 บาท ขณะที่ผลลัพธ์ทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดประโยชน์กับครัวเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้ม (ร้อยละ 39) วิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง (ร้อยละ 33) องค์กรภาครัฐ (ร้อยละ 22) ครัวเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ (ร้อยละ 4) และชุมชนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 2 และมีผลตอบแทนทางสังคม (SROI) เท่ากับ 1.19 ในปีที่ 1 และ 2.86 ในปีที่ 5 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เหล็กออกไซด์ ก๊าซชีวภาพ

Abstract

The purpose of the study was to develop a system to eliminate the hydrogen sulfide in biogas through clean technology. To operate the business for the social enterprises regarded as green energy Ban Huay Bong, located in Uttaradit, the effectiveness was tested with different absorbent materials to study about the breakthrough point of activated carbon, iron (rust) and iron oxide from a groundwater supply. The experimental design was Completely Randomized Design (CRD). Study the cost of production using local materials, acceptance and results the technological transfer of hydrogen sulfide removal system to the target group were evaluated.

The results showed that (1) The security level of biogas users who used biological iron oxide with an S size had the best effective removal (368.33 minutes) (2) The security level of the engine using the biogas was effective in the best removal (406.66. minutes) and was not significantly different from the oxide iron with an M size (325.66 minutes) and (3) The duration level of absorbent materials of which hydrogen sulfide was not exceeding 500 ppm. The oxide Iron with the S size was effective in the best removal (506.66 minutes) and was not significantly different from oxide iron with the M size (491.66 minutes) and oxide iron with mixed sizes (435.00 minutes), respectively.

Based on the findings of this study, technology was transferred to 52 people: plantation farmers and fishermen of Koh Mak Noi, Muang District, Phang Nga. The results of the evaluation found that the people who learned about the technology contained the most satisfaction (on the average of 3.63) However, The result of perception in the properties of hydrogen sulfide removal demonstrated that the users recognized that the new removal set is better than the old one in terms of relative advantages, compatibility for the users, trialability, observability, and non-complexity in respectively using.

Additionally, the hydrogen sulfide removal set with a 50 cm with accessories of which production costs and management fees included 961.22 baht , while the current value of a set of social results and elimination hydrogen sulfide consisted of beneficial promotions: households installed with the set of the gas removal (39 percent), energy conservation people in Ban Huay Bong (33 percent), the public section (22 percent), households that installed a biogas removal for engine (4 percent), and the communities which installed the kit of gas removal (2 percent), and hydrogen sulfide removal set have Social Return On Investment (SROI) 1.19 in 1st year and 2.86 in 5th year respectively.

Keywords: Hydrogen Sulfide, Iron Oxide, Biogas

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด สำหรับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการศึกษาหาคำตอบทางวิชาการจากการวิจัยเพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปหนุนเสริมการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับวิสาหกิจชุมชนและกลุ่มผู้ผลิตสินค้ารายย่อยที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเพื่อแก้ปัญหาด้านสุขภาวะของผู้ใช้และปัญหาความเสียหายของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ รวมทั้งจัดให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการสร้างการเรียนรู้ให้กับชุมชนเพื่อการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสม มากกว่าการพึ่งพิงเทคโนโลยีที่นำเข้า ภายใต้แนวคิดหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง “พอประมาณ มีเหตุผล การมีภูมิคุ้มกัน” บนเงื่อนไข “ความรู้ และคุณธรรม” เพื่อการพัฒนาสังคมไทย

การวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยร่วมกับภาคีที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อชุมชน เช่น วิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี, วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตข้าวแคบยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล จังหวัดอุดรธานี ฯลฯ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด สำนักงานพลังงานจังหวัด ที่มีการส่งเสริมระบบก๊าซชีวภาพให้กับประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ และมีความพร้อมในการนำเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดและใช้วัสดุในท้องถิ่นไปส่งเสริมในชุมชนด้วยงบประมาณขององค์กร

การดำเนินงานใช้กรอบเนื้อหาเชิงทฤษฎีของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในการออกซิเดชันแบบแห้ง โดยใช้เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่เป็นของเสีย (waste) มาเพิ่มมูลค่า (value-added) เป็นตัวกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยพัฒนาต่อยอดงานวิจัยของ เจษฎา มิ่งฉายและคณะ (2556, 2557) โดยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด ปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาตรวัสดุของระบบ และต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังศึกษาถึงคุณสมบัติของนวัตกรรมที่ส่งผลต่อการยอมรับนวัตกรรม (adoption process) ของเกษตรกรรายย่อย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีการพัฒนาจากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมในโครงการวิจัยฯ ยังไม่พบการทดลองโดยการใช้เหล็กออกไซด์จากวัสดุท้องถิ่นมาเป็นสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่อย่างใด

ผลการวิจัยที่ได้นำไปหนุนเสริมทางวิชาการให้กับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี ที่มีการผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มีประสิทธิภาพเพื่อปัญหาความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและวัสดุในท้องถิ่นคือสนิมเหล็กจากระบบประปาบาดาล ผู้ใช้สามารถสร้างระบบการกำจัด ดูแล และซ่อมบำรุงระบบได้ด้วยตนเอง โดยมีต้นทุนการผลิตระบบที่ต่ำ (ไม่เกิน 1,000 บาท ต่อชุด) และอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี รวมทั้งเป็นการสร้างนักวิจัยในชุมชนอีกทางหนึ่งด้วย ประกอบกับทางภาควิชาการ อาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา ในมหาวิทยาลัยฯ ได้เกิดกระบวนการเรียนรู้ผ่านการทดลองและค้นคว้าภายใต้โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับเกษตรกรรายย่อย มีการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในระดับประเทศ โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 4 ระยะคือ

ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด ผลการทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการต้นน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ การศึกษาใน

ภาคสนามพบว่ามีความเป็นไปได้ของวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide: Fe_2O_3) ที่เป็นของเหลือทิ้งจากระบบประปาในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ โดยมีการจัดการรวบรวมวัตถุดิบ จากแหล่งวัตถุดิบมายังกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเป้า จังหวัดอุดรดิตถ์ คือ ตั้งแต่จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ การออกแบบการทดลองและสร้างอุปกรณ์ ใช้ท่อออลิกลีไซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร สำหรับการบรรจุเหล็กออกไซด์ มีระบบวาล์วควบคุมแรงดันก๊าซและช่องสำหรับการวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการไหลย้อนของก๊าซชีวภาพในระบบ

ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลการทดลองระยะนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แตกต่างกันระหว่างชนิดวัสดุกำจัด เพื่อศึกษาสถานะอิมิตัว (breakthrough point) ของวัสดุกำจัดที่แตกต่างกันในช่วงต่างกัน (breakthrough curve) เป็นการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 6 สิ่งทดลอง คือ ถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็กโรงกลึง เหล็กออกไซด์ ขนาด S เหล็กออกไซด์ ขนาด M เหล็กออกไซด์ ขนาด L และเหล็กออกไซด์ คละขนาด เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (%) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm.) ใน 2 ลักษณะคือ ก่อนเข้าระบบกำจัดและหลังจากระบบกำจัด วิเคราะห์ผลโดยการนำข้อมูลไปคำนวณและเปรียบเทียบเชิงสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) ผลการทดลองมีดังนี้

2.1 ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm. เฉลี่ย 368.33 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ เหล็กออกไซด์ ขนาด M มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที เหล็กออกไซด์ คละขนาด มีระยะเวลาเฉลี่ย 191.66 นาที โดยสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวัสดุทดลองอื่นๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

2.2 ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ ที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย 406.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ เหล็กออกไซด์ ขนาด M มีระยะเวลาเฉลี่ย 325.66 นาที เหล็กออกไซด์ คละขนาด มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที โดยเหล็กออกไซด์ ขนาด S มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดเท่ากับเหล็กออกไซด์ ขนาด M และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่น

2.3 ระดับความทนของวัสดุกำจัด ระดับความคงทนของวัสดุกำจัดที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. เฉลี่ย 506.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ เหล็กออกไซด์ ขนาด M มีระยะเวลาเฉลี่ย 491.66 นาที เหล็กออกไซด์ คละขนาด มีระยะเวลาเฉลี่ย 435.00 นาที โดยข้อมูลสรุปได้ว่า เหล็กออกไซด์ ขนาด S มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ เหล็กออกไซด์ ขนาด M และเหล็กออกไซด์ คละขนาด

2.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในภาคสนาม ดำเนินการบูรณาการทรัพยากร งบประมาณ ร่วมกับโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี และกิจกรรม CSR ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) โดยทางโครงการรับผิดชอบพื้นที่เกาะหมากน้อย ตำบลเกาะปันหยี จังหวัดพังงา

โดยมีภาคีที่เข้าร่วมกิจกรรม ประกอบไปด้วย 13 องค์กร ทั้งภาควิชาการ ภาคราชการ ภาควิชาการ ปกครองส่วนท้องถิ่น ภาคเอกชน และองค์กรพัฒนาเอกชน ผู้เข้ารับการอบรมประกอบไปด้วยเกษตรกร ผู้ผลิตยางพารา และชาวประมงรายย่อยจาก หมู่ที่ 1 2 5 9 และ 10 ตำบลเกาะปันหยี จำนวน 52 ราย บุคลากรกิจกรรม CSR บริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทักษิณ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ฯลฯ ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจในภาพรวมของการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ในระดับมาก (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.63)

ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลการทดลองระยะนี้เป็นกระบวนการจัดการกลางน้ำ (2) ของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งในเรื่องต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ฯลฯ แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ ต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วยจากต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากค่าวัสดุ อุปกรณ์ประกอบ และค่าแรงงานในการประกอบชุดคอลัมน์ และต้นทุนการบริหารจัดการที่เกิดจากการบริหารจัดการกลุ่มกิจการเพื่อสังคม (SE) เมื่อสรุปต้นทุนชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพขนาด 50 เซนติเมตร ปริมาตรความจุเม็ด Fe_2O_3 1 กิโลกรัม พบว่ามีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 961.22 บาทต่อชุด

ด้านผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ มูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์ทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ประกอบไปด้วยสัดส่วนที่เกิดประโยชน์ดังนี้ ครั้วเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้ม (ร้อยละ 39) รองลงมา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง (ร้อยละ 33) องค์กรภาครัฐ (ร้อยละ 22) ครั้วเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ (ร้อยละ 4) และชุมชน ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยมีผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อยมีผลตอบแทนทางสังคม (SROI) เท่ากับ 1.19 ในปีที่ 1 และเพิ่มเป็น 2.86 ในปีที่ 5 ตามลำดับ

ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลการศึกษากระบวนการจัดการปลายน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านการยอมรับเทคโนโลยีของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในเรื่องคุณสมบัติของนวัตกรรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ให้กับเป้าหมาย ฯลฯ โดยศึกษาจากการรับรู้คุณสมบัติเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจำนวน 5 ด้านคือ (1) คุณประโยชน์ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่ามีคุณสมบัติด้านคุณประโยชน์ แต่ในพื้นที่เกาะหมากน้อยไม่มีการใช้วัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก่อน แต่สามารถกำจัดโดยเห็นอย่างเป็นรูปธรรมผ่านการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ลดการเหม็นแสบจุกโดยเฉพาะวัตถุดิบจากน้ำเสียการผลิตยางพาราแผ่น และจากเศษอาหาร เศษปลาจากการประมง (2) ความสอดคล้องเหมาะสม ผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดรับรู้ว่ามีคุณสมบัติด้านความสอดคล้องเหมาะสมกับผู้ใช้เทคโนโลยีฯ โดยชุดนี้สามารถติดตั้งและอยู่ร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ มีขนาดไม่ใหญ่มาก และใช้อุปกรณ์ วัสดุ และเทคโนโลยีที่มีอยู่ในชุมชนได้ (3) ความยุ่งยากซับซ้อนของเทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่ามีคุณสมบัตินี้มีความง่ายต่อการนำไปปฏิบัติ รับรู้ว่ามีคุณสมบัตินี้ เมื่อนำไปติดตั้งและปฏิบัติจริงในบริเวณบ้านได้ไม่ยาก ไม่ต้องดูแลมาก ประเด็นที่สอบถามมากคือการระบายความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในท่อ (4) ความสามารถแบ่งทดลองได้ของเทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่ามีคุณสมบัตินี้สามารถแบ่งทดลองได้ดี สามารถทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างชัดเจน มีการประชุมเพื่อทดลองติดตั้ง 52 ชุดแรกของเกาะหมากน้อยเพื่อสร้างการเรียนรู้ (5) การสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนของเทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่ามีคุณสมบัตินี้ สามารถสังเกตเห็นผลได้

ชัดเจน จากการลดลงของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเครื่องมือวัด การเห็นผลการเปลี่ยนแปลงจากสีของสารกำจัดจากสีน้ำตาลส้มเป็นสีดำ

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีประเด็นการอภิปรายและข้อเสนอแนะการประยุกต์ใช้คือ วัตถุดิบจากระบบบ่อบำบัดน้ำเสียมีศักยภาพเพียงพอ แต่การรวบรวมให้ได้คุณภาพที่ดีเพื่อส่งต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จำเป็นต้องมีการฝึกทักษะ รวมทั้งการสร้างเครือข่ายระหว่างผู้ดูแลระบบประปาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง เพื่อการส่งต่อวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่องตามมาตรฐานของวัตถุดิบ นอกจากนี้ การนำเหล็กออกไซด์ไปใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ควรผลิตเม็ดเหล็กออกไซด์ให้มีช่วงความกว้างเฉลี่ย 8-9 มิลลิเมตร สำหรับการใช้จริงคือคละขนาดได้โดยไม่ต้องนำมาคัดเกรดแต่อย่างใด

ส่วนประเด็นของวัสดุที่ใช้เป็นคอลัมน์นั้น จากการทดลองที่คณะผู้วิจัยใช้ท่อคลิกลิสเพื่อเหตุผลของการให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุกำจัดที่เปลี่ยนสี ทำให้เกิดการยอมรับในการใช้วัตรกรรมเพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีประโยชน์ในการสังเกตเห็นชัดเจน แต่ก็มีต้นทุนท่อคลิกลิสในการผลิตชุดขนาด 50 เซนติเมตร ถึง 400 บาท หากสามารถลดต้นทุนส่วนนี้ได้ จะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมลดลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลดีต่อเกษตรกรรายย่อยหรือผู้ที่ส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย

ขณะที่ การผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเหล็กออกไซด์นั้น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ดังกล่าวสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการกระจายสินค้าสู่กลุ่มเป้าหมายมีทางกองส่งเสริมการเกษตร เทศบาลตำบลป่าเซ่า ช่วยอำนวยความสะดวกในระดับที่น่าพึงพอใจ แต่การกระจายวัตรกรรมนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพที่มีอยู่แล้วในประเทศทำได้ไม่ไว้วางใจ การดำเนินการในเรื่องนี้จึงมีแนวทางที่ต้องประสานหน่วยงานที่กำกับดูแลและส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกในประเทศไทย คือ กระทรวงพลังงาน กรมปศุสัตว์ และกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น ให้เข้าใจและยอมรับการใช้งานวัตรกรรมนี้ และบรรจุวัตรกรรมนี้กับอุปกรณ์การผลิตก๊าซชีวภาพไปตั้งแต่ตอนตั้งงบประมาณการส่งเสริมในประเด็นนี้จะสร้างความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ก๊าซชีวภาพตั้งแต่เริ่มต้น ส่วนกรณีของผู้ที่ใช้งานก๊าซชีวภาพมาแล้ว สามารถทำในลักษณะของบริษัทไทยออยล์ (มหาชน) ที่เข้าร่วมการปฏิบัติการ CSR ที่เกาะหมากน้อยในช่วงการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ในงานวิจัยนี้ จะทำให้เกษตรกรที่ระบบการผลิตแล้วสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ อาจไม่ใช้ในรูปแบบของการให้เปล่าแต่ในรูปแบบของการลงทุนร่วม (ค่าแรง) หรือการบริหารจัดการโดยกลุ่มเกษตรกร ฯลฯ

นอกจากนั้น การสร้างกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอื่นๆ ที่สนใจผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (พื้นที่ที่มีวัตถุดิบ) เพื่อสร้างงาน สร้างรายได้ และลดต้นทุนด้านการขนส่งอุปกรณ์และวัตถุดิบ สามารถมาเป็นเครือข่ายร่วมกันได้ผ่านการประสานงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยทางคณะผู้วิจัยพร้อมถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้

ขณะที่วัตรกรรมนี้มีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาคุณลักษณะสำหรับการใช้งานในระดับที่สูงขึ้น ในระดับอุตสาหกรรม หรือพัฒนารูปแบบจากเม็ดทรงกลม ให้เป็นแผ่น Filter หรือรูปทรงอื่นที่พร้อมการใช้งาน แม้กระทั่งการขึ้นแม่พิมพ์สำหรับคอลัมน์ขึ้นเดียวเพื่อประโยชน์การใช้งานที่ง่ายต่อการบำรุงรักษา จึงควรเปิดรับนักวิจัยที่มีความเฉพาะทางมาทำให้ชิ้นงานนี้เดินต่อไปเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อไป.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
บทสรุปผู้บริหาร	ค
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ฎ
สารบัญแผนภูมิ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	5
ขอบเขตของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
กรอบแนวคิดการวิจัย	7
	8
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ส่วนที่ 1 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ	8
ส่วนที่ 2 แนวคิดและหลักการของเทคโนโลยีสะอาด	11
ส่วนที่ 3 กระบวนการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร	13
ส่วนที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทสรุปการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
	20
บทที่ 3 วิธีวิทยาการวิจัย	
ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด	20
ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	21
ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	21
ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	21
แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	22
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	22

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัย	23
ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด	23
1.1 การจัดการวัตถุดิบ	23
1.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดเหล็กออกไซด์	26
1.3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ (Column)	28
ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	29
2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่แตกต่างกัน (การทดลองที่ 1)	29
2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่แตกต่างกัน (การทดลองที่ 2)	41
2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดและการคืนสภาพ (Regenerate)	46
2.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในภาคสนาม	49
ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	53
3.1 การศึกษาต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	53
3.2 ศึกษาผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	55
ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	57
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	59
สรุปผลการวิจัย	59
อภิปรายและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	
หนังสือรับรองการเป็นวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง	59
การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรม และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	68
กรอบการคิดผลตอบแทนทางสังคม (SROI) ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	69
ประวัตินักวิจัย	74

สารบัญตาราง

ตาราง	ชื่อตาราง	หน้า
1	ระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย	9
2	ข้อมูลผลการวิเคราะห์หลักในน้ำประปาพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ปี พ.ศ.2558	25
3	รายละเอียดความกว้างของเม็ดเหล็กออกไซด์จำแนกตามขนาดที่ใช้ในการทดลอง	29
4	รายละเอียดน้ำหนักของเม็ดเหล็กออกไซด์จำแนกตามขนาดที่ใช้ในการทดลอง	29
5	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 1 ถ่านกัมมันต์	32
6	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (S)	34
7	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 3 ฝอยเหล็ก (M)	35
8	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (S)	36
9	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 5 เหล็กออกไซด์ (M)	39
10	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 6 เหล็กออกไซด์ (L)	40
11	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองจำแนกตามเกณฑ์ความปลอดภัย	42
12	ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (100 ppm.)	44
13	ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ (200 ppm.)	45
14	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระดับความคงทนของวัสดุ (500 ppm.)	47
15	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (1)	48
16	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (2)	49
17	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (3)	49
18	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (4)	50
19	ประสิทธิภาพโดยรวมของสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพหลังการ Regenerate จากผลการทดลอง 4 ครั้ง	50
20	การดำเนินงานโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	ชื่อตาราง	หน้า
21	ผลการประเมินโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ฯ รุ่นที่ 4	54
22	การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรม และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	70
23	กรอบการคิดผลตอบแทนทางสังคม (SROI) ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	71
24	ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลสมาชิกวิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง	72
25	ต้นทุน รายรับ รายได้ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง	73
26	ข้อมูลสถิติอื่นประกอบการคำนวณผลตอบแทนทางสังคม (SROI)	74
27	ข้อมูลประกอบการคำนวณผลตอบแทนทางสังคม (SROI)	75

สารบัญภาพ

ภาพ	ชื่อภาพ	หน้า
1-3	คอลัมน์การบรรจุตัวกำจัดภายหลังใช้งาน 15 วัน, ตัวกำจัดที่ทำปฏิกิริยากลายเป็น Fe_2S_3 และตัวกำจัดที่คืนสภาพเดิม (Fe_2O_3) ภายหลังได้รับอากาศ 3 ชั่วโมง	3
4	กรอบแนวคิดในการวิจัยโครงการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนฯ	7
5	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบบ 2-D dimensions และ Space-filling model molecule	8
6	หลักการของเทคโนโลยีสะอาด	12
7	กรอบแนวคิดการยอมรับนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพของเกษตรกร	14
8-13	ระบบประปาบาดาลชนิดกรองด้วยทรายที่มีเหล็กออกไซด์ปนเปื้อน	24
14-18	ระบบประปาบาดาลชนิดบ่อดกตะกอนที่มีเหล็กออกไซด์ปนเปื้อน	24
19-22	การรวบรวมวัตถุดิบเหล็กออกไซด์จากแหล่งวัตถุดิบ	25
23-25	การตรวจวิเคราะห์คุณภาพเหล็กออกไซด์จากแหล่งวัตถุดิบ	26
26-29	การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพเม็ดเหล็กออกไซด์	26
30-32	ลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์ขนาด S M L	27
33-37	การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์	28
38-40	การออกแบบและอุปกรณ์ทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	28
41-42	การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยถ่านกัมมันต์ (T1)	30
43-45	การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยฝอยเหล็ก S (T2)	31
46-48	การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยฝอยเหล็ก M (T3)	33
49-51	การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์	36
52-55	การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เกาะหมากน้อย	51
56-59	ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในพื้นที่ปฏิบัติการชาวประมงรายย่อย เกาะหมากน้อย	52
60-62	คุณสมบัติของนวัตกรรมของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเม็ดเหล็กออกไซด์ที่เปลี่ยนสี	57

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	ชื่อแผนภูมิ	หน้า
1	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 1 ถ่านกัมมันต์	29
2	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (S)	31
3	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (M)	33
4	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (S)	35
5	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (M)	36
6	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (L)	38
7	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) จำแนกสิ่งทดลอง	39
8	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (%) จำแนกตามสิ่งทดลอง	40
9	ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (100 ppm.)	42
10	ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (200 ppm.)	44
11	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระดับความคงทนของวัสดุ (500 ppm.)	45
12	แสดงประสิทธิภาพของสารกำจัดหลังการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate)	49
13	มูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์ทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	55
14	ผลตอบแทนทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ระยะ 5 ปี	56

บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ก๊าซชีวภาพ (biogas) เป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้ในประเทศ โดยใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากระบบการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เพื่อลดข้อจำกัดของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานที่สอดคล้องกับวิถีการผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย เพราะมีการผลิตระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาทิเช่น ฟาร์มโคนม ฟาร์มสุกร ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร ฯลฯ รวมทั้งมีการประยุกต์เทคโนโลยีกับเกษตรกรรรายย่อยมาตลอด ไม่ว่าจะเป็นระบบบ่อโดมคงที่ (fixed dome) ระบบถังหมัก 200 ลิตร ระบบบ่อหมักแบบถุงพีวีซี (PVC) และระบบบ่อหมักแบบผ้าใบเต็นท์ ฯลฯ โดยคุณสมบัติของก๊าซ¹ ต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพของระบบ แตกต่างกันตามเงื่อนไขและบริบทของแต่ละพื้นที่ (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2554)

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไป ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-35 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสารประกอบอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (siloxanes) เป็นต้น ทั้งนี้ชนิดของสิ่งปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับแหล่งหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต อย่างไรก็ตามก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่ผู้ผลิตก๊าซชีวภาพต้องมีการกำจัดก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ เพราะส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งตัวผู้ใช้ อาจมีอาการพิษเฉียบพลันของผู้ที่ได้รับก๊าซนี้คือ คลื่นไส้ หายใจขัดต่อเนื่องจากการขาดออกซิเจน หมดสติ และอาจถึงตายได้ถ้ามีความเข้มข้นสูง รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเครื่องยนต์ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555, สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง, 2554)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์² (Hydrogen sulfide, H_2S) จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบซัลเฟอร์ระเหยง่าย (Volatile Sulfur Compounds: VSCs) (Moosavi, R.G., and others, 2005) โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยสารอินทรีย์นี้จะถูกทำให้เน่าเปื่อยด้วยการใช้ออกซิเจนที่มาจากการปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นผลทำให้ไอออนซัลไฟด์ (S_2^{2-}) ทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจน (H^+) ในน้ำและเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหิน หรือน้ำมันที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือฟาร์มสุกร ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้เพราะ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งเมื่อ

¹ คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ) คือ ปริมาณ CH_4 65-70 % ปริมาณ CO_2 30-35 % ปริมาณ H_2S 1,000 ppm. (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555)

² ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง จะมีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศมีความหนาแน่น 1.4 g/L. (ความหนาแน่นของบรรยากาศ 1.2 g/L) จะสะสมรวมตัวกันอยู่ที่บริเวณล่างสุดของพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเทไม่สะดวก กรณีที่ก๊าซมีความเข้มข้น สูงหรือภายหลังจากการสูดดมเป็นระยะเวลานานเกิดอัมพาตกับระบบทางเดินหายใจและการเสียชีวิตอาจเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (http://cbs.grundfos.com/thailand/lexica/WW_Hydrogen_sulphide.html)

รวมตัวกับไอน้ำหรือฝนจะก่อให้เกิดไอน้ำหรือฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการดำรงชีพของคนสัตว์และพืช

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนมาก ตัวอย่างเช่น ก๊าซดังกล่าวจะมีหน้าที่ทำให้เกิดการกระบวนกรกัดกร่อนขึ้นในท่อระบายน้ำเสีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เหล็กบางชนิดเปราะบางลง และอาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกตัวของแรงเครียดซัลไฟด์ได้ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศจะทำการออกซิไดซ์กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แตกตัวเป็นไอออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) โดยไอออนซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจนอิสระ (H^+) ในบริเวณพื้นที่ที่มีความชื้นและก่อให้เกิดเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) อีกต่อหนึ่ง

โดยมาตรฐานความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพที่กำหนดโดย OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ในช่วงระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง คือความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องมีค่าไม่เกิน 10 ppm. ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง ต้องมีความเข้มข้นของก๊าซไม่เกิน 300 ppm. การสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 600 ppm. เพียงในช่วงเวลา 30 นาที ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ ส่วนมาตรฐานของก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (electric power generator) คือจะต้องมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนอยู่ไม่เกิน 100-200 ppm. การศึกษาเทคนิคที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากอากาศและจากก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีต้นทุนการดำเนินการที่ไม่สูงมากจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง (ปัทมา อรุณราช และคณะ, 2552)

ในระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีเทคนิควิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์คือ การผ่านกระบวนการออกซิเดชันแบบแห้งและแบบเปียก³ เช่น การเติมออกซิเจนเข้าระบบแต่ต้องควบคุมความเข้มข้นเพื่อป้องกันการระเบิด การดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์ การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์⁴ (activated carbon) การดูดซับทางเคมี โดยเติมสารละลาย Fe(III)-EDTA ลงในระบบ (พิชญา ยงค์ดี และคณะ, 2554) นอกจากนั้น คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการพัฒนาตัวกลางสำหรับการดูดซับที่ทำจากทรายผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 2:1 และเคลือบด้วยสารละลายเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ ใส่ไว้ในชุดดูดซับแบบท่อ PVC คู่ (สุชน ตั้งทวีพิพัฒน์และคณะ, 2555: 201-204) รวมทั้ง สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้มีการวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ CM1 (*Paracoccus* sp.) ในระบบถังลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์⁵ (CMU Bio-Scrubber) โดยจัดให้เป็นการลดแบบ biological process

จากเทคนิคและวิธีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่กล่าวมาข้างต้น เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้ในระดับอุตสาหกรรม หรือเกษตรกรรายใหญ่ ประกอบกับ วิธีการ ขั้นตอน ต้นทุน และการเข้าถึงวัสดุไม่สอดคล้องกับวิถีของการใช้ในระดับชุมชนและเกษตรกรรายย่อยที่จะดูแลระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่อย่างใด และจากการสืบค้นข้อมูลของคณะผู้วิจัยฯ พบว่า มีวิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับเกษตรกรรายย่อย เช่น การให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านน้ำปูนขาว ผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผ่านน้ำขี้เถ้า ผ่านสนิมจากฝอยเหล็กโรงกลึง ฯลฯ ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับองค์ความรู้ทางอุตสาหกรรม แต่ยังพบสิ่งที่

³ Kapdi, S.S., Vijay, V.K., Rajesh, S.K. and Prasad, R. (2005)

⁴ เป็นถ่านที่มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวภายในมาก ผลิตจากเปลือกมะพร้าว ฯลฯ ราคาไม่แพง เป็นตัวดูดซับ เป็นที่ยอมรับในด้านต้นทุน

ที่ต่ำ ใช้คาร์บอนน้อย เงื่อนไขสำคัญการใช้คือ ต้องออกแบบให้ความเร็วอากาศที่ผ่านไม่ควรเกิน 0.5 เมตร/วินาที และไม่ควรมากกว่า 0.1 เมตร/วินาที ความลึกถ่านไม่ควรเกิน 4-6 นิ้ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ประชาคมวิจัย สกว. ฉบับที่ 97 หน้า18)

⁵ สามารถรองรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบได้สูงสุด 4,000 ppm. ให้เหลือไม่เกิน 100 ppm.

แตกต่างกันคือ การขาดข้อกำหนด ขาดข้อบังคับ ประสิทธิภาพโดยรวม อันตราย ข้อดี ข้อจำกัดในแต่ละวิธีการ นั้นเป็นเช่นไร ซึ่งส่วนใหญ่แล้วผู้อ่านสื่อสารสนเทศ ต้องใช้การตีความ การคาดการณ์ด้วยตนเอง และอาจต้อง ทดลองปฏิบัติ จนอาจทำให้เกิดกรณีเสียหาย⁶ กับเกษตรกรรายย่อยโดยทั่วไป

นอกจากนั้น การตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ฝอยเหล็กจากโรงกลึงเพื่อกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อทำปฏิกิริยากับเหล็กไฮดรอกไซด์หรือเหล็ก ออกไซด์แล้วเปลี่ยนเป็นเหล็กซัลไฟด์ และเมื่อเหล็กออกไซด์ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ในการกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว จะต้องมีการเปลี่ยนหรือเติมตัวกำจัดใหม่ เพราะหากไม่มีการเปลี่ยนตัวกำจัดหรือฝอย เหล็ก เท่ากับการปล่อยให้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผ่านไปโดยสะดวกหรือเท่ากับไม่ได้มีการกำจัดแต่ประการใด

ในกรณีนี้ระบบก๊าซชีวภาพบางรุ่นมีการใช้ท่อ PVC ใสฝอยเหล็กจากโรงกลึงเพื่อกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่เกษตรกรไม่ได้เปลี่ยนฝอยเหล็กที่หมดสภาพ และขาดความรู้เรื่องดังกล่าวที่ชัดเจน โดยมิ ความเข้าใจว่าใสฝอยเหล็กครั้งเดียวจะสามารถใช้ได้ตลอดอายุของระบบ⁷ อีกทั้งยังพบท่อ PVC ใสฝอยเหล็กที่ ติดตั้งมาเป็นระบบท่อปิดผนึกด้วยกาว ไม่สามารถเปิดฝาเพื่อเปลี่ยนฝอยเหล็กได้

ขณะที่ผลการวิจัยของ เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ (2556) เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ของเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง อำเภอมือง จังหวัดอุดรธานี พบประเด็นความรู้ที่น่าสนใจคือ การใช้เหล็ก ออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งเป็นของเสีย (waste) ที่เหลือใช้จำนวนมาก อยู่ภายในชุมชนตำบลป่าเช่า อำเภอมือง จังหวัดอุดรธานี ที่มีลักษณะผงสีส้ม⁸ มาพัฒนาเป็นตัวกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการ (1) และ จากผลการวิจัยดังกล่าว ได้ค้นพบแนวทางเบื้องต้นของการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ สร้างเงื่อนไขให้เหมาะสม โดยมีคุณสมบัติการกำจัดมากกว่าวัสดุชนิดอื่น รวมทั้งการที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า⁹ และอายุการใช้งานที่นานกว่า เพราะสามารถฟื้นฟูตัวกำจัดจาก องค์ประกอบ Fe_2S_3 กลับมาเป็น Fe_2O_3 ได้ตามเดิม โดยการเปิดให้อากาศ (O_2) ผ่านระบบ ดังสมการ (2) และ ภาพ 1-3



ภาพ 1-3 (1) คอลัมน์การบรรจุตัวกำจัดภายหลังใช้งาน 15 วัน, (2) ตัวกำจัดที่ทำปฏิกิริยากลายเป็น Fe_2S_3 และ (3) ตัวกำจัดที่คืนสภาพเดิม (Fe_2O_3) ภายหลังได้รับอากาศ 3 ชั่วโมง (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2556)

⁶ ที่มา www.kasetporpeang.com/forum/index.php?action=printpage;topic=49098.0 วันที่สืบค้น 16/9/2555

⁷ การพูดคุยกับเกษตรกรบ้านห้วยบง ตำบลป่าเช่า อำเภอมือง จังหวัดอุดรธานี

⁸ จากการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยวิธี XRF Standardless พบว่ามี สารประกอบ Fe_2O_3 78.3% (เจษฎา มิ่งฉาย, 2555)

⁹ จากการประมาณการเบื้องต้น ต้นทุนวัสดุกำจัดนี้ ไม่เกิน 100 บาทต่อกิโลกรัม

ผลการวิจัยดังกล่าว ข้อมูลการกำจัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการศึกษาเบื้องต้นที่น่าสนใจสำหรับการวิจัยเชิงลึกต่อเนื่องดังนี้ ผู้วิจัยได้สร้างคอลัมน์ (ชั่วคราว) ขนาด 2 นิ้ว ยาว 70 เซนติเมตร บรรจุสารกำจัดปริมาณ 1 กิโลกรัม (ภาพ 1-3) นำไปทดสอบกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ที่มีวัตถุดิบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์¹⁰ จากปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบวัดได้ 210 ppm. และเมื่อผ่านระบบลดลงเหลือ <10 ppm. จากนั้นได้นำไปทดสอบกับระบบก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักแบ่งข้าวแคบ¹¹ จากปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบวัดได้ 3,570 ppm. หลังผ่านจากระบบบำบัด ลดลงเหลือ 20 ppm. ผลการศึกษาเบื้องต้นนี้ มีค่าเฉลี่ยการกำจัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่าง 95.23-99.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการกำจัดด้วยสนิมจากฝอยเหล็กที่มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 50-69 เปอร์เซ็นต์ (สุชน ตั้งทวีพัฒน์และคณะ, 2555: 203) และ 70.22 เปอร์เซ็นต์ (วงศ์วิวรรธ อนุศิลป์ และสุนันทา เลาว์ณศิริ, 2555: 419) ทั้งนี้มีประสิทธิภาพของสารกำจัดชนิดนี้ใกล้เคียงกับระบบถังลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (CMU Bio-Scrubber) ที่มีประสิทธิภาพ >97.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากข้อมูลความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัยที่กล่าวมาเห็นภาพที่ชัดเจนว่า การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุในท้องถิ่นสำหรับเกษตรกรรายย่อยนั้น มีความเป็นไปได้ในทางวิชาการ และมีความจำเป็นในการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้กับเกษตรกร สามารถลดต้นทุนการผลิตจากระบบการกำจัดที่เป็นเทคโนโลยี ซึ่งการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพครั้งนี้ เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสม เกษตรกรสามารถดูแล บำรุงรักษาระบบด้วยตนเองได้ และมีต้นทุนที่ต่ำ หรือกล่าวได้ว่าสอดคล้องกับหลักการเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology: CT) สำหรับการพัฒนาสังคมเกษตรกรรมนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยของเจษฎา มิ่งฉาย และคณะ (2556, 2557) ที่ผ่านมานั้น เป็นเพียงขั้นตอนการหาความเป็นไปได้จากวัสดุชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น (2556) และความเป็นไปได้ในการคืนสภาพ (2557) ยังมิได้มีการทดลองในขั้นตอนการประสิทธิภาพเชิงลึกทางวิชาการ ทั้งในความสัมพันธ์ของปริมาณสารกำจัดกับปริมาณการบำบัด ลักษณะรูปทรง และพื้นที่ผิวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การวิเคราะห์จุดอ้อมตัว (breakthrough point) การยอมรับนวัตกรรม (adoption process) ฯลฯ โดยยังมีปัจจัยและเงื่อนไขของความรู้ที่จำเป็นต้องได้รับการศึกษาอย่างเป็นระบบ ผ่านการสร้างการวิจัยและกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมเป็นสิ่งที่สำคัญ ผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ควรเป็นตัวสร้างความเชื่อมั่นให้กับเกษตรกร การแปลภาษาการวิจัยจากการทดลอง เพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเป็นสิ่งท้าทายนักวิจัยและเกษตรกรรายย่อย

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี จึงมีคำถามการวิจัยดังนี้ 1) ขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการของเทคโนโลยีสะอาดในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุท้องถิ่นมีลักษณะเป็นเช่นไร? 2) ระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดโดยใช้วัสดุท้องถิ่นมีประสิทธิภาพเพียงใด มีต้นทุนเท่าไร และบ่งชี้ได้อย่างไร? และ 3) การยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดโดยใช้วัสดุท้องถิ่นในการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง และภาคีอื่นๆ เป็นเช่นไร?

¹⁰ บ่อก๊าซชีวภาพของนายไพรินทร์ เกิดสาย บ้านห้วยบง ตำบลป่าเป้า อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (เก็บข้อมูล 3 ส.ค. 56)

¹¹ บ่อก๊าซชีวภาพของนางกัญญาวีร์ วันสุข บ้านยางกะไต้ อำเภอถ้ำก๊วย จังหวัดอุดรธานี (เก็บข้อมูล 6 ส.ค. 56)

จากข้อคำถามการวิจัย หากได้มีการศึกษาหาคำตอบทางวิชาการจากกระบวนการวิจัยแล้ว จะได้นำองค์ความรู้ดังกล่าวไปหนุนเสริมการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับวิสาหกิจชุมชนและกลุ่มผู้ผลิตสินค้ารายย่อยที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิตต่อไป รวมทั้งจัดให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการสร้างการเรียนรู้ให้กับชุมชนเพื่อการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสม มากกว่าการพึ่งพิงเทคโนโลยีที่นำเข้า ภายใต้แนวคิดหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง “พอประมาณ มีเหตุผล การมีภูมิคุ้มกัน” บนเงื่อนไข “ความรู้ และคุณธรรม” เพื่อการพัฒนาสังคมไทยให้ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากร/กลุ่มเป้าหมาย: การวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยร่วมกับภาคที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อชุมชน เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด สำนักงานพลังงานจังหวัด โดยมีกลุ่มคนเป้าหมายคือ

1) วิสาหกิจชุมชนคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี, วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตข้าวแคบยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล จังหวัดอุดรธานี ฯลฯ เพื่อการลดต้นทุนในครัวเรือนในค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการหุงต้ม จากก๊าซถัง (LPG) และใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ในวิสาหกิจชุมชนและกลุ่มต่างๆ

2) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด สำนักงานพลังงานจังหวัด ที่มีการส่งเสริมระบบก๊าซชีวภาพให้กับประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ และมีความพร้อมในการนำเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดและใช้วัสดุในท้องถิ่นไปส่งเสริมในชุมชนด้วยงบประมาณขององค์กร

ขอบเขตด้านเนื้อหา/ด้านตัวแปร: การวิจัยนี้ใช้กรอบเนื้อหาเชิงทฤษฎีของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในการออกซิเดชันแบบแห้ง โดยใช้เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่เป็นของเสีย (waste) มาเพิ่มมูลค่า (value-added) เป็นตัวกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยพัฒนาต่อยอดงานวิจัยของ เกษภู มิ่งฉายและคณะ (2556, 2557) โดยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด ปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อปริมาตรวัสดุของระบบ และต้นทุนการผลิต นอกจากนั้นยังศึกษาถึงคุณสมบัติของนวัตกรรมที่ส่งผลต่อการยอมรับนวัตกรรม (adoption process) ของเกษตรกรรายย่อย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีการพัฒนา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

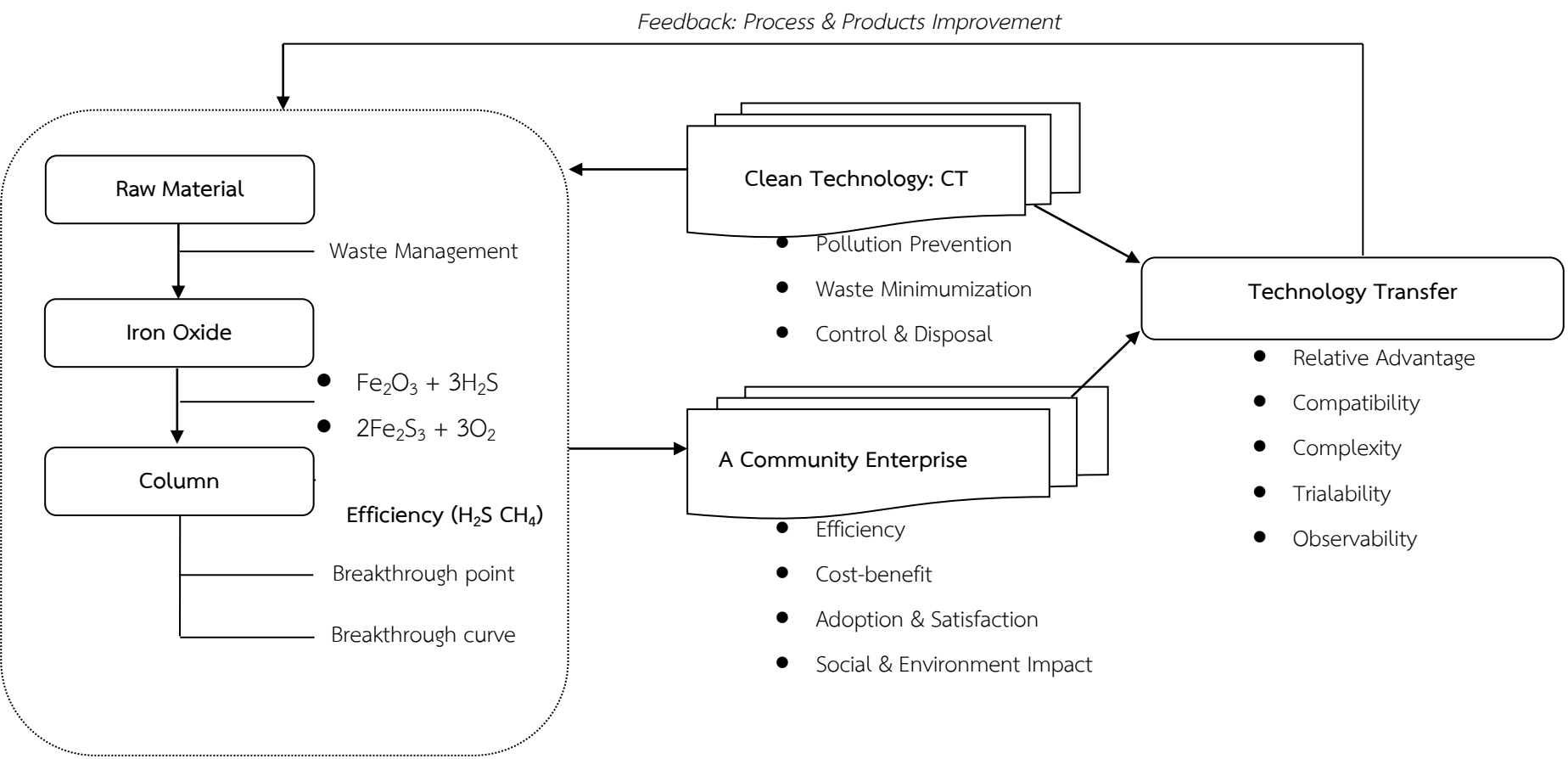
1. การดำเนินการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี ที่มีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมีระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพ ลดปัญหาความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและวัสดุในท้องถิ่น ผู้ใช้สามารถสร้างระบบการกำจัด ดูแล และซ่อมบำรุงระบบได้ด้วยตนเอง โดยมีต้นทุนการผลิตระบบที่ต่ำ (ไม่เกิน 1,000 บาท ต่อชุด) และอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี รวมทั้งเป็นการสร้างนักวิจัยในชุมชนอีกทางหนึ่งด้วย

2. องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานภาคีในพื้นที่ เช่น สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด สำนักงานพลังงานจังหวัด ฯลฯ มีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับการส่งเสริมและเผยแพร่ให้กับผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชน กลุ่มผู้ผลิตสินค้า เกษตรกรรายย่อย ควบคู่กับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพในทุกรูปแบบ สามารถสร้างมาตรฐานคุณภาพชีวิตในแผนงานการส่งเสริมและพัฒนา ทั้งในมิติ ลดรายจ่าย เพิ่มรายได้ และส่งเสริมสุขภาวะ

3. อาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา ในมหาวิทยาลัยฯ ได้เกิดกระบวนการเรียนรู้ผ่านการทดลองและค้นคว้าภายใต้โครงการวิจัยการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด สำหรับเกษตรกรรายย่อย มีการสร้างองค์ความรู้ใหม่ (ระดับประเทศ)

4. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ และภาคีเครือข่าย ได้ดำเนินงานภายใต้พันธกิจของ “มหาวิทยาลัยรับใช้สังคม” เป็นส่วนหนึ่งของ “อุดรดิตถ์โมเดล” และ “หน่วยจัดการความรู้และวิจัยชุมชน” ที่มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี นวัตกรรม เพื่อการใช้ประโยชน์แบบมีส่วนร่วมกับชุมชน โดยมุ่งเน้นการบูรณาการพันธกิจ การวิจัย การเรียนการสอน การบริการวิชาการ ฯลฯ ร่วมกันทั้งตามมิติพันธกิจและมิติบูรณาการศาสตร์ ดังเช่นโครงการวิจัยนี้

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 4 กรอบแนวคิดในการวิจัยโครงการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนฯ

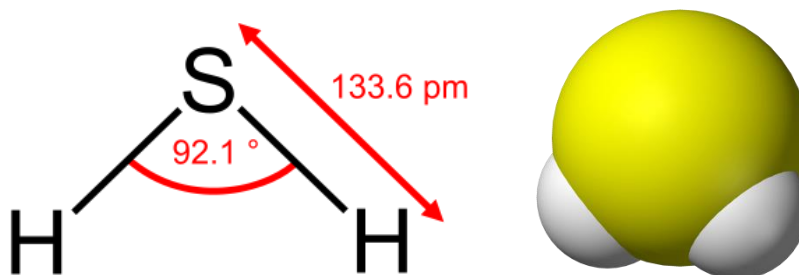
บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (LITERATURE REVIEW)

การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจกรรมเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีการศึกษาและทบทวนวรรณกรรม สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วน กล่าวคือ ส่วนที่ 1 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ ส่วนที่ 2 แนวคิดและหลักการของเทคโนโลยีสะอาด ส่วนที่ 3 กระบวนการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร และส่วนที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดคือ

ส่วนที่ 1 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) หรือก๊าซไข่เน่า มีสูตรโมเลกุล คือ H_2S มีน้ำหนักโมเลกุล 34.04 จุดเดือด -85.5°C จุดหลอมเหลว -60.7°C ความหนาแน่นของแก๊ส 1.393 g/L ที่อุณหภูมิ 25°C ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีลักษณะทางกายภาพเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า และหนักกว่าอากาศ ค่าปริมาณไอระเหยของแก๊สต่ำสุดที่สามารถเกิดการระเบิดได้ หากมีออกซิเจนเพียงพอ (Lower explosive Limit: LEL) อยู่ที่ 4% จึงจัดก๊าซชนิดนี้เป็นแก๊สที่มีความว่องไวในการลุกติดไฟได้ง่ายมากและเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง และอุณหภูมิที่สามารถลุกติดไฟได้เองอยู่ที่อุณหภูมิ 290°C (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, 2556)



ภาพ 5 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบบ 2-D dimensions และ Space-filling model molecule
(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/>)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในของเสียได้แก่ ห้องส้วม บ่อน้ำทิ้ง ถังเกราะถังบำบัดและฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในระบบที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน ในระหว่างการย่อยสลายจะเกิดก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทนขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีผลกระทบต่อผู้คนมากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าถ้าคนเราได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณเล็กน้อยแต่ระยะยาว จะทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายถึงในระดับเสียชีวิตได้ การป้องกันจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากที่สุดในการลดการเสียชีวิตจากก๊าซชนิดนี้ โดยการให้ความรู้แก่ผู้ที่ต้องปฏิบัติงานในที่อับอากาศ

ระดับความเป็นพิษของก๊าซชนิดนี้ หน่วยงาน The American National Standards Institute standard (<http://www.orangeth.com/GasArticles/H2S.html>) ได้แบ่งระดับความเป็นพิษตามระดับความเข้มข้นก๊าซที่ได้รับแสดงดังตาราง 1 จะเห็นว่าก๊าซชนิดนี้ส่งผลเสียต่อมนุษย์ หากได้รับในระดับความ

เข้มข้นต่ำก็ส่งผลให้เกิดอาการระคายเคืองแต่ถ้าได้รับที่ปริมาณความเข้มข้นสูงๆ ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ทันที และนอกจากนี้เมื่อก๊าซพิษชนิดนี้สัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำก็จะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์ทางการกัดกร่อนสูง สามารถกัดกร่อนหลังคาบ้านเรือนรวมไปถึงวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างรุนแรง โดยเฉพาะหากก๊าซชนิดนี้เกาะตัวอยู่บนโลหะหรืออยู่ในอากาศ เมื่อฝนตกลงมาก็จะกลายเป็นไอกรด หรือฝนกรด และถ้าหากถูกผิวหนังก็จะเกิดอาการปวดแสบปวดร้อน

ตาราง 1 ระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย

ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาที่ได้รับ	ผลกระทบต่อร่างกาย
10 ppm.	ขณะที่ได้สัมผัสและสูดดม	เกิดอาการระคายเคืองที่ดวงตา
50 ถึง 100 ppm.	1 ชั่วโมง	จะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อเยื่อเยื่อตา และระบบทางเดินหายใจ ทำให้หายใจติดขัด
100 ppm.	2 ถึง 15 นาที	จะเกิดอาการไอ ระคายเคืองที่ดวงตา สูญเสียการรับรู้กลิ่น
	16 ถึง 30 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสต่อไป จะทำระบบหายใจเริ่มติดขัด หายใจลำบากขึ้น เริ่มเจ็บที่เยื่อเยื่อตาและมีอาการมีน้ำตามมา
	1 ชั่วโมง	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสต่อไป จะมีอาการปวดแสบปวดร้อน ที่คอ เพิ่มขึ้นมาจากอาการก่อนหน้านี้ และหากยังมีการสูดดมต่อเนื่องต่อไปจะทำให้เสียชีวิตภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมงต่อมา
200 ถึง 300 ppm.	1 ชั่วโมง	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อเยื่อตาและระบบหายใจอย่างรุนแรง หายใจติดขัด ปวดแสบที่ลำคอและเยื่อเยื่อตา
500 ถึง 700 ppm.	30 ถึง 60 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้สมองถูกทำลาย สูญเสียความสามารถในการสั่งการและอาจถึงขั้นเสียชีวิต
700 ถึง 1000 ppm.	ช่วงเวลาสั้นๆ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว หยุดการหายใจและเสียชีวิต
1000 ถึง 2000 ppm.	ทันทีที่ได้รับ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส จะทำให้หมดสติทันที หยุดการหายใจและเสียชีวิตในเวลาอันรวดเร็ว

ที่มา: The American National Standards Institute standard: z37.2 (1972)

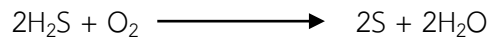
วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ กระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง และกระบวนการออกซิเดชันแบบเปียก (พิชา ยังดี และคณะ, 2554)

1. กระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง กระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของซัลเฟอร์หรือออกไซด์ของซัลเฟอร์ กระบวนการนี้ ใช้สำหรับก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซที่ต้องการบำบัดมีค่าต่ำและก๊าซที่ผ่านการบำบัดจะมีความบริสุทธิ์สูง

1.1 กระบวนการการเติมอากาศหรือก๊าซออกซิเจนเข้าไปในระบบก๊าซชีวภาพ วิธีการนี้จะเป็นการเติมก๊าซออกซิเจนหรืออากาศเข้าไปในระบบก๊าซชีวภาพ โดยต้องมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการระเบิด ก๊าซออกซิเจนจะทำให้ซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพถูกออกซิไดซ์เป็นกำมะถันและน้ำดังแสดงในสมการ



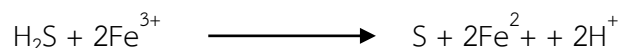
1.2 กระบวนการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์ กระบวนการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์นี้เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับเหล็กไฮดรอกไซด์หรือเหล็กออกไซด์ แล้วเปลี่ยนเป็นเหล็กซัลไฟด์ เมื่อเหล็กออกไซด์ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ครั้งต่อไปจำเป็นต้องมีการเติมเหล็กออกไซด์ใหม่เพื่อให้สามารถนำไปดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้กระบวนการนี้เช่น การเคลือบเหล็กออกไซด์บนเศษไม้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าการใช้เหล็กออกไซด์อิสระ โดยวิธีนี้จะเป็นที่นิยมในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในระหว่างการฟื้นฟูสภาพของเหล็กซัลไฟด์จะมีค่าความร้อนปล่อยออกมาจากระบบเล็กน้อย

1.3 กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับแล้วสามารถฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการใช้ความร้อนจากก๊าซไฮโดรเจน จากนั้นทำการควบแน่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระเหยออกมา ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟิวริกจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

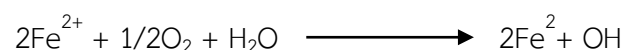
2. กระบวนการออกซิเดชันแบบเปียก กระบวนการออกซิเดชันแบบเปียกใช้การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ กระบวนการออกซิเดชันแบบเปียกมี 2 ประเภท คือ กระบวนการดูดซับทางกายภาพและกระบวนการดูดซับทางเคมี

2.1 กระบวนการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลาย เช่น น้ำ น้ำต่าง เป็นต้น การใช้น้ำในการดูดซับจะใช้น้ำในปริมาณมาก แต่ถ้ามีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

2.2 กระบวนการดูดซับทางเคมี กระบวนการดูดซับทางเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้โดยใช้สารละลายเกลือของเหล็กเช่น เหล็กคลอไรด์ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีปริมาณสูงได้ กระบวนการทำให้เกิดตะกอนของกำมะถัน เพอริกคลอไรด์สามารถใช้ได้โดยตรง เช่น การเติมลงในบ่อหมักที่สภาวะปราศจากออกซิเจนซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายกับการใช้งานกับบ่อหมักขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีการใช้สารละลาย Fe(III)-EDTA เป็นตัวดูดซับ สำหรับปฏิกิริยาในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลาย Fe(III)-EDTA สามารถแสดงได้ดังสมการ



จากสมการก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยากับสารละลาย Fe(III)-EDTA ทำให้เกิดเป็นตะกอนของกำมะถันและ Fe³⁺ เปลี่ยนไปเป็น Fe²⁺ ส่วนในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพสารละลาย Fe²⁺ โดยการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเปลี่ยนไปเป็น Fe³⁺ และสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อีกดังแสดงในสมการที่ 3



สำหรับระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้สารละลาย Fe(III)-EDTA เป็นตัวดูดซับ ระบบประกอบด้วยหอดูดซับถึงตกตะกอนและ หอฟื้นฟูสภาพ โดยก๊าซชีวภาพจะถูกป้อนเข้าทาง

ด้านล่างของหอดูดซับและทำปฏิกิริยากับ Fe(III)-EDTA จากนั้นสารละลายที่ผ่านการดูดซับจะเปลี่ยนเป็น Fe²⁺ และถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนของกำมะถันหลังจากนั้นสารละลาย Fe²⁺ จะถูกส่งไปยังหอฟื้นฟูสภาพสารละลายโดยมีการป้อนอากาศเข้าไปเพื่อฟื้นฟูสภาพให้เปลี่ยนเป็น Fe³⁺ และหลังการฟื้นฟูสภาพสารละลาย Fe(III)-EDTA จะถูกป้อนเข้าสู่หอดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการดูดซับแล้วจะส่งเข้าสู่กระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

ส่วนที่ 2 แนวคิดและหลักการของเทคโนโลยีสะอาด

การอุบัติขึ้นของยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมใน ค.ศ.18 พลิกโฉมสังคมมนุษย์สู่ความเจริญแบบก้าวกระโดด ทว่าในทางกลับกัน ความเจริญก้าวหน้าดังกล่าว ก็ได้สร้างความเสื่อมโทรมให้แก่ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพราะผลพวงจากการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีทั้งขยะ ของเสีย มลพิษ ตลอดจนปัญหาด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น เป็นเงาตามตัว และนับวันยิ่งส่งผลกระทบเป็นวงกว้างจนเกิดภาวะวิกฤติ เสียงเรียกร้องถึงการพัฒนาควบคู่ไปกับการรักษาสภาพแวดล้อมจึงดังกระหึ่มขึ้น นำมาสู่การแสวงหาทางออก นั่นคือ การใช้เทคโนโลยีสะอาดมาเป็นเครื่องมือสำคัญในการแสดงความรับผิดชอบต่อปัญหาที่เกิดขึ้น

เมื่อประเทศต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมตระหนักว่า พืชภัยจำนวนมหาศาลจากการพัฒนากำลังย้อนกลับมาทำร้ายมนุษยชาติ ประเทศเหล่านั้นก็พยายามแก้ไขปัญหานี้ด้วยการลดปริมาณของเสียจากกระบวนการ ผลิตให้เหลือน้อยที่สุด (waste minimization) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยีบำบัดของเสียเพียงอย่างเดียวทำให้สูญเสียทั้งค่าใช้จ่ายและ ทรัพยากร แนวคิดดังกล่าวจึงได้พัฒนามาสู่หลักการป้องกัน การเกิดมลพิษตั้งแต่ต้นทางของ การผลิตซึ่งมีประโยชน์มากกว่าในขณะที่ยั่งยืนเปลี่ยนทรัพยากรน้อยกว่า

แนวคิดข้างต้นได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย และได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างเป็นทางการเมื่อ พ.ศ. 2532 ในโครงการ Industry and Environment Program Activity Centre (IE/PAC) ซึ่งรับผิดชอบโดย United Nations Environment Program: UNEP) อันเป็นหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติที่ จัดทำหลักการของเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology: CT) ขึ้นมาใช้และแพร่กระจายไปในกลุ่มประเทศ อุตสาหกรรมทั่วโลก ทั้งยุโรป อเมริกา และเอเชีย ต่อมา ในการประชุมระดับโลกเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและการ พัฒนา (The United Nations Conference on Environment and Development: UNCED) ที่กรุงริโอ เดอ จาเนโร ประเทศบราซิล เมื่อ พ.ศ.2535 ได้มีการกำหนดข้อตกลงให้ประเทศสมาชิกตระหนักถึงการรักษา สิ่งแวดล้อมไปพร้อมกับการพัฒนา (www.api.ning.com/files/FeDxRIUx9ZWY-x10Tmr...-/file.doc)

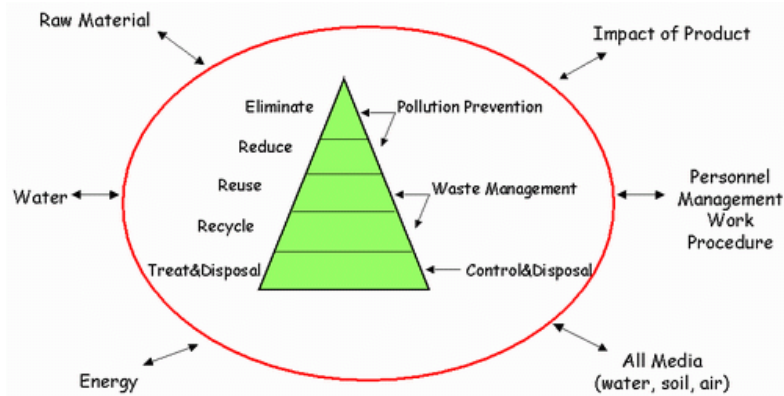
ความหมายของเทคโนโลยีสะอาด (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555)

เทคโนโลยีสะอาด หมายถึง การพัฒนา ปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิด ผลกระทบ ความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และมีของเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ด้วยการเปลี่ยนวัตถุดิบ การใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็ นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันไป

หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดเป็นหลักการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention) ที่ใช้หลักการลดของ เสียเหลือน้อยที่สุด (Waste Minimization) โดยวิธีการแยกสารมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ทำให้เกิดผลพลอยได้ที่ไม่เป็น อันตราย รวมทั้งการลดปริมาณและความเข้มข้นขององค์ประกอบในของเสียด้วยการนำไปใช้ซ้ำ (Reuse) หรือ

การนำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) จนไม่สามารถนำของเสียไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ก็จะนำไปบำบัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป โดยมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง นอกจากนี้ในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายได้นั้นยังต้องประกอบด้วยทัศนคติที่ดีและการร่วมมือกันอย่างเต็มที่จากบุคคลากรทุกฝ่ายอีกด้วย



ภาพที่ 6 หลักการของเทคโนโลยีสะอาด (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555)

วิธีการเทคโนโลยีสะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มีวิธีดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ

การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด แบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555)

1. การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต (Process Change) แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1.1 การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (Input Material Change) เป็นการเลือกใช้วัตถุดิบที่สะอาด หมายถึง คุณสมบัติของวัตถุดิบเองหรือสิ่งปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ หากเป็นไปได้ควรมีการกำจัดออกตั้งแต่ต้น คือแหล่งที่มาก่อนที่จะเข้าสู่โรงงาน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต รวมทั้งคุณภาพต้องให้ได้ตามมาตรฐานการผลิตของโรงงานด้วย การปรับปรุงเทคโนโลยี (Technology Improvement)

1.2 เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตหรือการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การปรับปรุงผังโรงงาน การเพิ่มระบบอัตโนมัติ การปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตและการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ เพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดและถ้าหากของเสียไม่สามารถลดหรือกำจัดได้แล้ว ก็ให้หาวิธีนำเทคโนโลยีเพื่อทำการเคลื่อนย้ายตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมเดิมไปสู่ตัวกลางใหม่ ซึ่งเงื่อนไขในการนำเทคโนโลยีมาปรับปรุงมีองค์ประกอบ 5 ประการ (5 M: Man Material Machine Method และ Measurement)

1.3 การบริหารการดำเนินงาน (Operational Management) เป็นการบริหารระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิต ให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การปฏิบัติที่ดี การจัดการที่ดี การควบคุมรายการวัตถุดิบ การจัดเก็บที่เหมาะสม การวางแผนการผลิต การแยกกำจัดหรือบำบัดของเสียและการฝึกอบรม

2. การปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Product Reformulation) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอาจมีคุณภาพ รูปลักษณะ ขนาด ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถทำการปรับปรุงเพื่อลดปัญหาได้ 4 วิธี คือ 1) Product Change Factor เป็นการออกแบบใหม่เพื่อปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ โดยมีเงื่อนไขเทคนิคต่างๆที่เหมาะสม 2) Production Change Factor เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิต วิธีการควบคุมสินค้า

การเก็บรักษา 3) Market Change Factor ปรับเปลี่ยนวิธีการตลาด ประมาณความต้องการตลาด และ 4) Marketing Change Factor ปรับปรุงการบริการ การตลาด

สำหรับประเทศไทยที่ต้องการก้าวสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (Newly Industrialized Country: NIC) ได้รับอิทธิพลแนวคิดเรื่องเทคโนโลยีสะอาดในช่วงเวลาที่ไม่ห่างกันนัก โดยกลุ่มอุตสาหกรรมภายในประเทศเริ่มมีการพูดถึงถึงเรื่องนี้เมื่อประมาณ พ.ศ. 2533 และนับตั้งแต่พ.ศ. 2540 เป็นต้นมา ผู้ประกอบการต่างๆ จะใช้เทคโนโลยีสะอาดกันมากขึ้น เนื่องจากหนึ่งในกลยุทธ์การลดต้นทุนการผลิต คือ หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

นอกจากแนวคิดเรื่องเทคโนโลยีสะอาดจะได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงรุกที่มีประสิทธิภาพแล้ว ยังใช้เป็นแนวทางในการวางกรอบกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศซึ่งเน้นการผลิตที่ยั่งยืนของไทยอีกด้วย ดังตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนจากแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการผลิตที่สะอาด ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้จัดทำขึ้นในโครงการ ขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การผลิตที่ยั่งยืน โดยพยายามผลักดันในทุกมิติทั้งด้านนโยบายงบประมาณ กฎหมาย การศึกษา การวิจัยและพัฒนา รวมทั้งการประชาสัมพันธ์เผยแพร่แนวคิด เพื่อให้ภาคการผลิตเห็นความสำคัญ และมีการปฏิบัติในเรื่องเทคโนโลยีสะอาดอย่างจริงจัง ที่สำคัญ ยังต่อยอดไปสู่การวางยุทธศาสตร์ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550 -2554) ซึ่งส่งเสริมการผลิตที่สะอาดในภาคอุตสาหกรรมและการบริการ ทั้งแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555 -2559) คงมีการให้ความสำคัญในเรื่องการพัฒนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง

โลกของธุรกิจได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษใหม่แห่งการพัฒนา ซึ่งไม่อาจวัดความสำเร็จกันเพียงแค่ผลกำไรและการเติบโตของธุรกิจเท่านั้น ทว่าผู้ประกอบการยังต้องคำนึงถึงการรักษาสสมดุลระหว่างผลกำไร (profit) ผู้คน (people) และสิ่งแวดล้อม (planet) อันเป็น triple bottom line สามประสาน ที่จะนำพาองค์กรไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนที่แท้จริงและเสมือนเป็นพลังผลักดันให้ธุรกิจไทยสามารถยืนหยัดในเวทีการค้าระดับสากลได้อย่างแข็งแกร่งและมั่นคงต่อไป (www.api.ning.com/files/FeDxRLUx9ZWY-x10Tmr.../file.doc)

ส่วนที่ 3 กระบวนการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร

กระบวนการตัดสินใจนวัตกรรม (Rogers, E. M. 2003)

โรเจอร์ส (2003) ได้เสนอแบบจำลองเกี่ยวกับกระบวนการตัดสินใจเกี่ยวกับนวัตกรรม (innovation decision process) ซึ่งมีอยู่ 5 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นความรู้ (knowledge stage) : เป็นขั้นที่บุคคลจะทราบว่ามีนวัตกรรมนั้นปรากฏอยู่และพอที่จะเข้าใจว่านวัตกรรมนั้นทำหน้าที่อย่างไร ในขั้นความรู้นี้สามารถแบ่งประเภทของความรู้เกี่ยวกับนวัตกรรมได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1 ความรู้ที่ทำให้เกิดความตื่นตัวเกี่ยวกับนวัตกรรม คือความรู้ว่ามีนวัตกรรมเกิดขึ้นแล้ว และนวัตกรรมนั้นทำหน้าที่อะไรได้บ้าง

1.2 ความรู้ที่จำเป็นสำหรับการจะใช้นวัตกรรมได้อย่างไร ความรู้ประเภทนี้ได้จากข่าวสารที่จะช่วยให้สามารถใช้นวัตกรรมได้อย่างถูกต้อง นวัตกรรมยังมีความซับซ้อนมากเพียงใด ความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ประเภทนี้ก็ยังมีมากเท่านั้น

1.3 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับหลักการซึ่งจะช่วยให้ นวัตกรรมบรรลุผล การมีความรู้ประเภทนี้จะช่วยให้คนเข้าใจและยอมรับนวัตกรรมในอนาคตได้ง่ายขึ้น

2. ขั้นการจูงใจ (persuasion stage) : ในขั้นนี้บุคคลจะแสดงทัศนคติต่อนวัตกรรมในรูปแบบเห็นด้วยและไม่เห็นด้วย ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับอารมณ์และความรู้สึก ในขั้นการจูงใจนี้ บุคคลจะรู้สึก ผูกพันกับนวัตกรรมมากขึ้น มีความกระตือรือร้นในการแสวงหาข่าวสารเกี่ยวกับนวัตกรรมนั้น อย่างจริงจัง ทัศนคติเกี่ยวกับ นวัตกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1 ทัศนคติเฉพาะที่มีต่อนวัตกรรม คือ ทัศนคติที่เห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วย ชอบหรือไม่ชอบประโยชน์ของนวัตกรรม ทัศนคตินี้มีอิทธิพลต่อนวัตกรรมที่กำลังเผยแพร่ และนวัตกรรมที่จะมีการเผยแพร่ในอนาคต

2.2 ทัศนคติทั่วไปที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง คือทัศนคติอย่างกว้าง ๆ ที่เอื้ออำนวยให้กลุ่มเป้าหมายเปลี่ยนแปลง ซึ่งทัศนคตินี้เป็นทัศนคติที่ดีต่อนวัตกรรม ทำให้ประชาชนรู้จักพัฒนาตนเองและแสวงหาข่าวสารเกี่ยวกับนวัตกรรมที่จะเป็นประโยชน์ต่อตัวเอง

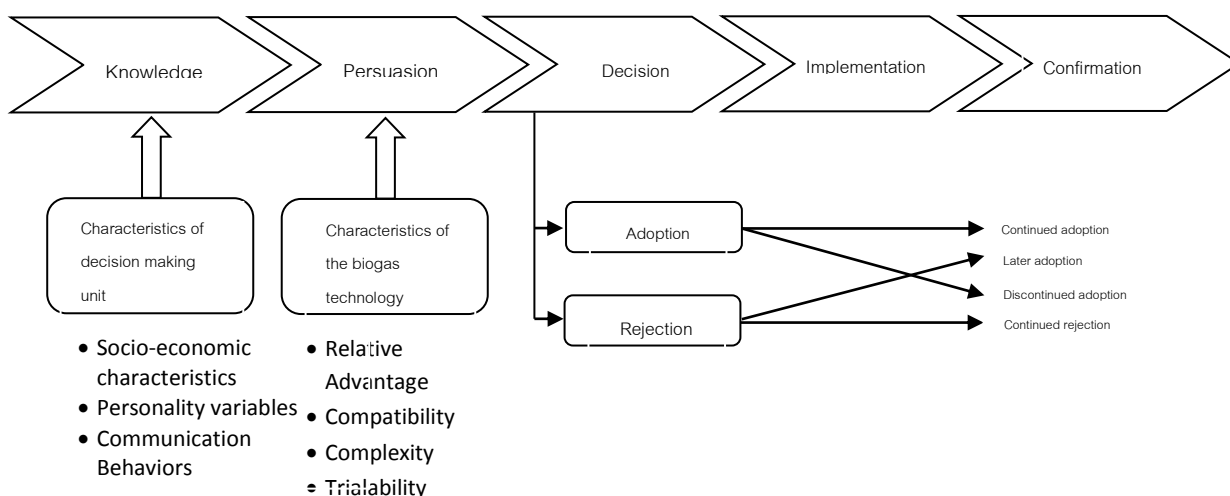
3. ขั้นการตัดสินใจ (decision stage) : ในขั้นนี้บุคคลจะมีแนวทางการตัดสินใจเกี่ยวกับนวัตกรรมใน 2 ลักษณะคือ

3.1 การยอมรับนวัตกรรม (adoption) หมายถึง การตัดสินใจที่จะยอมรับนวัตกรรมมาใช้ให้ได้ที่สุดเท่าที่จะทำได้

3.2 การปฏิเสธนวัตกรรม (rejection) หมายถึง การตัดสินใจที่จะไม่ยอมรับนวัตกรรมมาใช้ การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธนวัตกรรมนี้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการทดลองใช้ในปริมาณจำกัดของนวัตกรรม นวัตกรรมใดที่บุคคลสามารถทดลองใช้ได้ จะทำให้บุคคลนั้นรู้สึกเสี่ยงภัยในการตัดสินใจยอมรับนวัตกรรมน้อยลง และนำไปสู่การยอมรับนวัตกรรมในที่สุด

4. ขั้นการลงมือปฏิบัติ (implementation stage) : ในขั้นตอนที่ 1-3 เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับความคิดแต่ในขั้นตอนที่ 4 นี้เป็นขั้นตอนที่บุคคลผู้รับนวัตกรรมจะต้องลงมือปฏิบัติตามแนวทางหรือวิธีการของนวัตกรรมนั้น และขั้นตอนนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อบุคคลมีการปฏิบัติในแนวทางใหม่นั้นอย่างเป็นกิจวัตรประจำวัน

5. ขั้นทบทวนการตัดสินใจ (confirmation stage) : ในขั้นนี้บุคคลจะแสวงหาข่าวสารเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับนวัตกรรมที่ได้ทำไปแล้ว แต่ก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจได้อีก หากว่าได้รับข่าวสารที่ขัดแย้งหรือข่าวสารในแง่ลบเกี่ยวกับนวัตกรรมนั้น



ภาพที่ 7 กรอบแนวคิดการยอมรับนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพของเกษตรกร
(Mingchai C. and Sangmanee P., 2011)

ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะของนวัตกรรม

เนื่องจากนวัตกรรมเป็นสิ่งใหม่ที่เกิดมาจากการวิจัย (research) และการพัฒนา (development) รวมทั้งมาจากประสบการณ์ของผู้ใช้นวัตกรรมนั่นเอง ดังนั้นนวัตกรรมแต่ละอย่างจึงมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งสามารถนำมาใช้แก้ไขปัญหาหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ได้ตามสถานการณ์และความต้องการของผู้ใช้นวัตกรรมนั้น ๆ ซึ่งไม่จำเป็นที่นวัตกรรมซึ่งใช้ได้ผลดีในที่แห่งหนึ่ง จะได้ผลดีในที่อื่น ๆ ด้วย ขึ้นอยู่กับว่านวัตกรรมนั้น ๆ มีความเหมาะสมกับสถานการณ์นั้น ๆ หรือไม่ ดังนั้นลักษณะของนวัตกรรมนั่นเองจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการโน้มน้าวใจ (persuasion) ให้เกิดการยอมรับ โดยนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินนวัตกรรมของผู้รับสาร และตัดสินใจได้ว่าจะดำเนินการอย่างไรต่อไป (ภาพที่ 5)

คุณลักษณะของนวัตกรรมที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ (Rogers, E. M. 2003) ได้แก่

1. **ผลประโยชน์ที่ได้รับจากนวัตกรรม (relation advantage)** คือ ระดับของการรับรู้หรือความเชื่อว่านวัตกรรมนั้นมีคุณสมบัติที่ดีกว่าความคิดหรือสิ่งที่มีอยู่เดิม ซึ่งถูกแทนที่ด้วยสิ่งใหม่ ถ้าหากนวัตกรรมนั้นมีข้อดีและให้ประโยชน์ต่อผู้ใช้นวัตกรรมนั้นมากเท่าใด ก็มีโอกาสมันจะมีผู้ที่ยอมรับมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนานวัตกรรมเพื่อนำมาใช้แก้ไขปัญหาหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจึงต้องมีการศึกษาค้นคว้ามาอย่างดีให้ตรงกับความต้องการและเกิดประโยชน์จากผู้ใช้งานสูงสุดจึงจะมีการยอมรับอย่างรวดเร็ว

2. **การเข้ากันได้กับสิ่งที่มีอยู่เดิม (compatibility)** การเข้ากันได้ คือ ระดับของนวัตกรรมซึ่งมีความสอดคล้องกับคุณค่า ประสบการณ์และความต้องการที่มีอยู่แล้วในตัวผู้รับนวัตกรรมนั้น ๆ ถ้าหากนวัตกรรมนั้นสามารถเข้ากันได้กับสิ่งต่างๆ ที่กล่าวมาก็มีโอกาสได้รับการยอมรับได้ง่ายขึ้น

3. **ความซับซ้อน (complexity)** ความซับซ้อนของนวัตกรรมคือระดับของความเชื่อว่านวัตกรรมนั้นมีความยากต่อการเข้าใจและการนำไปใช้ นวัตกรรมบางอย่างสามารถทำความเข้าใจและนำมาใช้ได้ง่าย ในขณะที่บางอย่างมีความซับซ้อนและเข้าใจยาก นวัตกรรมที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ามีโอกาสที่จะได้รับการยอมรับมากกว่า ความซับซ้อนของนวัตกรรมอาจเกิดจากกรรมวิธีที่ใช้ในการปฏิบัตินั้นมีความยุ่งยาก จำเป็นต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ระดับสูงมาสนับสนุนจึงจะใช้งานได้ผล อุปกรณ์ที่ใช้มีความยุ่งยากจนผู้ใช้อาจหมดความอดทนที่จะเรียนรู้

4. **การทดลองได้ (trialability)** การทดลองได้ของนวัตกรรมคือระดับของนวัตกรรมที่สามารถมองเห็นผลจากการทดลองปฏิบัติเพื่อให้เห็นผลได้จริง อย่างน้อยภายใต้สภาพที่จำกัด ความคิดเหล่านี้สามารถทดสอบหรือทดลองได้อย่างเป็นขั้นตอนหรือเป็นช่วง ๆ ไป ก็จะได้รับ การยอมรับอย่างรวดเร็ว นวัตกรรมที่ไม่สามารถทดลองได้ก่อนมีโอกาสมันจะได้รับ การยอมรับช้ากว่า

5. **การสังเกตได้ (observability)** การสังเกตได้คือระดับของนวัตกรรมที่สามารถมองเห็นกระบวนการในการปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถสัมผัสและแตะต้องได้จริง ๆ การเสนอขายสินค้าที่เป็นแบบขายตรง (direct sale) ที่ได้รับผลสำเร็จสูงถึงแม้ว่าราคาจะค่อนข้างแพงก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของนวัตกรรมในข้อนี้ คือ สามารถนำมาให้ลูกค้าชมและสาธิตให้ดูว่าสินค้าชิ้นนี้มีข้อดีอย่างไร เป็นขั้น ๆ เมื่อดูแล้วลูกค้ามีความเห็นว่าดีจริงจึงจะซื้อสินค้านั้น

ปัจจัยเกี่ยวกับผู้รับนวัตกรรม (Rogers, E. M. 2003)

การที่บุคคลจะยอมรับนวัตกรรมหรือไม่ ปัจจัยหนึ่งก็คือตัวของผู้รับนวัตกรรมนั่นเอง เพราะถึงแม้ว่านวัตกรรมและเทคโนโลยีจะมีลักษณะที่ดีและเหมาะสมเพียงใด แต่ผู้รับนวัตกรรมนั้นไม่มีความพร้อมที่จะยอมรับและปฏิบัติ นวัตกรรมนั้นก็ไร้ความหมาย

ปัจจัยเกี่ยวกับผู้รับนวัตกรรมนั้นได้แก่ สถานภาพทางเศรษฐกิจสังคมและบุคคล (socioeconomic status) เช่น ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ฐานะทางสังคม กับปัจจัยส่วนบุคคล เช่น บุคลิกภาพ เป็นต้น

สถานภาพทางเศรษฐกิจสังคม (socioeconomic) ผลงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่ศึกษาภูมิหลังของประชากรที่เกี่ยวกับสถานภาพทางเศรษฐกิจ สังคมของตัวบุคคลว่าจะมีผลต่อการยอมรับนวัตกรรมและเทคโนโลยีหรือไม่ ซึ่งการวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นศึกษานวัตกรรมหรือเทคโนโลยีเฉพาะเรื่องและผลการวิจัยส่วนใหญ่ก็มีแนวโน้มแสดงว่าสถานภาพทางเศรษฐกิจ ได้แก่ เพศ การศึกษา รายได้ ฐานะทางเศรษฐกิจ อาชีพ ตลอดจนการมีตำแหน่งเป็นผู้นำในสังคมล้วนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ

คุณลักษณะของบุคลิกภาพ (personality) เป็นลักษณะเฉพาะตัวของบุคคลที่ได้รับการสั่งสมกันมาตั้งแต่เล็กจนโต จากการหล่อหลอมของครอบครัว ขนบธรรมเนียมประเพณี จนกระทั่งถึงสถาบันการศึกษา เป็นส่วนที่ทำให้เกิดบุคลิกภาพ เช่น อาจจะเป็นคนที่อ่อนโยน แข็งกระด้าง การยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น การต่อต้านสังคม เป็นต้น ลักษณะทางบุคลิกภาพย่อมเป็นส่วนที่เกื้อหนุนหรือต่อต้านการยอมรับนวัตกรรมก็เป็นได้

ข้อสรุปบางประการที่เป็นผลจากการศึกษาเปรียบเทียบการยอมรับ

1. สิ่งสำคัญที่ควรบันทึกไว้ก็คือนวัตกรรม โดยปกติแล้วจะมีผู้ที่พยายามหาข้อมูล ข่าวสารใหม่ ๆ อยู่ตลอดเวลา กลุ่มคนเหล่านี้มีการรับข่าวสารจากสื่อมวลชนมากกว่าบุคคลกลุ่มอื่น ๆ ในขณะเดียวกันก็ยังคงมีการติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลและมีเครือข่ายของตนเอง
2. ลำดับขั้นตอนการยอมรับมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ผู้ที่ยอมรับก่อนใช้เวลา นานกว่าผู้ที่ยอมรับทีหลังในการเปลี่ยนจากขั้นทดลองไปสู่ขั้นยอมรับเนื่องจากผู้ยอมรับทีหลังมีความเสี่ยงน้อยกว่าผู้ยอมรับก่อน
3. ผู้ที่ยอมรับก่อนหรือนวัตกรรม และผู้นำทางความคิดมีส่วนคล้ายกันบางอย่าง เช่น รับรู้ข่าวสารมาจากแหล่งอื่นที่ไกลตัวออกไป มีการศึกษาดี มีสถานภาพทางสังคมและเศรษฐกิจสูงกว่าผู้ที่ยอมรับทีหลังมีความสัมพันธ์ต่อสื่อมวลชนหากสื่อมวลชนต้องการทำหน้าที่เผยแพร่ข่าวสารให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดก็ต้องมีความเข้าใจกับผู้ที่ยอมรับก่อน (early adopters) และผู้นำทางความคิด (opinion leaders) เพราะพลังของบุคคลเหล่านี้สามารถช่วยเร่งให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเร็วหรือซ้ำได้
4. ผู้นำความคิดเห็นจะเป็นเสมือนช่องทางการแพร่กระจายข่าวสารและสร้างเครือข่ายการสื่อสารในสังคมซึ่งจะแพร่กระจายข่าวสารผสมผสานกับความคิดเห็นส่วนตัวไปยังสมาชิกในกลุ่มสังคมนั้น นอกจากนี้ผู้นำความคิดเห็นมักจะเป็นผู้มีโอกาสในการรับสื่อและมีสถานภาพทางเศรษฐกิจและสังคมสูงกว่าบุคคลอื่น ๆ เป็นผู้มีสัมพันธ์กับสมาชิกในกลุ่มสังคมมาก เป็นผู้ที่กล้าเสี่ยงและยอมรับการเปลี่ยนแปลง

การปฏิเสธและการยอมรับนวัตกรรม (ณรงค์ สมพงษ์, 2530)

การปฏิเสธนวัตกรรม

เมื่อมีผู้คัดค้านนวัตกรรมมาใช้ไม่ว่าในวงการใดก็ตาม มักจะได้รับการต่อต้านหรือ การปฏิเสธ ตัวอย่างเช่นการปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุโรป ลัทธิการปกครอง หรือวิธีการสอนใหม่ ๆ เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการด้วยกันดังนี้

1. ความเคยชินกับวิธีการเดิม ๆ เนื่องจากบุคคลมีความเคยชินกับวิธีการเดิม ๆ ที่ ตนเองเคยใช้และพึงพอใจในประสิทธิภาพของวิธีการนั้น ๆ บุคคลผู้นั้นก็มักที่จะยืนยันในการใช้วิธีการนั้น ๆ ต่อไปโดยยากที่จะเปลี่ยนแปลง
2. ความไม่แน่ใจในประสิทธิภาพของนวัตกรรม แม้บุคคลผู้นั้นจะทราบข่าวสารของ นวัตกรรมนั้น ๆ ในแง่ของประสิทธิภาพว่าสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีก็ตาม การที่ตนเองมิได้เป็นผู้ทดลองใช้นวัตกรรมนั้น ๆ ก็ย่อมทำให้ไม่แน่ใจว่านวัตกรรมนั้น ๆ มีประสิทธิภาพจริงหรือไม่

3. ความรู้ของบุคคลก่อนนวัตกรรม เนื่องจากนวัตกรรมเป็นสิ่งที่โดยมากแล้วบุคคลส่วนมากมีความรู้ไม่เพียงพอแก่การที่จะเข้าใจในนวัตกรรมนั้นๆ ทำให้มีความรู้สึกท้อถอยที่จะเข้าใจในนวัตกรรมนั้นๆ ทำให้มีความรู้สึกท้อถอยที่จะแสวงหานวัตกรรมมาใช้

4. ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ โดยทั่วไปแล้วนวัตกรรมมักจะได้นำเอาเทคโนโลยี สมัยใหม่มาใช้ในการพัฒนานวัตกรรม ดังนั้นค่าใช้จ่ายของนวัตกรรมจึงควรมีราคาแพง ในสภาพเศรษฐกิจโดยทั่วไป จึงไม่สามารถที่จะรองรับต่อค่าใช้จ่ายของนวัตกรรมนั้นๆ ดังนั้นจะเป็นได้ว่าปัญหาด้านงบประมาณเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการปฏิเสธนวัตกรรม

การยอมรับนวัตกรรม

ดังกล่าวมาแล้วว่าบุคคลจะปฏิเสธนวัตกรรมเนื่องด้วยสาเหตุหลัก 4 ประการคือ ความเคยชินกับวิธีการเดิม ๆ ความไม่แน่ใจในประสิทธิภาพของนวัตกรรม ความรู้ของบุคคลว่านวัตกรรมและข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ดังนั้นในการที่จะกระตุ้นให้บุคคลยอมรับนวัตกรรมนั้นๆ ต้องแก้ไขสาเหตุหลักทั้ง 4 ประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เอเวอร์เรต เอ็ม โรเจอร์ (Everette M. Rogers อ้างในณรงค์ สมพงษ์, 2530:6) กล่าวถึงกระบวนการยอมรับนวัตกรรมว่าแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นต้นตัว (awareness) ในขั้นนี้เป็นขั้นของการที่ผู้รับได้รับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับนวัตกรรมนั้นๆ
2. ขั้นสนใจ (interest) เป็นขั้นที่ผู้รับนวัตกรรมเกิดความสนใจว่าจะสามารถแก้ไขปัญหที่กำลังประสบอยู่ได้หรือไม่ ก็จะเริ่มหาข้อมูล
3. ขั้นไตร่ตรอง (evaluation) ผู้รับจะนำข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณาว่าจะสามารถนำมาใช้แก้ปัญหของตนได้จริงหรือไม่
4. ขั้นทดลอง (trial) เมื่อพิจารณาไตร่ตรองแล้วมองเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะช่วยแก้ไขปัญหของตนได้ ผู้รับก็จะนำเอานวัตกรรมดังกล่าวมาทดลองใช้
5. ขั้นยอมรับ (adoption) เมื่อทดลองใช้นวัตกรรมดังกล่าว แล้วหากได้ผลเป็นที่พอใจ นวัตกรรมดังกล่าวก็จะเป็นที่ยอมรับนำมาใช้เป็นการถาวรหรือจนกว่าจะเห็นว่าด้อยประสิทธิภาพ หากไม่เกิดประสิทธิภาพนวัตกรรมดังกล่าวก็จะไม่ได้รับการยอมรับจากบุคคลนั้นอีกต่อไป

เมื่อพิจารณากระบวนการยอมรับนวัตกรรมของโรเจอร์แล้ว เปรียบเทียบกับสาเหตุหลัก 4 ประการของการปฏิเสธนวัตกรรมจะเห็นได้ว่าสาเหตุหลัก 3 ประการแรก คือ ความเคยชินกับวิธีการเดิม ๆ ความไม่แน่ใจในประสิทธิภาพของนวัตกรรม และความรู้ของบุคคลก่อนนวัตกรรม จะสอดคล้องกับกระบวนการยอมรับนวัตกรรม คือ จะทำอะไรจึงจะให้บุคคลนั้นๆ มีความรู้ในนวัตกรรม ซึ่งเป็นขั้นต้นตัว เกิดความสนใจ ศึกษาหาข้อมูล นำเอาข้อมูลมาไตร่ตรอง แล้วจึงนำเอาไปทดลอง ก่อนที่จะถึงขั้นสุดท้ายก็คือขั้นของการยอมรับ

ส่วนที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชน ตั้งทวีพัฒน์ และคณะ (2555) ได้วิจัยการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน ผลการวิจัยพบว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตโดยเกษตรกรรายย่อยเมื่อใช้มูลสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และมูลนกกระทาไข่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 480, 1,773 และ 3,509 ppm. ตามลำดับ ก๊าซดังกล่าวมีกลิ่นเหม็น และกัดกร่อนโลหะเป็นอันตรายต่อหัวเตาหุงต้มหรือเครื่องยนต์ จึงควรกำจัดออกโดยใช้สารดูดซับที่แช่ในสารละลายเพอร์ริกไฮดรอกไซด์และโซดาไฟ โดยใช้ปูนซีเมนต์เทาผสมดินเบาหรือทรายละเอียดเมื่อนำไปวัดในฟาร์มสุกรแม่พันธุ์สุกรขุนและนกกกระทาไข่ พบว่า การใช้ทรายผสมปูนซีเมนต์เทาสามารถลด H_2S ได้ดีกว่าดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทาและการใช้ฝอยเหล็ก กล่าวคือ ลดได้ 99.3-97.3, 78.0-74.0 และ 69.4-49.9% ตามลำดับ

($P < 0.01$) เมื่อนำตัวกลางทรายละเอียดผสมปูนซีเมนต์เทาบรรจุลงในท่อ PVC ที่มีความยาว 50, 75 และ 100 เซนติเมตร พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อ คือ ลด H_2S ได้เท่ากับ 99.3-97.3, 99.8-99.0 และ 100-99.6% ตามลำดับ โดยชุดดูดซับที่มีความยาว 100 เซนติเมตร สามารถลด H_2S จาก 2,400 ppm. เป็น 0 ppm. ในวันแรก และ 3 ppm. หลังใช้งานนาน 30 วัน โดยตัวกักจะเปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดงเป็นสีน้ำตาลเข้ม

วงศ์วิวรรธ ธนศิลป์ และ สุนันทา เลาวัญศิริ (2555) ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก โดยการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (AC) ซีกิ่งเหล็กปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก (FH) ซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) และ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ (AF) ในคอลัมน์ตัวกลางสูง 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง biogas analyzer ที่อัตราการไหล 340 มิลลิลิตรต่อนาที โดยวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง จากการศึกษาพบว่า ซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และซีกิ่งเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ โดยมีร้อยละการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 70.22, 43.61, 29.72 และ 15.37 ตามลำดับ และ breakthrough point ที่ระยะเวลา 140, 215, 95 และ 120 นาที ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาตรวัสดุดูดซับเท่ากับ 2,249.68, 1,418.69, 338.34 และ 438.69 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ของวัสดุดูดซับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และซีกิ่งเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ

รัศมี สิทธิชนแก้ว (2554) ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ใน 2 ลักษณะด้วยกัน คือ ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นซ้ำอีกรอบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้นโดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับถ่านกัมมันต์ที่ถูกฝังสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างลงไป โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะที่แห้งและในสถานะก๊าซเฉื่อย ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง ผลการวิจัยพบว่าการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดีมากที่อุณหภูมิสูง ปริมาณการดูดซับอยู่ในช่วง 20-70 มิลลิกรัมต่อสัดส่วนการใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำมีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่า 50 เท่า นอกจากนั้นเมื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังจากการดูดซับมีค่าน้อยกว่า 30 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) ดังนั้นก๊าซเชื้อเพลิงที่ผ่านการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกไปด้วยถ่านกัมมันต์ สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เครื่องจักรกลได้อย่างปลอดภัยต่อการกัดกร่อน

จักรพงษ์ ประเสริฐฐานนท์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซไบโอมีเทนจากของเสียเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงกับรถยนต์ โดยในขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวกรอง โดยโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกดักจับโดยรูพรุนที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยการใช้ความดันจากระบบ pressure swing เป็นตัวเสริม ผงถ่านกัมมันต์จะถูกบรรจุอยู่ในเพลทที่วางขวางอยู่ในถังแยกก๊าซและเมื่อถ่านดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงระดับอิ่มตัวแล้วก็จะถูกนำมาเพื่อบรรจุถ่านกัมมันต์รุ่นใหม่ลงไป

มานี วงศ์วุฒิ (2554) ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศพร้อมกัน โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพชนิดปุ๋ยหมัก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่มีปุ๋ยหมักเป็นวัสดุตัวกลางหลักผสมกับวัสดุตัวกลางเสริมและตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราส่วน ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ 60 : 20 : 10 : 10 โดยปริมาตรตามลำดับ แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแปรผันความเข้มข้นก๊าซมลพิษทั้ง 3 การทดลองในช่วง 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซ

บทที่ 3 วิธีวิทยาการวิจัย (RESEARCH METHODOLOGY)

การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจกรรมเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีวิธีวิทยาการวิจัยแยกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการต้นน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ การศึกษาในภาคสนามเพื่อสร้างความเข้าใจในชุมชน การจัดการวัตถุดิบ ทั้งในด้านการรวบรวม การคัดแยก การขึ้นรูป และการออกแบบอุปกรณ์เฉพาะ เพื่อให้ได้กระบวนการจัดเตรียมความพร้อม กล่าวคือ

1.1 การประชุมชี้แจงวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ผลประโยชน์ที่จะได้รับของชุมชนและของคณะผู้วิจัยโดยการจัดเวทีสาธารณะ รวมถึงการศึกษาสภาพสุขภาวะที่อยู่ในชุมชน รวมทั้งปัญหาของสภาพแวดล้อม และผลกระทบด้านพลังงานในพื้นที่อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลบริบทของชุมชน

1.2 คณะผู้วิจัยร่วมกับผู้นำชุมชน ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แทนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นักวิชาการจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี และเกษตรกรผู้เลี้ยงโค ร่วมกันศึกษาถึงศักยภาพการออกแบบระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยนำเสนอผลการวิจัยโครงการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพฯ (2556) และโครงการวิจัยเพิ่มประสิทธิภาพระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน (2557) ของเจษฎา มิ่งฉาย และคณะ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐานด้านศักยภาพการผลิตระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด

1.3 คณะผู้วิจัยร่วมกับแกนนำชุมชน พัฒนาระบบการรวบรวมวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่มีขั้นตอนและกระบวนการที่ชัดเจน มีประสิทธิภาพ ลดการปนเปื้อนจากชนิดอื่น ในบริเวณพื้นที่ หมู่ที่ 3 บ้านหมอนไม้ หมู่ที่ 5 บ้านหนองกลาย ตำบลป่าเช่า อำเภอมือ จังหวัดอุดรธานี จากนั้นนำไปสู่ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุกำจัดภายใต้เงื่อนไขและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ลักษณะของวัสดุกำจัด ขนาดวัสดุกำจัด ความหนาแน่นของวัสดุกำจัด ฯลฯ

1.4 คณะผู้วิจัยร่วมกับแกนนำชุมชน สร้างอุปกรณ์ (column) สำหรับการใส่วัสดุกำจัด Fe_2O_3 ที่มีกระบวนการทำงาน ที่สามารถตรวจสอบปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ นำเข้า (input) และปริมาณก๊าซออก โดยควบคุมไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการไหลย้อนของก๊าซชีวภาพในระบบ การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1.5 คณะผู้วิจัยร่วมกับแกนนำชุมชน จัดทำแนวทางการใช้งานชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในด้านอายุการใช้งาน โดยพัฒนาวิธีการคำนวณปริมาณ Fe_2O_3 ที่ต้องใช้ในชุดคอลัมน์ และการตรวจสอบสภาพการหมดอายุทางกายภาพของสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ข้อมูลและเงื่อนไขของก๊าซชีวภาพดังนี้

- CH_4 ร้อยละ 60 ความหนาแน่น 0.717 kg/m^3
- CO_2 ร้อยละ 39 ความหนาแน่น 1.980 kg/m^3
- H_2S ร้อยละ 0.5 ความหนาแน่น 1.363 kg/m^3
- องค์ประกอบธาตุ Fe_2O_3 ร้อยละ 78.3
- การใช้งานของเกษตรกร 2-4 m^3 /วัน

ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการกลางน้ำ (1) ของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แตกต่างกันระหว่างชนิดวัสดุกำจัด ขนาดคอลัมน์ และปริมาณการกำจัดต่อปริมาตรวัสดุกำจัด เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล สถิติและเงื่อนไข สำหรับการออกแบบระบบ คือ

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่แตกต่างกัน โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ศึกษาปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาตรวัสดุกำจัดที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาสภาวะอ้อมตัว (breakthrough point) ของวัสดุกำจัดที่แตกต่างกันใน breakthrough curve มีการออกแบบการทดลองไว้ 3 สิ่งทดลอง คือ ถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็ก โรงกลิ้งเหล็กออกไซด์แบบลักษณะต่างกัน

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ภายใต้คอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร และความยาวที่แตกต่างกัน โดยนำวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 2.1 มาใช้ทดสอบ

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชุมชน โดยการนำผลของการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 มาพัฒนาเป็นหน่วยทดลองประสิทธิภาพในวิสาหกิจชุมชน ผู้ประกอบการเกษตรกร จำนวน 50 จุด โดยเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (%) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm.) ใน 2 ลักษณะคือ ก่อนเข้าระบบกำจัดและหลังจากระบบกำจัด

ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการกลางน้ำ (2) ของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งในเรื่องต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ฯลฯ รวมทั้งการศึกษารูปแบบการนำเสนอด้านสารสนเทศ ปัจจัยทางจิตวิทยา ฯลฯ เพื่อให้ได้มาซึ่งกระบวนการตัดสินใจในการยอมรับนวัตกรรม คือ

3.1 การศึกษาต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเทคโนโลยีสะอาด และใช้วัสดุในท้องถิ่นสำหรับวิสาหกิจชุมชน โดยเป็นการคำนวณหาต้นทุนของกระบวนการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัม ต้นทุนการลดผลกระทบทางเศรษฐกิจและสุขภาพของผู้ใช้ จุดคุ้มทุนของระบบเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานจริง การประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

3.2 พัฒนาสื่อสารสนเทศการเรียนรู้ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดและใช้วัสดุในท้องถิ่นสำหรับเกษตรกรรายย่อย เป็นการพัฒนาระบบการเรียนรู้ภายใต้สื่อสารสนเทศที่เหมาะสมของเกษตรกรและบุคคลเป้าหมาย เพื่อการเข้าใจในกระบวนการใช้ระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเทคโนโลยีสะอาด

ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการปลายน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านการยอมรับเทคโนโลยีของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในเรื่องคุณสมบัติของนวัตกรรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ให้กับเป้าหมาย ฯลฯ คือการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดและใช้วัสดุในท้องถิ่นของเป้าหมาย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีที่เกี่ยวข้อง เป็นการรวบรวมข้อมูลการยอมรับนวัตกรรมของระบบ รวบรวมข้อมูลจากผู้ทดลองใช้ระบบ และจากภาคีที่เกี่ยวข้องกับระบบ โดยศึกษามุมมองที่มีต่อคุณสมบัติของนวัตกรรม 5 ประเภท

(Rogers, E. M. 2003) คือ คุณประโยชน์ ความสอดคล้อง ความยุ่งยากซับซ้อน การแบ่งทดลองได้ และการสังเกตเห็นผลได้ ตามลำดับ

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระหว่างเดือนมิถุนายน 2558 ถึง พฤษภาคม 2559 รวม 12 เดือน

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี

โครงการวิจัย การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับเกษตรกรรายย่อย มีแผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังนี้

การฝึกอบรมและทดสอบการใช้งานในพื้นที่จริง สำหรับผู้ประกอบการ ผู้ผลิต เกษตรกรที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพของตนเองในครัวเรือนหรือในชุมชน จำนวน 50 จุด โดยมี 3 เรื่องหลักคือ ก) หลักการและกระบวนการทำงาน ข) การคัดเลือกวัสดุและการประกอบระบบ ค) การดูแลรักษาและการซ่อมบำรุงระบบ

การถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านสื่อการเรียนรู้ โดยการนำเสนอขั้นตอนและกระบวนการของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด ผ่านสื่อชนิดต่างๆ เช่น วีดิทัศน์ สื่อ social media เอกสารเผยแพร่ ชนิตและประเภทต่างๆ เพื่อสร้างการเรียนรู้กับพื้นที่สาธารณะให้มีการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มุ่งเน้นผลตอบแทนทางธุรกิจ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

(RESULTS)

การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจกรรมเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีผลการวิจัยจำแนกเป็น 4 ระยะให้สอดคล้องกับแผนการวิจัย ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการต้นน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ การศึกษาในภาคสนาม การจัดการวัตถุดิบ ด้านการรวบรวม การคัดแยก การขึ้นรูป และการออกแบบอุปกรณ์เฉพาะเพื่อให้ได้ในกระบวนการจัดเตรียมความพร้อม กล่าวคือ

1.1 การจัดการวัตถุดิบ

การจัดการวัตถุดิบในการศึกษาขั้นตอนนี้คือ การระบุศักยภาพและความเป็นไปได้ของวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide: Fe_2O_3) ที่เป็นของเหลือทิ้งจากระบบประปาในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี โดยระบบประปาตามมาตรฐานน้ำประปา ของการประปาส่วนภูมิภาค ปริมาณเหล็ก (Fe) ต้องมีค่าไม่เกิน 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) จากข้อมูลในตาราง 2 พบว่าระบบประปาน้ำบาดาลที่ส่งวิเคราะห์และมีค่าเกินมาตรฐานของเหล็กในน้ำมีจำนวน 14 แห่ง มีค่าระหว่าง 0.35-9.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม และจะมีวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ตกค้างในระบบประปาที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

ตาราง 2 ข้อมูลผลการวิเคราะห์เหล็กในน้ำประปาพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ปี พ.ศ.2558

ชื่อระบบประปา	หน่วยงาน	ผลการวิเคราะห์เหล็ก (mg/L)
บ้านทับใหม่	เทศบาลตำบลหาดกรวด อำเภอเมือง	0.48
บ้านหนองวงษ์	เทศบาลตำบลหาดกรวด อำเภอเมือง	0.44
โรงเรียนดงช้างดี	เทศบาลตำบลหาดกรวด อำเภอเมือง	0.74
น้ำประปาหมู่ 2	องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำอ่าง อำเภอตรอน	0.35
น้ำประปาหมู่ 3	องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำอ่าง อำเภอตรอน	4.03
น้ำประปาหมู่ 5	องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำอ่าง อำเภอตรอน	5.46
น้ำประปาหมู่ 6	องค์การบริหารส่วนตำบลพญาแมน อำเภอพิชัย	0.36
น้ำประปาหมู่ 5	องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านฝาย อำเภอน้ำปาด	0.43
น้ำดิบหมู่ 1	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	9.36
น้ำประปาหมู่ 1	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	1.40
น้ำดิบหมู่ 2	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	2.90
น้ำประปาหมู่ 2	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	1.72
น้ำดิบหมู่ 5	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	2.10
น้ำประปาหมู่ 5	องค์การบริหารส่วนตำบลหาดลำ อำเภอน้ำปาด	0.81

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (2558)



ภาพ 8-13 ระบบประปาบาดาลชนิดกรองด้วยทรายที่มีเหล็กออกไซด์ปนเปื้อน



ภาพ 14-18 ระบบประปาบาดาลชนิดบ่อกักตะกอนที่มีเหล็กออกไซด์ปนเปื้อน

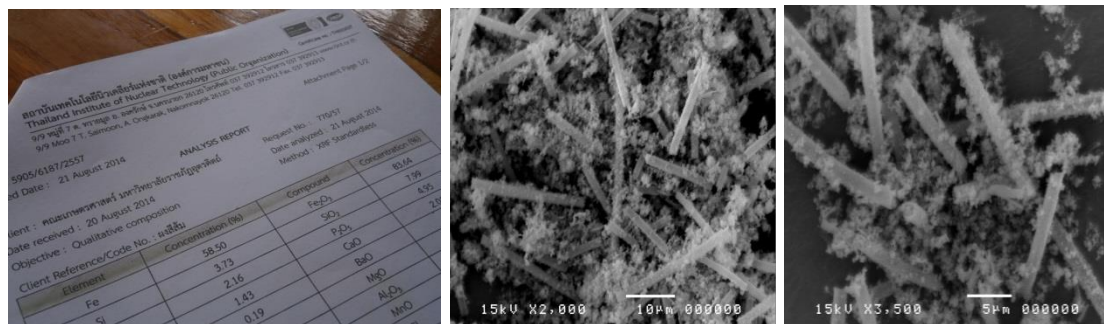
การจัดการรวบรวมวัตถุดิบ จากแหล่งวัตถุดิบมายังกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเช่า จังหวัดอุดรธานี คือ ตั้งแต่จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ จำแนกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1.1.1 การรวบรวมวัตถุดิบจากระบบประปาและการขนส่ง เป็นขั้นตอนที่คณะผู้วิจัยไปรวบรวมวัตถุดิบ Fe_2O_3 จากการล้างระบบประปาบ้านหนองกลาย ตำบลป่าเช่า อำเภอเมืองจังหวัดอุดรธานี โดยการเตรียมพื้นที่การรองรับวัตถุดิบ ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 20 เมตร รวมพื้นที่ประมาณ 100 ตารางเมตร วางจตุรรองรับด้วยผ้ากรองวัตถุดิบและปรับระดับจตุรรวบรวม



ภาพ 19-22 การรวบรวมวัตถุดิบเหล็กออกไซด์จากแหล่งวัตถุดิบ

1.1.2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบที่รวบรวม เป็นขั้นตอนที่คณะผู้วิจัยสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ Fe_2O_3 จากประปาบ้านหนองกลาย ตำบลป่าเช่า อำเภอเมืองจังหวัดอุดรธานีเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Fe_2O_3 ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (เจษฎา มิ่งฉาย, 2558) เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของเหล็กออกไซด์ก่อนที่มีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพ 23-25 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพผลึกออกไซด์จากแหล่งวัตถุดิบ (เจษฎา มิ่งฉาย, 2558)

1.1.3 การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพ เป็นขั้นตอนที่คณะทำงานเตรียมวัตถุดิบที่ได้ขนส่งมายังบ้านห้วยบง ตำบลป่าเช่า อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี โดยเตรียมสภาพวัตถุดิบ บด ร่อน ตากแดด และคัดแยกสิ่งเจือปน จากนั้นนำวัตถุดิบที่เตรียมพร้อมไปขึ้นรูปเป็นเม็ดที่โรงงานฯ



ภาพ 26-29 การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพเม็ดผลึกออกไซด์

1.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดผลึกออกไซด์

ลักษณะทางกายภาพของผลึกออกไซด์ ที่นำมาใช้ในการทดลองในระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดครั้งนี้ ศึกษาตามขนาดของแผนการทดลอง (ขนาด S M L) โดยศึกษาใน 2 ตัวแปรคือ ความกว้าง (มิลลิเมตร) และน้ำหนัก (กรัม) รายละเอียดมีดังนี้



ภาพ 30-32 ลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์ขนาด S M L

ผลการศึกษาข้อมูลลักษณะทางกายภาพด้านความกว้างของเม็ดเหล็กออกไซด์ (ตาราง 3) พบว่า ขนาดเบอร์ S มีช่วงความกว้าง 8.30-9.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 8.73 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.31) ขนาดเบอร์ M มีช่วงความกว้าง 11.58-13.65 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 12.65 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67) และขนาดเบอร์ L มีช่วงความกว้าง 16.68-18.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 17.49 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46) ตามลำดับ

ตาราง 3 รายละเอียดความกว้างของเม็ดเหล็กออกไซด์จำแนกตามขนาดที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดเม็ด Fe_2O_3	ความกว้างของเม็ด Fe_2O_3 (มิลลิเมตร)		
	ช่วงความกว้าง	ความกว้างเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เบอร์ S	8.30-9.20	8.73	0.31
เบอร์ M	11.58-13.65	12.65	0.67
เบอร์ L	16.68-18.20	17.49	0.46

ผลการศึกษาข้อมูลลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนักของเม็ดเหล็กออกไซด์ (ตาราง 4) พบว่า ขนาดเบอร์ S มีช่วงน้ำหนัก 0.52-0.78 กรัม โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.67 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.07) ขนาดเบอร์ M มีช่วงน้ำหนัก 1.62-2.91 กรัม โดยมีช่วงน้ำหนักเฉลี่ย 2.15 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.34) และขนาดเบอร์ L มีช่วงน้ำหนัก 2.81-5.60 กรัม โดยมีช่วงน้ำหนักเฉลี่ย 4.17 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.70) ตามลำดับ

ตาราง 4 รายละเอียดน้ำหนักของเม็ดเหล็กออกไซด์จำแนกตามขนาดที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดเม็ด Fe_2O_3	น้ำหนักของเม็ด Fe_2O_3 (กรัม)		
	ช่วงน้ำหนัก	น้ำหนักเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เบอร์ S	0.52-0.78	0.67	0.07
เบอร์ M	1.62-2.91	2.15	0.34
เบอร์ L	2.81-5.60	4.17	0.70



ภาพ 33-37 การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์

1.3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ (Column)

นักวิจัยร่วมกับแกนนำชุมชน ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลอง โดยใช้ท่อออลีกไลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร สำหรับการบรรจุเหล็กออกไซด์ มีระบบวาล์วควบคุมแรงดันก๊าซและช่องสำหรับการวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการไหลย้อนของก๊าซชีวภาพในระบบ



ภาพ 38-40 การออกแบบและอุปกรณ์ทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่างกันระหว่าง ชนิดวัสดุกำจัด ขนาดคอลัมน์ และปริมาณการกำจัดต่อปริมาตรวัสดุกำจัด เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล สถิติและ เงื่อนไข สำหรับการออกแบบระบบ คือ

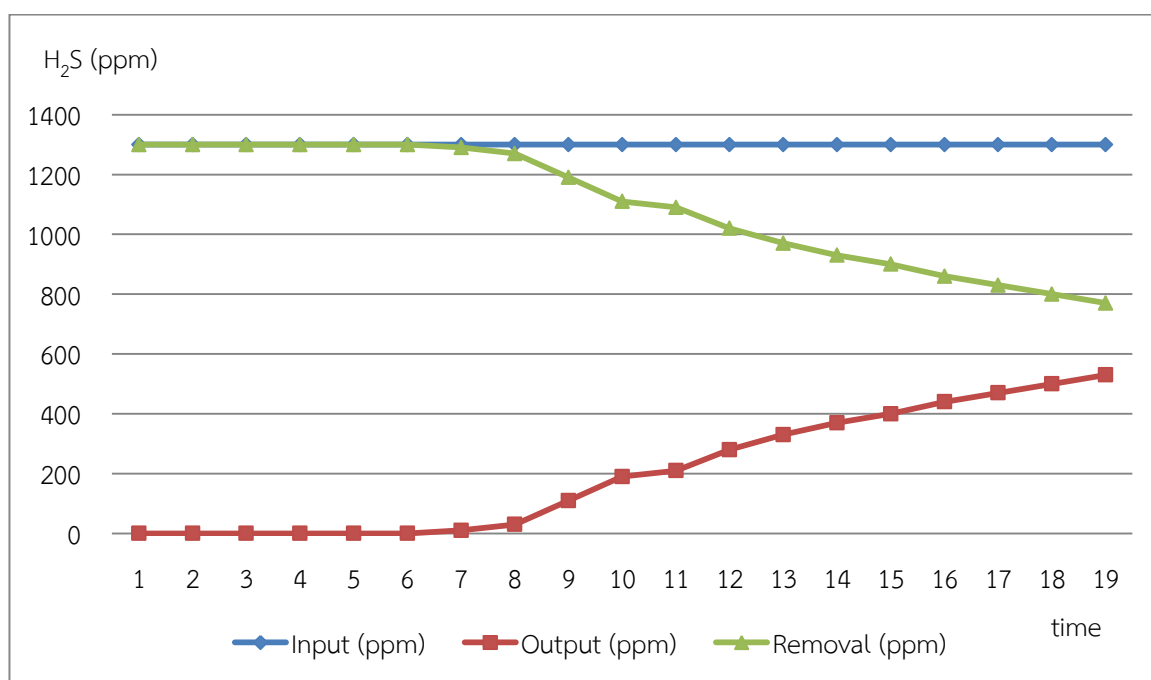
2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่ต่างกัน (การทดลองที่ 1)

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่ต่างกันโดยใช้คอลัมน์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ศึกษาปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อ ปริมาตรวัสดุกำจัดที่ต่างกัน เพื่อศึกษาสภาวะอิ่มตัว (breakthrough point) ของวัสดุกำจัดที่ต่างกัน ใน breakthrough curve มีการออกแบบการทดลองไว้ 3 สิ่งทดลอง คือ ถ่านกัมมันต์ (Treatment 1) ฝอย เหล็กโรงกลึง (Treatment 2,3) เหล็กออกไซด์แบบลักษณะต่างกัน (Treatment 4,5,6)

2.1.1 สิ่งทดลองที่ 1 ถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 1 คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,330 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือถ่านกัมมันต์พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุด 100 % ในช่วง ระยะเวลาการเก็บข้อมูล 6 ครั้ง หรือ 30 นาทีแรก จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 10 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 19 หรือ 95 นาที

นอกจากนั้นจากผลการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควร เกิน 100 ppm.) มีระยะเวลาการใช้วัสดุกำจัดที่ 40 นาที และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) มีระยะเวลาการใช้วัสดุกำจัดที่ 50 นาที ตามลำดับ (ตาราง 5 และแผนภูมิ 1)



แผนภูมิ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 1 ถ่านกัมมันต์

ตาราง 5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 1 ถ่านกัมมันต์

ครั้งที่*	ปริมาณ H_2S		ประสิทธิภาพ (%)	ปริมาณ CH_4 (%)	หมายเหตุ
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)			
1	1,300	0	100.00	71.0	
2	1,300	0	100.00	71.3	
3	1,300	0	100.00	70.8	
4	1,300	0	100.00	70.3	
5	1,300	0	100.00	70.5	
6	1,300	0	100.00	70.4	
7	1,300	10	99.23	70.1	
8	1,300	30	97.69	70.1	1-ระยะเวลา 40 นาที
9	1,300	110	91.54	70.2	
10	1,300	190	85.38	70.1	2-ระยะเวลา 50 นาที
11	1,300	210	83.85	70.2	
12	1,300	280	78.46	70.2	
13	1,300	330	74.62	70.1	
14	1,300	370	71.54	70.1	
15	1,300	400	69.23	70.0	
16	1,300	440	66.15	70.1	
17	1,300	470	63.85	70.1	
18	1,300	500	61.54	70.2	
19	1,300	530	59.23	70.0	

/* เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุก 5 นาที

/1 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.

/2 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.



ภาพ 41-42 การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยถ่านกัมมันต์ (T1)

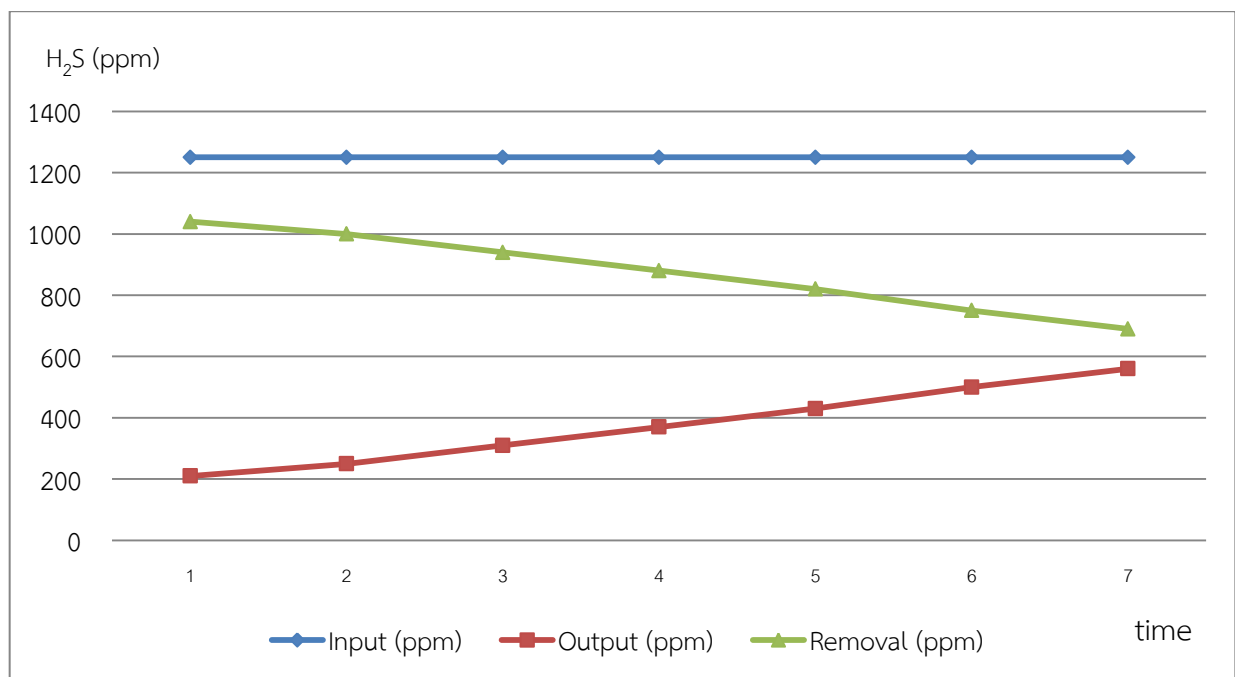
2.1.2 สิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (ขนาดเบอร์ S)

จากข้อมูลการวิจัยในตาราง 6 และแผนภูมิ 2 ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฝอยเหล็ก (S) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,250 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือฝอยเหล็ก (S) พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุดคือ 83.20 % ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ครั้ง หรือ 5 นาทีแรก จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 210 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 7 หรือ 35 นาที

นอกจากนั้นจากการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) ไม่พบความสามารถของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฝอยเหล็ก (S) จะสามารถผ่านเกณฑ์การทดลองดังกล่าวได้แต่ประการใด



ภาพ 43-45 การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยฝอยเหล็ก S (T2)



แผนภูมิ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (S)

ตาราง 6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (ขนาด S)

ครั้งที่*	ปริมาณ H_2S		ปริมาณ CH_4		หมายเหตุ
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)	
1	1,250	210	83.20	71.2	
2	1,250	250	80.00	71.0	
3	1,250	310	75.20	71.2	
4	1,250	370	70.40	71.1	
5	1,250	430	65.60	71.2	
6	1,250	500	60.00	71.1	
7	1,250	560	55.20	71.3	

/* เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุก 5 นาที

/1 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.

/2 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.

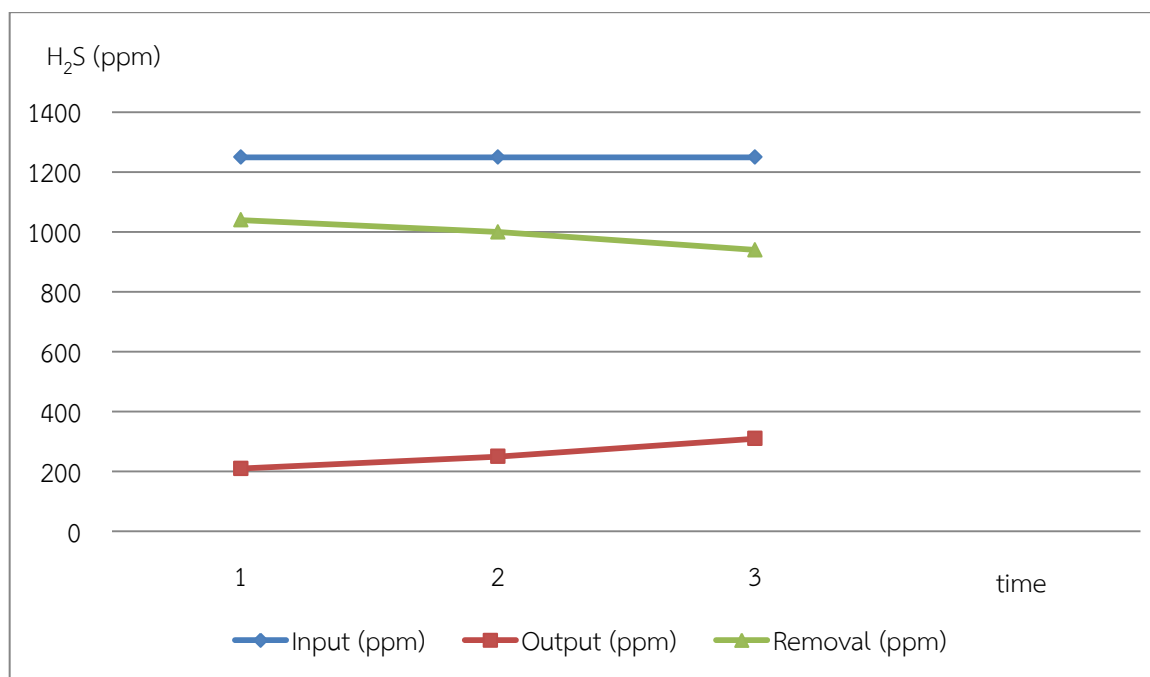
2.1.3 สิ่งทดลองที่ 3 ฝอยเหล็ก (ขนาดเบอร์ M)

จากข้อมูลผลการวิจัย (ตาราง 7 และแผนภูมิ 3) ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฝอยเหล็ก (M) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,070 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือฝอยเหล็ก (M) พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุดคือ 76.64 % ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ครั้ง หรือ 5 นาทีแรก จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 250 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 3 หรือ 15 นาที

นอกจากนั้นจากผลการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) ไม่พบความสามารถของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 3 คือ ฝอยเหล็ก (M) จะสามารถผ่านเกณฑ์การทดลองดังกล่าวได้แต่ประการใด



ภาพ 46-48 การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยฝอยเหล็ก M (T3)



แผนภูมิ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 2 ฝอยเหล็ก (M)

ตาราง 7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 3 ฝอยเหล็ก (ขนาด M)

ครั้งที่*	ปริมาณ H ₂ S			ปริมาณ CH ₄	
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)	หมายเหตุ
1	1,070	250	76.64	71.5	
2	1,070	500	53.27	71.4	
3	1,070	690	35.51	71.3	

/* เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุก 5 นาที

/1 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.

/2 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.

2.1.4 สิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (ขนาด S)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 4 คือ เหล็กออกไซด์ (S) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,380 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือเหล็กออกไซด์ (ขนาด S) พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุด 100 % ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 11 ครั้ง หรือ 55 นาที จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 10 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 52 หรือ 260 นาที

นอกจากนั้นจากผลการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) มีระยะเวลาการใช้วัสดุกำจัดที่ 175 นาที และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) มีระยะเวลาการใช้วัสดุกำจัดที่ 180 นาที ตามลำดับ (ตาราง 8 และแผนภูมิ 4)

ตาราง 8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (ขนาด S)

ครั้งที่*	ปริมาณ H ₂ S		ปริมาณ CH ₄		หมายเหตุ
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)	
1	1,380	360	73.91	71.0	
2	1,380	80	94.20	70.5	
3	1,380	0	100.00	70.4	
4	1,380	0	100.00	70.3	
5	1,380	0	100.00	70.1	
6	1,380	0	100.00	70.0	
7	1,380	0	100.00	69.9	
8	1,380	0	100.00	69.6	
9	1,380	0	100.00	69.4	
10	1,380	0	100.00	69.6	
11	1,380	0	100.00	69.5	
12	1,380	0	100.00	69.6	
13	1,380	0	100.00	69.6	
14	1,380	10	99.28	69.6	
15	1,380	20	98.55	69.5	
16	1,380	20	98.55	69.4	
17	1,380	30	97.83	69.3	
18	1,380	30	97.83	69.5	
19	1,380	40	97.10	69.4	
20	1,380	50	96.38	69.3	
21	1,380	60	95.65	69.3	
22	1,380	0	100.00	69.3	
23	1,380	0	100.00	69.7	
24	1,380	0	100.00	69.3	
25	1,380	10	99.28	69.4	
26	1,380	0	100.00	69.4	
27	1,380	10	99.28	69.5	
28	1,380	10	99.28	69.6	
29	1,380	20	98.55	69.6	
30	1,380	20	98.55	69.5	
31	1,380	20	98.55	69.5	
32	1,380	30	97.83	69.5	
33	1,380	30	97.83	69.5	
34	1,380	30	97.83	69.8	
35	1,380	40	97.10	69.7	1-ระยะเวลา 175 นาที

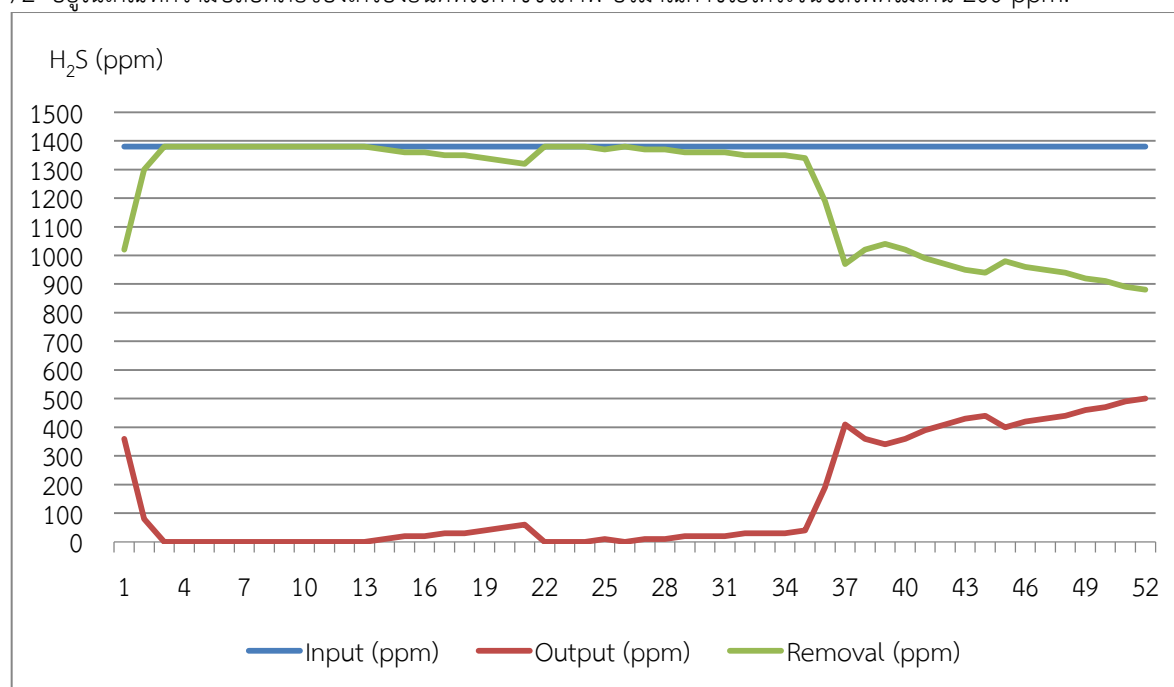
ตาราง 8 (ต่อ)

ครั้งที่*	ปริมาณ H ₂ S			ปริมาณ CH ₄		หมายเหตุ
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)		
36	1,380	190	86.23	70.5	2-ระยะเวลา 180 นาที	
37	1,380	410	70.29	70.8		
38	1,380	360	73.91	70.8		
39	1,380	340	75.36	70.3		
40	1,380	360	73.91	70.1		
41	1,380	390	71.74	70.9		
42	1,380	410	70.29	70.9		
43	1,380	430	68.84	70.6		
44	1,380	440	68.12	70.5		
45	1,380	400	71.01	70.4		
46	1,380	420	69.57	70.3		
47	1,380	430	68.84	70.1		
48	1,380	440	68.12	70.3		
49	1,380	460	66.67	70.2		
50	1,380	470	65.94	70.1		
51	1,380	490	64.49	70.2		
52	1,380	500	63.77	70.0		

/* เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุก 5 นาที

/1 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.

/2 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.

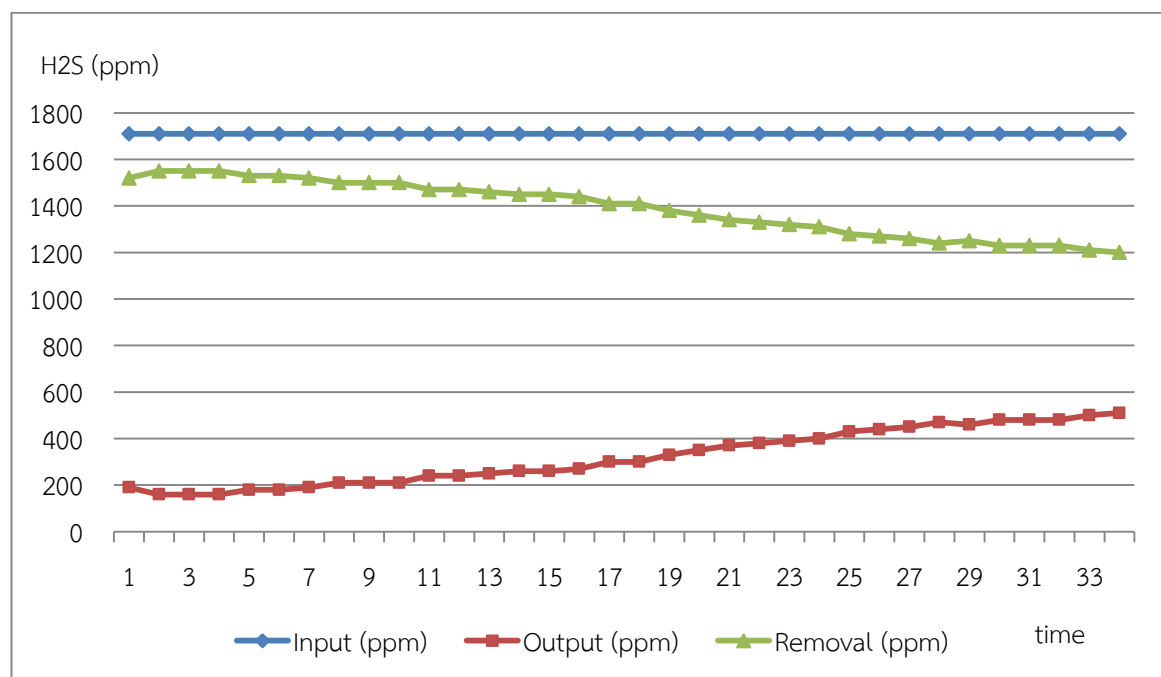


แผนภูมิ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 4 เหล็กออกไซด์ (S)

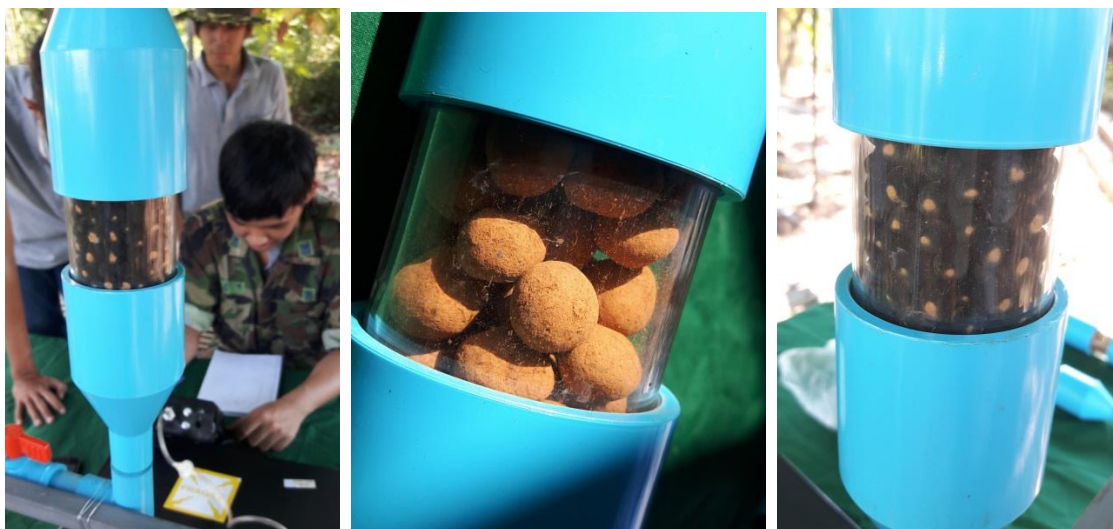
2.1.5 สิ่งทดลองที่ 5 เหล็กออกไซด์ (ขนาด M)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 5 คือ เหล็กออกไซด์ (M) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,710 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือเหล็กออกไซด์ (ขนาด M) พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุด 90.64 % ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 3 ครั้ง หรือ 15 นาที จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 160 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 34 หรือ 170 นาที

นอกจากนั้นจากผลการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) มีระยะเวลาการใช้วัสดุกำจัดที่ 35 นาที และไม่พบผลการทดลองที่มีต่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) ในวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองนี้ (ตาราง 9 และแผนภูมิ 4)



แผนภูมิ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 5 เหล็กออกไซด์ (M)



ภาพ 49-51 การทดลองชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์

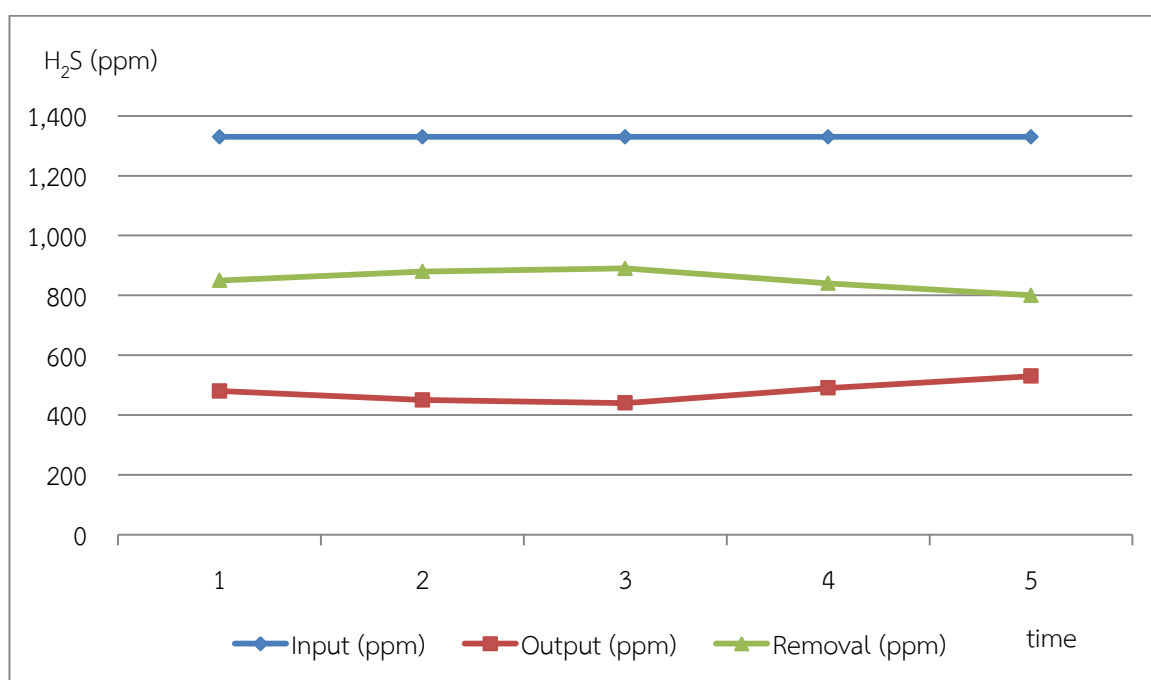
ตาราง 9 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 5 เหล็กออกไซด์ (ขนาด M)

ครั้งที่*	ปริมาณ H ₂ S		ปริมาณ CH ₄		หมายเหตุ
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)	
1	1,710	190	88.89	73.9	2-ระยะเวลา 35 นาที
2	1,710	160	90.64	73.5	
3	1,710	160	90.64	73.2	
4	1,710	160	90.64	73.1	
5	1,710	180	89.47	73.4	
6	1,710	180	89.47	72.9	
7	1,710	190	88.89	73.2	
8	1,710	210	87.72	72.9	
9	1,710	210	87.72	72.9	
10	1,710	210	87.72	72.8	
11	1,710	240	85.96	72.3	
12	1,710	240	85.96	72.7	
13	1,710	250	85.38	72.7	
14	1,710	260	84.80	73.0	
15	1,710	260	84.80	73.0	
16	1,710	270	84.21	72.6	
17	1,710	300	82.46	72.9	
18	1,710	300	82.46	72.6	
19	1,710	330	80.70	72.7	
20	1,710	350	79.53	72.9	
21	1,710	370	78.36	72.6	
22	1,710	380	77.78	72.7	
23	1,710	390	77.19	72.6	
24	1,710	400	76.61	72.5	
25	1,710	430	74.85	72.4	
26	1,710	440	74.27	72.5	
27	1,710	450	73.68	72.3	
28	1,710	470	72.51	72.3	
29	1,710	460	73.10	72.4	
30	1,710	480	71.93	72.3	
31	1,710	480	71.93	72.7	
32	1,710	480	71.93	72.4	
33	1,710	500	70.76	72.7	
34	1,710	510	70.18	72.6	

2.1.6 สิ่งทดลองที่ 6 เหล็กออกไซด์ (ขนาด L)

จากข้อมูลผลการวิจัย (แผนภูมิ 6 และตาราง 10) ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 3 คือเหล็กออกไซด์ (L) พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 1,330 ppm. และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกำจัดคือ เหล็กออกไซด์ (L) พบว่า สามารถกำจัดได้มากที่สุดคือ 66.92 % ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ครั้ง หรือ 5 นาที จากนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 440 จนถึง 500 ppm. ในครั้งที่ 5 หรือ 25 นาที

นอกจากนั้นจากผลการทดลองเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) ไม่พบความสามารถของวัสดุกำจัดในสิ่งทดลองที่ 6 คือ เหล็กออกไซด์ (L) จะสามารถผ่านเกณฑ์การทดลองดังกล่าวได้แต่ประการใด



แผนภูมิ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 5 เหล็กออกไซด์ (L)

ตาราง 10 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองที่ 6 เหล็กออกไซด์ (ขนาด L)

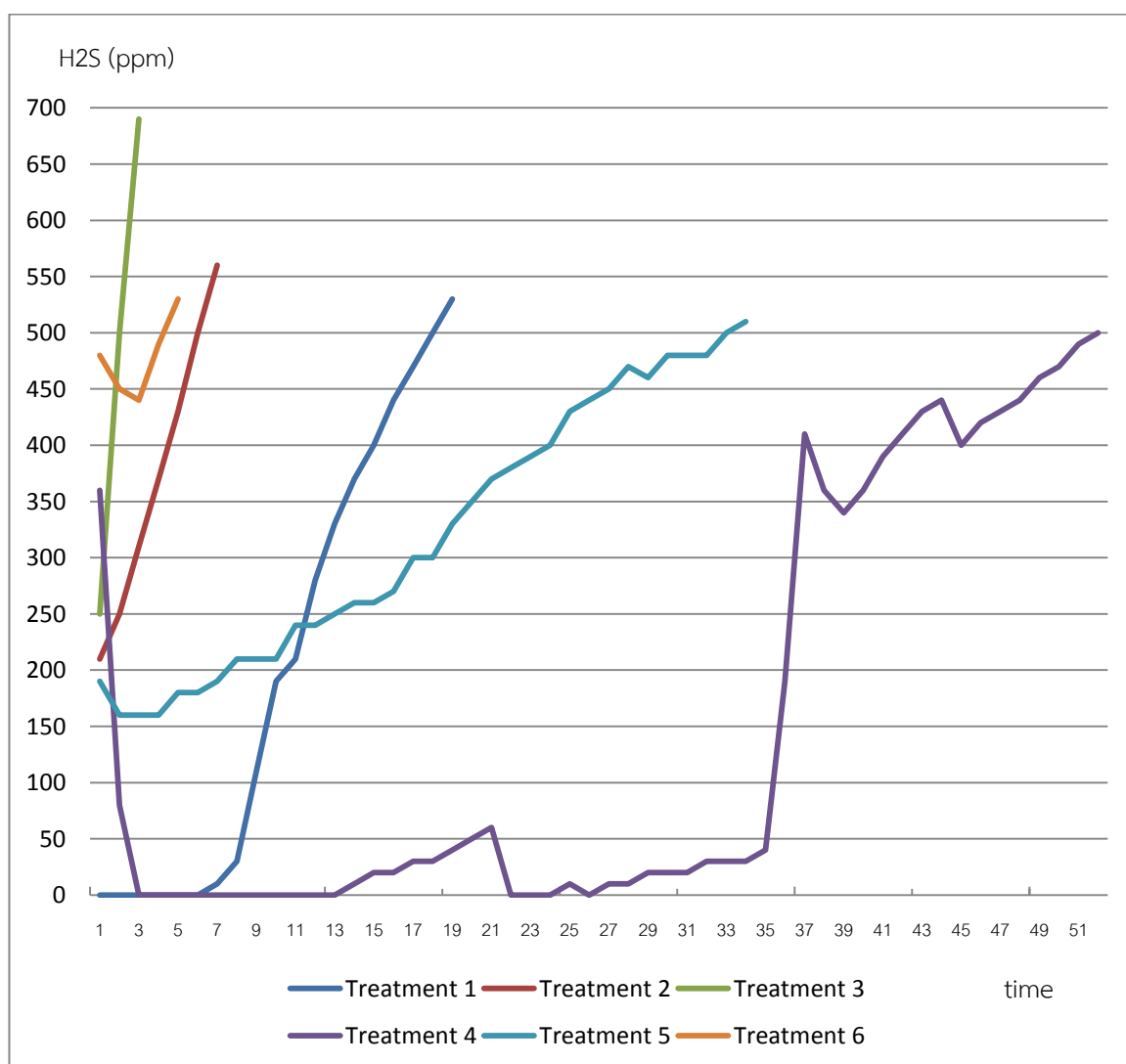
ครั้งที่*	ปริมาณ H ₂ S			ปริมาณ CH ₄	
	INPUT (ppm.)	OUTPUT (ppm.)	ประสิทธิภาพ (%)	(%)	หมายเหตุ
1	1,330	480	63.91	75.2	
2	1,330	450	66.17	74.9	
3	1,330	440	66.92	74.4	
4	1,330	490	63.16	74.2	
5	1,330	530	60.15	73.8	

/* เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุก 5 นาที

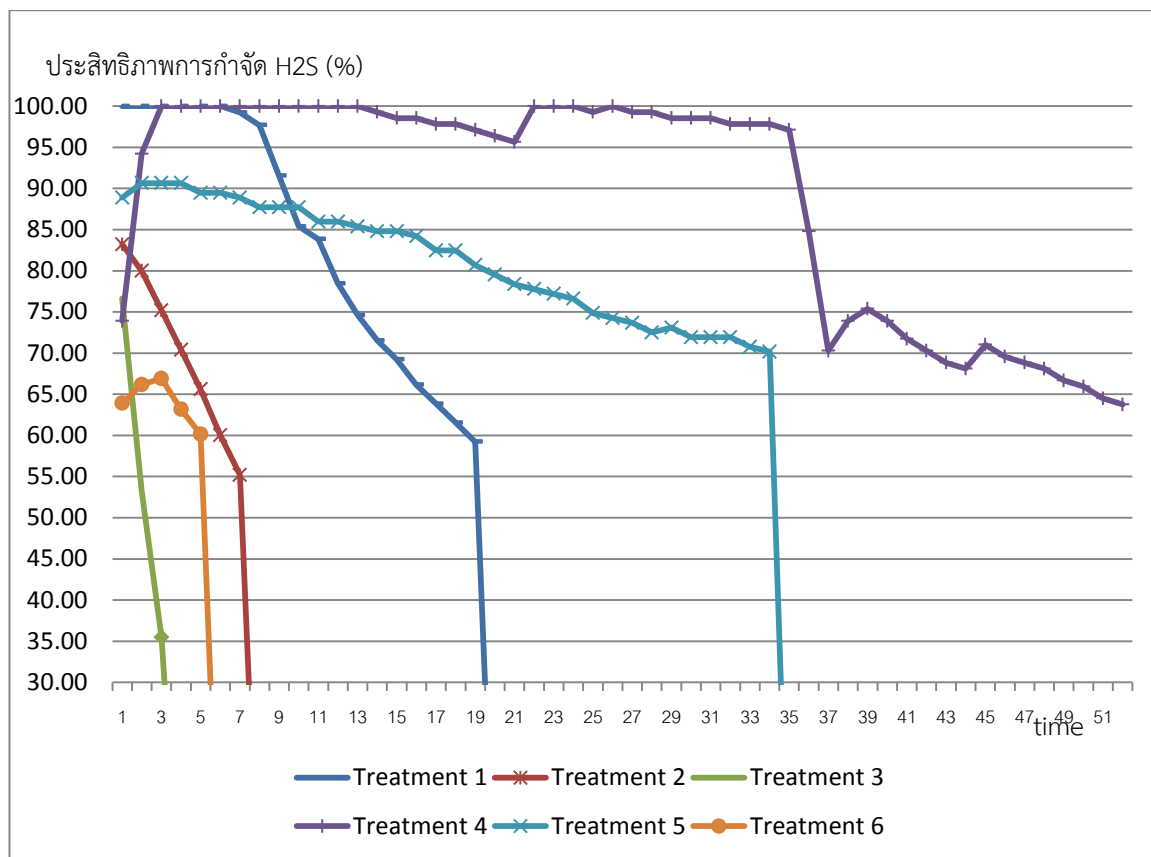
/1 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.

/2 อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.

2.1.7 บทสรุปประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุกำจัดที่แตกต่างกัน ระหว่างถ่านกัมมันต์ ฝอยเหล็ก (S และ M) เหล็กออกไซด์ (S M และ L) โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ศึกษาปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาณวัสดุกำจัดที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาสภาวะอิ่มตัว (breakthrough point) โดยในการทดลองเมื่อระยะเวลาในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มากขึ้น ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มลดลงจนถึงสภาวะอิ่มตัว (breakthrough point) ซึ่งเป็นเวลาที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ค่าการกำจัดถึงจุดอิ่มตัว โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มี breakthrough point ที่การเก็บข้อมูลครั้งที่ 11 (55 นาที), 5 (25 นาที) 2 (10 นาที) 36 (180 นาที) 18 (90 นาที) 3 (15 นาที) ตามลำดับ (แผนภูมิ 7 และ 8)



แผนภูมิ 7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) จำแนกสิ่งทดลอง



แผนภูมิ 8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (%) จำแนกตามสิ่งทดลอง

และหากนำมาตรฐานของความปลอดภัยต่อการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพมาพิจารณาจะพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 100 ppm.) อยู่ที่ยะยะเวลาการใช้วัสดุกำจัด 40 นาที และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ควรเกิน 200 ppm.) อยู่ที่ยะยะเวลาการใช้วัสดุกำจัด 50 นาที สิ่งทดลองที่ 4 มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้อยู่ที่ยะยะเวลาการใช้วัสดุกำจัด 175 นาที และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพอยู่ที่ยะยะเวลาการใช้วัสดุกำจัด 180 นาที สิ่งทดลองที่ 5 มีเฉพาะความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ อยู่ที่ยะยะเวลาการใช้วัสดุกำจัด 35 นาที ขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 3 และ 6 ไม่ผ่านเกณฑ์การทดลองต่อผู้ใช้และเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (ตาราง 11)

ตาราง 11 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสิ่งทดลองจำแนกตามเกณฑ์ความปลอดภัย

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาสารกำจัดสามารถผ่านเกณฑ์ (นาที)	
	ความปลอดภัยต่อผู้ใช้ (H ₂ S < 100 ppm.)	ความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ (H ₂ S < 200 ppm.)
สิ่งทดลอง 1 ถ่านกัมมันต์	40 นาที	50 นาที
สิ่งทดลอง 2 ฝอยเหล็ก S	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
สิ่งทดลอง 3 ฝอยเหล็ก M	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
สิ่งทดลอง 4 เหล็กออกไซด์ S	175 นาที	180 นาที
สิ่งทดลอง 5 เหล็กออกไซด์ M	ไม่ผ่าน	30 นาที
สิ่งทดลอง 6 เหล็กออกไซด์ L	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่แตกต่างกัน (การทดลองที่ 2)

โดยการนำผลของการทดลองที่ 2.1 และข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิในประเด็นของอัตราการไหล และขนาดของเหล็กออกไซด์มาออกแบบเพิ่มเติมเพื่อเป็นหน่วยทดลองเพื่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (การทดลองที่ 2) โดยควบคุมอัตราการไหลเข้าของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องมือวัด Rotameter รุ่น RMB-50D-SSV (สำหรับอากาศ) ที่อัตรา 4.5 ลิตรต่อนาที (อัตราการไหลของการใช้งานในครัวเรือน) ผ่านคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ศึกษาปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาตรวัสดุกำจัดที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาสภาวะอิ่มตัว (breakthrough point) ของวัสดุกำจัดที่แตกต่างกันใน 3 ระดับคือ ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm.) ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm.) และระดับความทนของวัสดุกำจัด (ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm.)

การศึกษาประสิทธิภาพครั้งนี้เป็นการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ไว้ 6 สิ่งทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ถ่านกัมมันต์ (Treatment 1) ฝอยเหล็กโรงกลึง (Treatment 2) เหล็กออกไซด์ ขนาด S (Treatment 3) เหล็กออกไซด์ ขนาด M (Treatment 4) เหล็กออกไซด์ ขนาด L (Treatment 5) และเหล็กออกไซด์ คละขนาด (Treatment 6) เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (%) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm.) ใน 2 ลักษณะคือ ก่อนเข้าระบบกำจัดและหลังจากระบบกำจัด วิเคราะห์ผลโดยการนำข้อมูลไปคำนวณและเปรียบเทียบเชิงสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) ผลการทดลองมีดังนี้

2.2.1 ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (ตาราง 12 และแผนภูมิ 9) พบว่าระดับความปลอดภัยของผู้ใช้ที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ให้เกิน 100 ppm. เฉลี่ย 368.33 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 191.66 นาที สิ่งทดลองที่ 5 (เหล็กออกไซด์ ขนาด L) มีระยะเวลาเฉลี่ย 66.66 นาที สิ่งทดลองที่ 1 (ถ่านกัมมันต์) มีระยะเวลาเฉลี่ย 51.66 นาที และสิ่งทดลองที่ 2 (ฝอยเหล็กจากโรงกลึง) มีระยะเวลาที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ให้เกิน 100 ppm. น้อยที่สุดเฉลี่ย 21.66 นาที ตามลำดับ

จากข้อมูลสรุปได้ว่าสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

ตาราง 12 ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (100 ppm.)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาท)	ลำดับที่
T1 ถ่านกัมมันต์	51.66 ^c	5
T2 ฝอยเหล็กโรงกลึง	21.66 ^c	6
T3 เหล็กออกไซด์ ขนาด S	368.33 ^a	1
T4 เหล็กออกไซด์ ขนาด M	271.66 ^b	2
T5 เหล็กออกไซด์ ขนาด L	66.66 ^c	4
T6 เหล็กออกไซด์ คละขนาด	191.66 ^b	3
F-test	**	
C.V. (%)	33.30	

หมายเหตุ:

T1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,697.20 ppm. SD.= 198.10 Min. = 2,440 Max. = 3,210

T2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,818.88 ppm. SD.= 164.04 Min. = 2,580 Max. = 3,050

T3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,991.89 ppm. SD.= 152.78 Min. = 2,680 Max. = 3,220

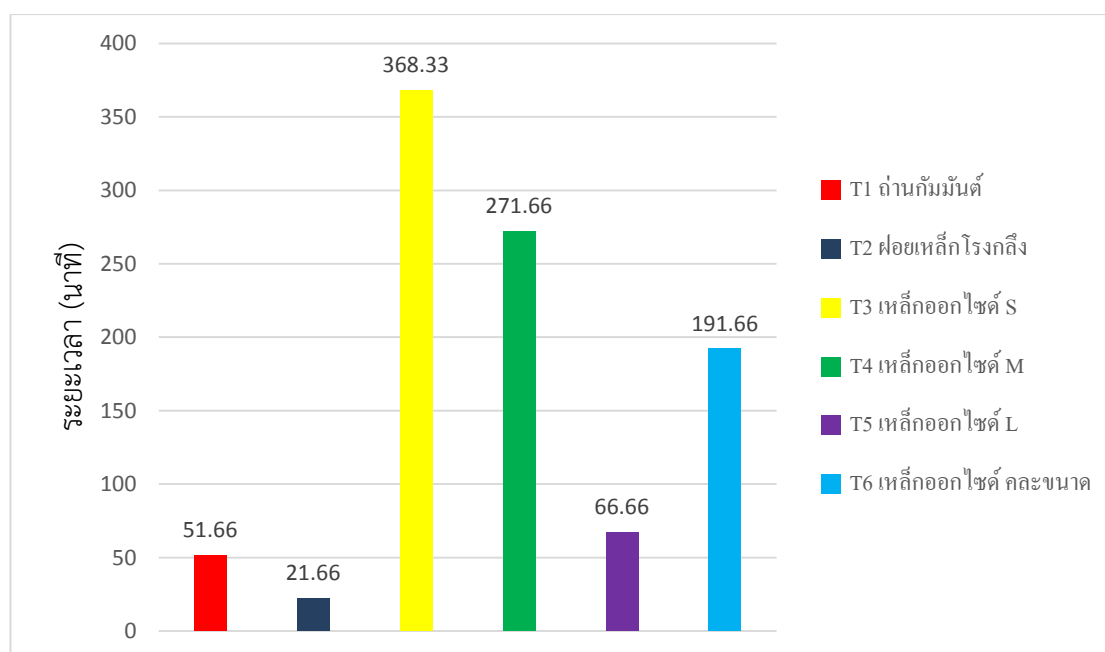
T4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,492.40 ppm. SD.= 145.59 Min. = 2,220 Max. = 2,710

T5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,966.52 ppm. SD.= 145.49 Min. = 2,770 Max. = 3,210

T6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,673.26 ppm. SD.= 198.77 Min. = 2,470 Max. = 3,080

ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์



แผนภูมิ 9 ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (100 ppm.)

2.2.2 ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (ตาราง 13 และแผนภูมิ 10) พบว่าระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm. เฉลี่ย 406.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 325.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที สิ่งทดลองที่ 5 (เหล็กออกไซด์ ขนาด L) มีระยะเวลาเฉลี่ย 111.66 นาที สิ่งทดลองที่ 1 (ถ่านกัมมันต์) มีระยะเวลาเฉลี่ย 56.66 นาที และสิ่งทดลองที่ 2 (ฝอยเหล็กจากโรงกลึง) มีระยะเวลาที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm. น้อยที่สุดเฉลี่ย 35.00 นาที ตามลำดับ

จากข้อมูลสรุปได้ว่าสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดเท่ากับสิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยสิ่งทดลองที่ 4 กับ 6 และ 1 2 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 13 ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์ (200 ppm.)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาที)	ลำดับที่
T1 ถ่านกัมมันต์	56.66 ^c	5
T2 ฝอยเหล็กโรงกลึง	35.00 ^c	6
T3 เหล็กออกไซด์ ขนาด S	406.66 ^a	1
T4 เหล็กออกไซด์ ขนาด M	325.66 ^{ab}	2
T5 เหล็กออกไซด์ ขนาด L	111.66 ^c	4
T6 เหล็กออกไซด์ คละขนาด	271.66 ^b	3
F-test	**	
C.V. (%)	34.20	

หมายเหตุ:

T1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,697.20 ppm. SD.= 198.10 Min. = 2,440 Max. = 3,210

T2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,818.88 ppm. SD.= 164.04 Min. = 2,580 Max. = 3,050

T3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,991.89 ppm. SD.= 152.78 Min. = 2,680 Max. = 3,220

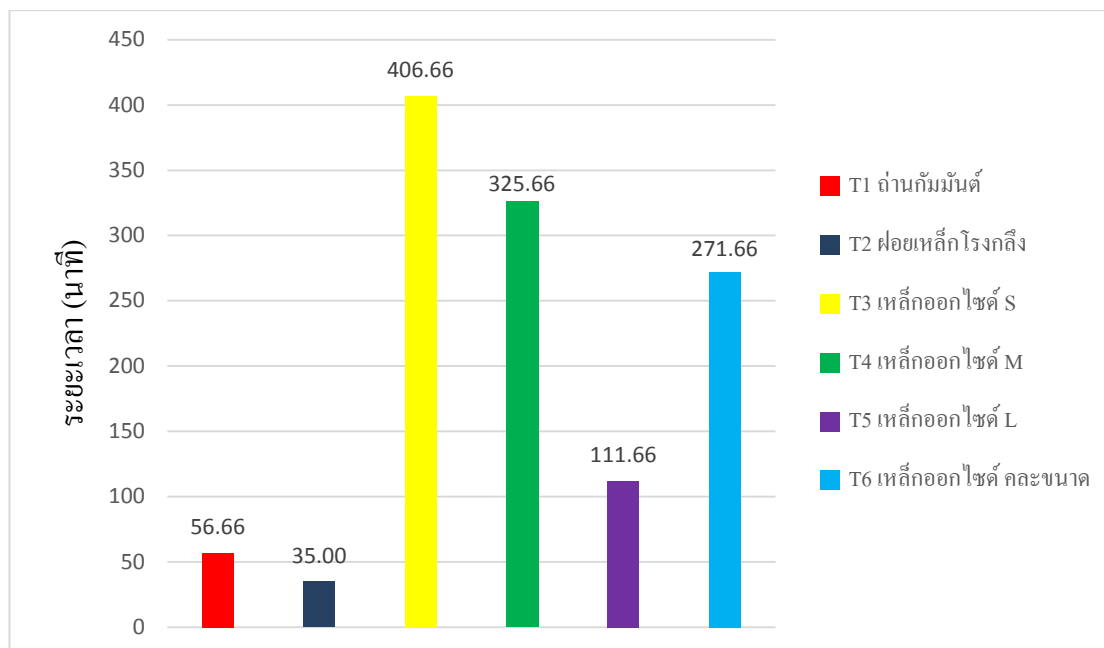
T4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,492.40 ppm. SD.= 145.59 Min. = 2,220 Max. = 2,710

T5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,966.52 ppm. SD.= 145.49 Min. = 2,770 Max. = 3,210

T6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,673.26 ppm. SD.= 198.77 Min. = 2,470 Max. = 3,080

ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์



แผนภูมิ 10 ประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุทดลองที่ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ (200 ppm.)

2.2.3 ระดับความทนของวัสดุกำจัด จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (ตาราง 14 และแผนภูมิ 11) พบว่าระดับความคงทนของวัสดุกำจัดที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. เฉลี่ย 506.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 491.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 435.00 นาที สิ่งทดลองที่ 5 (เหล็กออกไซด์ ขนาด L) มีระยะเวลาเฉลี่ย 203.33 นาที สิ่งทดลองที่ 1 (ถ่านกัมมันต์) มีระยะเวลาเฉลี่ย 71.66 นาที และสิ่งทดลองที่ 2 (ฝอยเหล็กจากโรงกลึง) มีระยะเวลาที่สารสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. น้อยที่สุดเฉลี่ย 68.33 นาที ตามลำดับ

จากข้อมูลสรุปได้ว่าสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) และสิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 14 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระดับความคงทนของวัสดุ (500 ppm.)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาท)	ลำดับที่
T1 ถ่านกัมมันต์	71.66 ^b	5
T2 ฝอยเหล็กโรงกลึง	68.33 ^b	6
T3 เหล็กออกไซด์ ขนาด S	506.66 ^a	1
T4 เหล็กออกไซด์ ขนาด M	491.66 ^a	2
T5 เหล็กออกไซด์ ขนาด L	203.33 ^b	4
T6 เหล็กออกไซด์ คละขนาด	435.00 ^a	3
F-test	**	
C.V. (%)	30.78	

หมายเหตุ:

T1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,697.20 ppm. SD.= 198.10 Min. = 2,440 Max. = 3,210

T2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,818.88 ppm. SD.= 164.04 Min. = 2,580 Max. = 3,050

T3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,991.89 ppm. SD.= 152.78 Min. = 2,680 Max. = 3,220

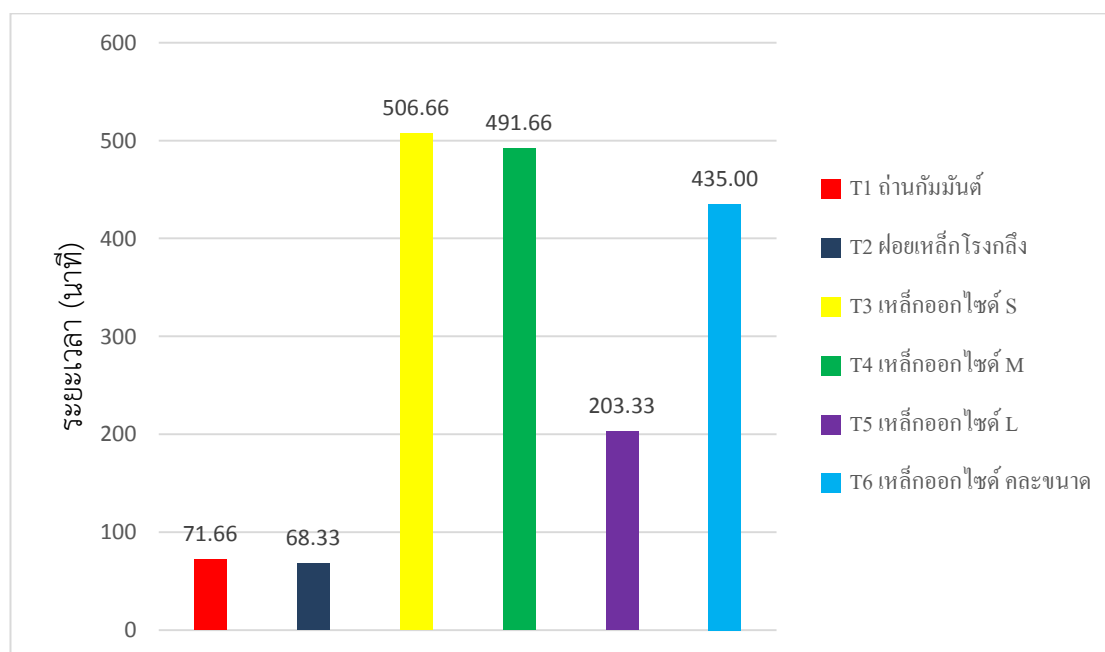
T4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,492.40 ppm. SD.= 145.59 Min. = 2,220 Max. = 2,710

T5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,966.52 ppm. SD.= 145.49 Min. = 2,770 Max. = 3,210

T6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า Mean = 2,673.26 ppm. SD.= 198.77 Min. = 2,470 Max. = 3,080

ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์



แผนภูมิ 11 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระดับความคงทนของวัสดุ (500 ppm.)

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดและการคืนสภาพ (Regenerate)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดเหล็กออกไซด์มาทดสอบประสิทธิภาพในการคืนสภาพ (regenerate) เพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานทางวิชาการประกอบนั้น ผู้วิจัยได้ใช้ผลการวิจัยจากการทดลองในสถานที่ที่มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นมากกว่า 10,000 ppm. (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2558: 12-16) และจากผลการทดลองจำนวน 4 ครั้ง โดยใช้วัสดุเหล็กออกไซด์จำนวน 700 กรัมบรรจุในคอลัมน์ เพื่อดูประสิทธิภาพในการคืนสภาพของวัสดุ ผลการทดลองมีดังนี้

จากผลการทดลองในตาราง 15 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในท่อเหล็กแบบย้อยส่วน (การทดลอง 1) พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นำเข้าคองที่ 10,000 ppm. มีประสิทธิภาพการกำจัดในครั้งที่ 1 คือ 96.42 % และในครั้งที่ 11 คือ 88.50 % (ภายใต้เงื่อนไขปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิน 1,000 ppm.) มีปริมาตรก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบ 1,095 ลิตร ระยะเวลา 38 นาที จากนั้นนำสารกำจัดมาฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ด้วยลมจาก Boiler แบบ excess จนคอลัมน์เย็นจึงหยุดป้อนลมและพักทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อนำไปใช้ในการทดลองครั้งที่ 2

ตาราง 15 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (1)

ครั้งที่	ก๊าซชีวภาพ		Input	Output		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ปริมาตร (L)	เวลา (s)	H_2S (ppm)	H_2S (ppm)	CH_4 (ppm)	
1	95	200	10,000	340	64.2	96.42
2	100	210	10,000	380	64.2	96.20
3	100	210	10,000	320	64.7	96.80
4	100	210	10,000	670	64.2	93.30
5	100	210	10,000	590	64.5	94.10
6	100	210	10,000	400	64.6	96.00
7	100	210	10,000	620	63.7	93.80
8	100	210	10,000	510	64.7	94.90
9	100	210	10,000	830	64.5	91.70
10	100	210	10,000	930	63.0	90.70
11	100	210	10,000	1,150	63.8	88.50
รวม	1,095	2,300 (38 min)				

ตาราง 16 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (2)

ครั้งที่	ก๊าซชีวภาพ		Input	Output		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ปริมาตร (L)	เวลา (s)	H ₂ S (ppm)	H ₂ S (ppm)	CH ₄ (ppm)	
1	100	210	10,000	250	66.6	97.50
2	100	210	10,000	420	66.9	95.80
3	100	210	10,000	590	68.6	94.10
4	100	210	10,000	730	67.7	92.70
5	100	210	10,000	920	71.2	90.80
6	100	210	10,000	1,080	77.7	89.20
รวม	600	1,260 (21 min)				

ผลการทดลองในตาราง 16 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์ ในท่อเหล็กแบบย้อยส่วน (การทดลอง 2) พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นำเข้าคองที่ 10,000 ppm. มีประสิทธิภาพการกำจัดในครั้งที่ 1 คือ 97.50 % และในครั้งที่ 6 คือ 89.20 % (ภายใต้เงื่อนไขปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิน 1,000 ppm.) มีปริมาตรก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบ 600 ลิตร ระยะเวลา 21 นาที จากนั้นนำสารกำจัดมาฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ด้วยลมจาก Boiler แบบ excess จนคอลัมน์เย็นจึงหยุดป้อนลมแต่ไม่ได้พักทิ้งไว้ข้ามคืน ทดลองต่อทันที

ตาราง 17 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (3)

ครั้งที่	ก๊าซชีวภาพ		Input	Output		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ปริมาตร (L)	เวลา (s)	H ₂ S (ppm)	H ₂ S (ppm)	CH ₄ (ppm)	
1	100	210	10,000	730	69.9	92.70
2	100	210	10,000	830	66.1	91.70
3	100	210	10,000	1,320	65.7	86.80
รวม	300	630 (10.5 min)				

ผลการทดลองในตาราง 17 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์ ในท่อเหล็กแบบย้อยส่วน (การทดลอง 3) พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นำเข้าคองที่ 10,000 ppm. มีประสิทธิภาพการกำจัดในครั้งที่ 1 คือ 92.70 % และในครั้งที่ 3 คือ 86.80 % (ภายใต้เงื่อนไขปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิน 1,000 ppm.) มีปริมาตรก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบ 300 ลิตร ระยะเวลา 10.5 นาที จากนั้นนำสารกำจัดมาฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ด้วยลมจาก Boiler แบบ excess จนคอลัมน์เย็นจึงหยุดป้อนลมแต่ไม่ได้พักทิ้งไว้ข้ามคืนและพักทิ้งไว้ข้ามคืน

ตาราง 18 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (4)

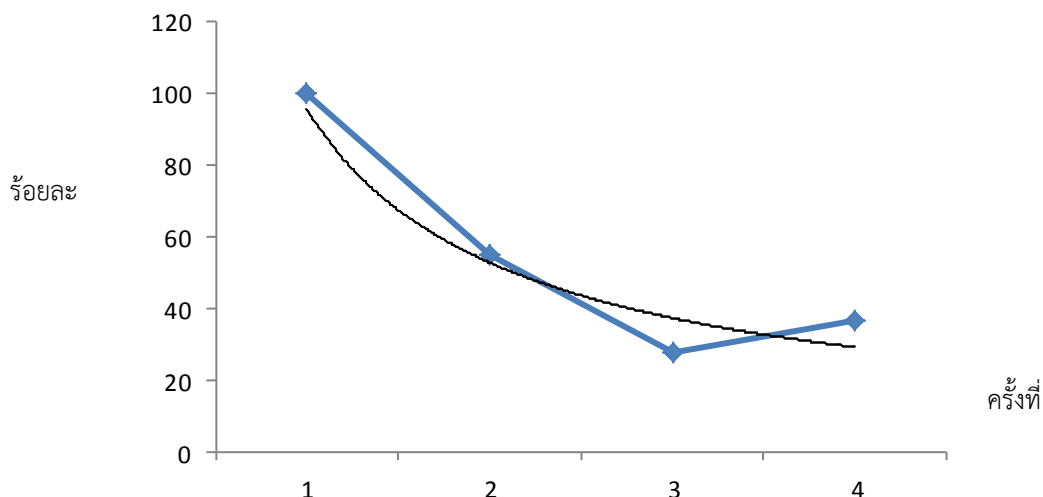
ครั้งที่	ก๊าซชีวภาพ		Input	Output		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ปริมาตร (L)	เวลา (s)	H ₂ S (ppm)	H ₂ S (ppm)	CH ₄ (ppm)	
1	100	210	10,000	480	79.3	95.20
2	100	210	10,000	700	68.9	93.00
3	100	210	10,000	880	68.3	91.20
4	100	210	10,000	1,280	67.5	87.20
รวม	400	840 (14 min)				

ผลการทดลองในตาราง 18 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเหล็กออกไซด์ ในท่อเหล็กแบบย่อยสลาย (การทดลอง 4) พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นำเข้าคงที่ 10,000 ppm. มีประสิทธิภาพการกำจัดในครั้งที่ 1 คือ 95.20 % และในครั้งที่ 4 คือ 87.20 % (ภายใต้เงื่อนไขปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิน 1,000 ppm.) มีปริมาตรก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบ 400 ลิตร ระยะเวลา 14 นาที

จากข้อมูลในตาราง 19 และแผนภูมิ 12 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวมของสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพหลังการ Regenerate โดยวิเคราะห์สัดส่วนการกำจัด H₂S (ppm/kg) หรืออัตราการกำจัด H₂S (ปริมาณต่อเวลา) จากผลการทดลอง 4 ครั้ง พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพ 100 % การทดลองครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือ 54.78 % การทดลองครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือ 27.39 % และการทดลองครั้งที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือ 36.52 % ตามลำดับ (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2558: 16) อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตถึงประสิทธิภาพของการทดลองครั้งที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพน้อยกว่าการทดลองครั้งที่ 4 อาจเป็นสาเหตุจากการ Regenerate สารกำจัดก่อนใช้ในครั้งที่ 3 ให้ลมจนคอลัมน์เย็น ทดลองต่อทันที

ตาราง 19 ประสิทธิภาพโดยรวมของสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพหลังการ Regenerate จากผลการทดลอง 4 ครั้ง

ครั้งที่	ประสิทธิภาพ (%)	การฟื้นฟูสภาพ (Regenerate)
1	100.00	เริ่มต้นสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
2	54.78	Regenerate ก่อนใช้ในครั้งที่ 2 ให้ลมจนคอลัมน์เย็น พักทิ้งข้ามคืน
3	27.39	Regenerate ก่อนใช้ในครั้งที่ 3 ให้ลมจนคอลัมน์เย็น ทดลองต่อทันที
4	36.52	Regenerate ก่อนใช้ในครั้งที่ 4 ให้ลมจนคอลัมน์เย็น พักทิ้งไว้ข้ามคืน



แผนภูมิ 12 แสดงประสิทธิภาพของสารกำจัดหลังการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate)

2.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในภาคสนาม

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 2.2 ซึ่งคือเหล็กออกไซด์ (ขนาด S) และการทดลองนี้ทางผู้วิจัยได้ควบคุมปริมาณของวัสดุกำจัดเหล็กออกไซด์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ด้วยน้ำหนักวัสดุ 330 กรัมเท่ากันทั้งสี่ทดลองที่ 3 4 5 และ 6 จึงสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเหล็กออกไซด์ (S M L และคละขนาด) ขึ้นอยู่กับความสามารถการไหลผ่านของก๊าซชีวภาพในคอลัมน์ ในกรณีของเหล็กออกไซด์ (S) ก๊าซชีวภาพไหลผ่านโดยสัมผัสกับเม็ดเหล็กออกไซด์ได้มากกว่าเหล็กออกไซด์ ขนาด M L และคละขนาด จึงทำให้ระยะเวลาของประสิทธิภาพการกำจัดนานกว่าอย่างชัดเจน (ตาราง 12, 13 และ 14)

ดังนั้นมีข้อสรุปได้ว่าการนำเหล็กออกไซด์ไปใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ในกรณีที่ใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้มโดยตรง (ไม่เกิน 100 ppm.) ควรใช้เหล็กออกไซด์ขนาดเบอร์ S จะมีประสิทธิภาพการกำจัดใน breakthrough point นานที่สุดคือ 368 นาที และในกรณีที่ใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ (ไม่เกิน 200 ppm.) ก็ควรต้องใช้เหล็กออกไซด์ขนาดเบอร์ S จะมีประสิทธิภาพการกำจัดใน breakthrough point นานที่สุดคือ 406 นาที สำหรับระดับความคงทนของวัสดุกำจัดที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm สามารถใช้เหล็กออกไซด์ได้ทั้งขนาดเบอร์ S M หรือคละขนาด จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซไม่แตกต่างกัน

ทั้งนี้การคำนวณปริมาตรหรือการออกแบบระบบคอลัมน์ที่ใช้ในภาคสนาม สามารถคำนวณจากข้อมูลพื้นฐานของระบบก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ กล่าวคือ ข้อมูลพื้นฐานการคำนวณ ก๊าซชีวภาพประกอบด้วย (โดยประมาณ) CH_4 60 % (ความหนาแน่น 0.717 Kg/m^3) CO_2 39 % (ความหนาแน่น 1.980 Kg/m^3) H_2S 1 % (ความหนาแน่น 1.363 Kg/m^3) จึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ความหนาแน่นก๊าซชีวภาพ =
$$\frac{(60 \times 0.717) + (39 \times 1.980) + (1 \times 1.363)}{100} = 1.22 \text{ Kg/m}^3$$
2. ก๊าซชีวภาพในการทดลองครั้งนี้มี H_2S 5,000 ppm. หรือ 0.5 % ก๊าซชีวภาพ 1 m^3 มี H_2S เท่ากับ 6.1 กรัม
3. จากสมการกำจัดทางเคมีที่ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$ โดยที่ก๊าซ H_2S จำนวน 102 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe_2O_3 จำนวน 159.7 กรัม

4. ก๊าซชีวภาพ 1 m³ มี H₂S 6.1 กรัม จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe₂O₃ = (6.1 × 159.7) / 102 = 9.55 กรัม ดังนั้นใน 1 วัน ก๊าซ H₂S ในก๊าซชีวภาพ 4 m³ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe₂O₃ = 4 × 9.55 g. = 38.20 กรัม
5. ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบธาตุในสารกำจัด Iron oxide (Fe₂O₃) มี Fe₂O₃ 83.64 % ต้องใช้สารกำจัด Iron oxide (Fe₂O₃) ในการทำปฏิกิริยากับ H₂S = (38.20 × 100) / 83.64 = 45.67 กรัม/วัน หรือ 1,370 กรัม/เดือน
6. ดังนั้นการทดลองระยะที่ 3 จึงใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร บรรจุวัสดุกำจัดเหล็กออกไซด์คละขนาด ปริมาณ 1,370 กรัม สำหรับภาคสนาม และเพื่อความสะดวกในการถ่ายทอดเทคโนโลยีจึงใช้วัสดุจำนวน 1,000 กรัมต่อชุดทดลอง

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของโครงการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี ดำเนินการบูรณาการทรัพยากร งบประมาณ ร่วมกับโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี และกิจกรรม CSR ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) โดยทางโครงการรับผิดชอบหลักในรุ่นที่ 4 ตำบลเกาะปันหยี จังหวัดพังงา (ตาราง 23) โดยมีภาคีที่เข้าร่วมกิจกรรม ประกอบไปด้วย 13 องค์กร ทั้งภาควิชาการ ภาคราชการ ภาควิชาการปกครองส่วนท้องถิ่น ภาคเอกชน และองค์กรพัฒนาเอกชน ได้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, ศูนย์บูรณาการพันธกิจสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, เทศบาลตำบลป่าเตา จังหวัดอุดรธานี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทักษิณ, องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะปันหยี จังหวัดพังงา, บริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน), คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และเครือข่าย มานะ Energy มานี Power ตามลำดับ ผลการดำเนินการสรุปได้ดังนี้

ตาราง 20 การดำเนินงานโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

รุ่นที่ / สถานที่ / วันที่	กลุ่มเป้าหมาย (คน)		
	เกษตรกร	ภาคี	รวม
รุ่นที่ 1 ตำบลคลองน้ำไหล จังหวัดกำแพงเพชร (27-28 ธันวาคม 2558)	76	29	105
รุ่นที่ 2 ตำบลป่าเตา ตำบลศรีพนมมาศ จังหวัดอุดรธานี (6-7 กุมภาพันธ์ 2559)	22	3	25
รุ่นที่ 3 ตำบลกรุงชิง จังหวัดนครศรีธรรมราช (26-27 มีนาคม 2559)	43	19	62
*รุ่นที่ 4 ตำบลเกาะปันหยี จังหวัดพังงา (23-24 เมษายน 2559)	52	55	107
รวม 3 รุ่น	193	106	299

* รุ่นที่ 4 รับผิดชอบโดยโครงการพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจการเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี

รุ่นที่ 4 ตำบลเกาะปันหยี อำเภอเมือง จังหวัดพังงา ในระหว่างวันที่ 23-24 เมษายน 2559 ณ พื้นที่เกาะหมากน้อย ตำบลเกาะปันหยี อำเภอเมือง และพื้นที่ปฏิบัติการที่บ้านชาวประมงเกาะปันหยี ตำบลเกาะปันหยี ผู้เข้ารับการอบรมประกอบไปด้วยเกษตรกรผู้ผลิตยางพารา และชาวประมงรายย่อยจาก หมู่ที่ 1 2 5 9 และ 10 ตำบลเกาะปันหยี จำนวน 52 ราย บุคลากรกิจกรรม CSR บริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทักษิณ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และทีมผู้ประสานงาน จำนวน 55 ราย รวมทั้งสิ้น 107 ราย



ภาพ 52-55 การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เกาะหมากน้อย

การดำเนินงานการฝึกอบรมครั้งนี้ประสานผ่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา อันทอง สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) เป็นผู้ประสานงานร่วมผู้ใหญ่บ้าน หมู่ที่ 4 ตำบลเกาะปันหยี และนายอับดุลเลาะห์ เหมพิทักษ์ แกนนำด้านพลังงานทางเลือก สำหรับผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีครั้งนี้เป็นเกษตรกรผู้ผลิตยางพารา และชาวประมงรายย่อยของเกาะหมากน้อย ตำบลกรุงชิง ที่ได้รับการสนับสนุนถังหมักก๊าซชีวภาพจากการดำเนินกิจการ CSR ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) โดยมีอายุการใช้งานก๊าซชีวภาพมาอย่างน้อย 2 ปี ดังนั้นทักษะพื้นฐานการดูแลระบบจะมีประสิทธิภาพและมีความสนใจใช้งานต่อเนื่อง โดยที่เกาะหมากน้อยนี้ใช้บ้านของนายอับดุลเลาะห์ เหมพิทักษ์ เป็นศูนย์การเรียนรู้การใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ขณะที่ผลการประเมินการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ (ตาราง 21) พบว่าผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจในภาพรวมของการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ในระดับมาก (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.63) หากพิจารณารายหัวข้อการประเมินพบว่า ผู้ให้ข้อมูลระบุว่าพึงพอใจมาก 3 ด้านคือ ด้านการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 4.17) ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการเข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 4.15) และด้านความเหมาะสมของวิทยากรหลักและคณะทำงานถ่ายทอดฯ (น้ำหนักคะแนน

เฉลี่ย 3.65) รองลงมาผู้ให้ข้อมูลระบุว่าพึงพอใจปานกลาง 2 ด้านคือ ด้านช่วงเวลาและระยะเวลาการถ่ายทอดเทคโนโลยี (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.11) และความเหมาะสมของเนื้อหาหลักสูตร (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.10) ตามลำดับ

ตาราง 21 ผลการประเมินโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ฯ รุ่นที่ 4 (n=34)

หัวข้อการประเมิน	น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
ความเหมาะสมของเนื้อหาหลักสูตร	3.10	พึงพอใจปานกลาง
ความเหมาะสมของวิทยากรหลักและคณะทำงานถ่ายทอดฯ	3.65	พึงพอใจมาก
ช่วงเวลา และระยะเวลาการถ่ายทอดเทคโนโลยี	3.11	พึงพอใจปานกลาง
ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการเข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี	4.15	พึงพอใจมาก
การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	4.17	พึงพอใจมาก
ภาพรวมของการถ่ายทอดเทคโนโลยี	3.63	พึงพอใจมาก

เกณฑ์การแปลความหมาย

น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 1.00-1.80

หมายถึง ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจน้อยที่สุด

น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 1.81-2.60

หมายถึง ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจน้อย

น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 2.61-3.40

หมายถึง ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจปานกลาง

น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.41-4.20

หมายถึง ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจมาก

น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 4.21-5.00

หมายถึง ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจมากที่สุด



ภาพ 56-59 ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในพื้นที่ปฏิบัติการชาวประมงรายย่อย เกาะหมากน้อย

ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการกลางน้ำ (2) ของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติ ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งในเรื่องต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ฯลฯ รวมทั้ง การศึกษารูปแบบการนำเสนอด้านสารสนเทศ ปัจจัยทางจิตวิทยา ฯลฯ เพื่อให้ได้มาซึ่งกระบวนการตัดสินใจในการยอมรับนวัตกรรม มีรายละเอียดคือ

3.1 การศึกษาต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเป็นการคำนวณหาต้นทุนของกระบวนการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัม การศึกษารายละเอียดต้นทุนชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ มีจุดมุ่งหมายเพื่อสะท้อนต้นทุนที่แท้จริงของนวัตกรรม โดยจำแนกการศึกษาต้นทุนออกเป็น 2 ช่วง คือ ต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ และต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วย โดยสินค้าที่เป็นท่ออลูมิเนียม ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 50 เซนติเมตร ได้นำเข้าจากผู้จำหน่ายและส่งของมาถึงจังหวัดอุดรดิตถ์เรียบร้อยแล้วเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2557 โดยมีรายละเอียดตามขั้นตอน ก-ค ดังนี้

ก. ต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ ต้นทุนการผลิตเม็ด Fe_2O_3 มาจากต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตเพื่อจำหน่าย ทั้งหมดมีส่วนประกอบคือ วัตถุดิบทางตรง (Fe_2O_3 หรือ Iron Oxide) ค่าแรงงานทางตรง ที่จ่ายให้ในการผลิตขึ้นรูปเม็ด Fe_2O_3 ดังนั้น ต้นทุนการผลิตในขั้นตอนนี้จะคำนวณจากปริมาณวัตถุดิบต่อกิโลกรัม โดยจะจำแนกกระบวนการในการผลิตออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นที่ 1 การรวบรวมวัตถุดิบจากระบบประปาและการขนส่ง ขั้นที่ 2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบที่รวบรวม และขั้นที่ 3 การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพ โดยมีรายละเอียดกล่าวคือ

ขั้นที่ 1 การรวบรวมวัตถุดิบจากระบบประปาและการขนส่ง เป็นขั้นตอนที่คณะทำงานไปรวบรวมวัตถุดิบ Fe_2O_3 จากการล้างระบบประปาบ้านหนองกลาย ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองจังหวัดอุดรดิตถ์ โดยการเตรียมพื้นที่การรองรับวัตถุดิบ ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 20 เมตร รวมพื้นที่ประมาณ 100 ตารางเมตร วางจุดรองรับด้วยผ้ากรองวัตถุดิบและปรับระดับจุดรวบรวม มีค่าใช้จ่ายดังนี้

- | | |
|---|--------------------|
| 1.1 ค่าผ้ากรองวัตถุดิบ จำนวน 1 ม้วน ราคารวม 2,400 บาท (สามารถใช้งานได้ 4 ครั้ง) | |
| | เป็นเงิน 600 บาท |
| 1.2 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเตรียมสถานที่ และขนส่งวัตถุดิบ | |
| | เป็นเงิน 600 บาท |
| 1.3 ค่าแรงงานเตรียมสถานที่ เก็บรวบรวม และขนส่งวัตถุดิบ จำนวน 9 แรงๆละ 300 บาท | |
| | เป็นเงิน 2,700 บาท |

รวมค่าใช้จ่าย 3,900 บาท (สามพันเก้าร้อยบาทถ้วน)

ขั้นที่ 2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบที่รวบรวม เป็นขั้นตอนที่คณะทำงานสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ Fe_2O_3 จากประปาบ้านหนองกลาย ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองจังหวัดอุดรดิตถ์เพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Fe_2O_3 ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีค่าใช้จ่ายดังนี้

- | | |
|--|--------------------|
| 2.1 ค่าธรรมเนียมและภาษีมูลค่าเพิ่ม การตรวจวิเคราะห์โดยเทคนิค XRF | |
| | เป็นเงิน 1,070 บาท |
| 2.2 ค่าส่งตัวอย่างทางไปรษณีย์ | |
| | เป็นเงิน 35 บาท |

รวมค่าใช้จ่าย 1,105 บาท (หนึ่งพันหนึ่งร้อยห้าบาทถ้วน)

ขั้นที่ 3 การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพ เป็นขั้นตอนที่คณะทำงานเตรียมวัตถุดิบที่ได้ขนส่งมายังบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ โดยเตรียมสภาพวัตถุดิบ บด ร่อน ตากแดด และคัดแยกสิ่งเจือปน จากนั้นนำวัตถุดิบที่เตรียมพร้อมไปขึ้นรูปเป็นเม็ดที่โรงงานฯ มีค่าใช้จ่ายดังนี้

3.1 ค่าแรงงานเตรียมวัตถุดิบก่อนการขึ้นรูป จำนวน 5 แรงๆละ 300 บาท	
เป็นเงิน	1,500 บาท
3.2 ค่าแรงงานการขึ้นรูปเม็ด Fe_2O_3 จำนวน 4 แรงๆละ 300 บาท	
เป็นเงิน	1,200 บาท
3.3 ค่าเช่าเครื่องจักรการขึ้นรูปเม็ด จำนวน 5 ชั่วโมง	
เป็นเงิน	500 บาท
3.4 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงขนส่งวัตถุดิบ และเม็ด Fe_2O_3	
เป็นเงิน	300 บาท
<u>รวมค่าใช้จ่าย 3,500 บาท (สามพันห้าร้อยบาทถ้วน)</u>	

รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ (ขั้นตอนที่ 1-3) เป็นเงินทั้งสิ้น 8,805 บาท (แปดพันแปดร้อยห้าบาท) ซึ่งในการเก็บรวบรวมวัตถุดิบครั้งนี้ได้เม็ด Fe_2O_3 ทั้งสิ้นจำนวน 282 กิโลกรัม หรือคิดเป็นต้นทุน 31.22 บาทต่อกิโลกรัม

ข. ต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วย ต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วย คิดมาจากต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากค่าวัสดุ อุปกรณ์ประกอบ และค่าแรงงานในการประกอบชุดคอลัมน์ ดังนั้น ต้นทุนการผลิตในขั้นตอนนี้จะคำนวณจากชุดคอลัมน์ต่อต้นทุนโดยสามารถจำแนกกระบวนการออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นที่ 1 ต้นทุนค่าชุดอุปกรณ์คอลัมน์ และขั้นที่ 2 ต้นทุนค่าแรงงานในการประกอบชุดคอลัมน์ โดยมีรายละเอียดกล่าวคือ

ขั้นที่ 1 ต้นทุนค่าชุดอุปกรณ์คอลัมน์ในขนาด 50 เซนติเมตร

1.1 ท่อ Acrylic เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 50 เซนติเมตร	
เป็นเงิน	400 บาท
1.2 ข้อลด PVC ขนาด 2-1/2 นิ้ว จำนวน 2 อันๆละ 25 บาท	
เป็นเงิน	50 บาท
1.3 บอลวาล์ว ขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 3 อันๆละ 35 บาท	
เป็นเงิน	105 บาท
1.4 สามทาง PVC ขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 1 อันๆละ 5 บาท	
เป็นเงิน	5 บาท
1.5 ท่อ PVC ขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร 1 เส้นๆละ 10 บาท	
เป็นเงิน	10 บาท
1.6 กาว PVC ใบลี้อยัดตักเล็ก	
เป็นเงิน	5 บาท

รวมค่าใช้จ่าย 575 บาท (ห้าร้อยเจ็ดสิบบาทถ้วน)

ขั้นที่ 2 ต้นทุนค่าแรงงานประกอบชุดคอลัมน์ในขนาด 50 เซนติเมตร

2.1 จากการทดสอบประกอบชุดคอลัมน์ขนาด 50 เซนติเมตร จำนวน 1 ชั่วโมง สามารถประกอบได้ 10 ชุด หรือ 1 วันประกอบได้ 60 ชุด ด้วยค่าแรง 300 บาท หรือเท่ากับ ชุดละ 5 บาท

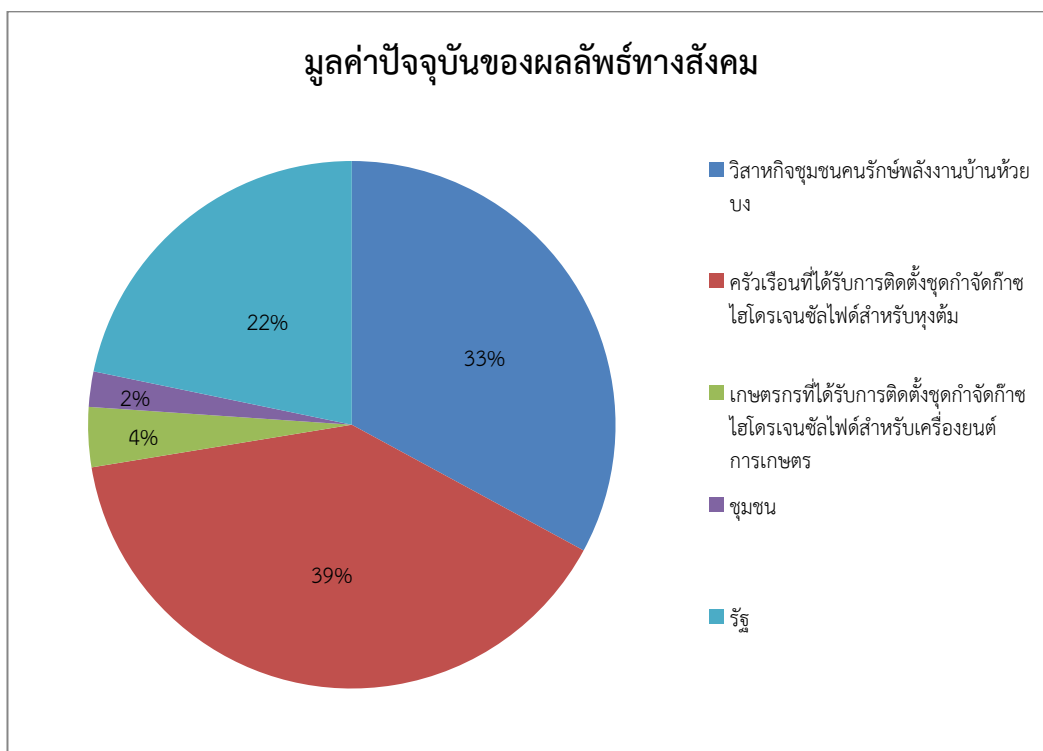
รวมค่าใช้จ่าย 5 บาท (ห้าบาทถ้วน)

รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วย จากต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากค่าวัสดุ อุปกรณ์ประกอบ และค่าแรงงานในการประกอบชุดคอลัมน์ เป็นเงินทั้งสิ้น 580 บาท (ห้าร้อยแปดสิบบาท) หรือคิดเป็นต้นทุน 580 บาทต่อชุด

ค. สรุปต้นทุนต่อหน่วยผลิตรายการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ต้นทุนต่อหน่วยผลิตรายการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในครั้งนี้ คิดจากต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ จำนวน 31.22 บาทต่อกิโลกรัม และต้นทุนการผลิตคอลัมน์ไสขนาด 50 เซนติเมตร คือ 580 บาทต่อชุด ต้นทุนการบริหารจัดการที่เกิดจากการบริหารจัดการกลุ่มกิจการเพื่อสังคม (SE) เป็นเงินทั้งสิ้น 350 บาทซึ่งเมื่อสรุปต้นทุนรายการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพขนาด 50 เซนติเมตร ปริมาตรความจุเม็ด Fe_2O_3 1 กิโลกรัม พบว่ามีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 961.22 บาทต่อชุด (ถ้าร้อยละสิบเอ็ดบาทยี่สิบสองสตางค์)

3.2 ศึกษาผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากเทคโนโลยีการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2559) ดำเนินการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคม (SROI) จากข้อมูลข้างต้นโดยในกรณีนี้การลงทุน (Investment) และต้นทุน (Cost) มีความหมายถึงต้นทุนการดำเนินงานการลงทุนในสินทรัพย์ทุน หรือทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินงาน ขณะที่ผลลัพธ์คือการนำผลผลิตจากการดำเนินกิจกรรมไปใช้ประโยชน์

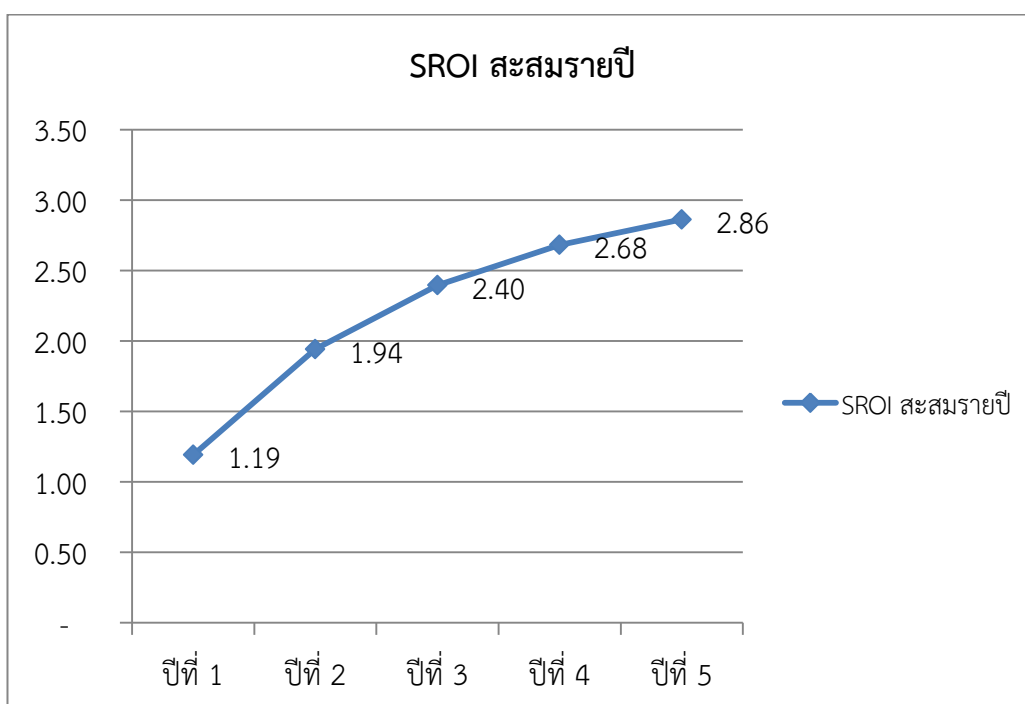
ขณะที่มูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์ทางสังคมชุดการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (แผนภูมิ 13) ประกอบไปด้วยสัดส่วนที่เกิดประโยชน์ดังนี้ ครุว์เรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้ม (ร้อยละ 39) รองลงมา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง (ร้อยละ 33) องค์การภาครัฐ (ร้อยละ 22) ครุว์เรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ (ร้อยละ 4) และชุมชน ร้อยละ 2 ตามลำดับ



แผนภูมิ 13 มูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์ทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2559)

ซึ่งเมื่อศึกษาผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อย รุ่นที่ 1-4 (ภาพ 14) ที่ดำเนินการถ่ายทอดในงานครั้งนี้มีผลตอบแทนทางสังคม (SROI) เท่ากับ 1.19 ในปีที่ 1 และเพิ่มเป็น 2.86 ในปีที่ 5 ตามลำดับ

$$\begin{aligned}
 \text{SROI} &= \frac{\text{NPV ของประโยชน์ทางสังคม}}{\text{NPV ของเงินที่ลงทุน}} \\
 &= \frac{1,287,912.48}{450,000} \\
 &= 2.86
 \end{aligned}$$



แผนภูมิ 14 ผลตอบแทนทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ระยะ 5 ปี
(เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2559)

ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการปลายทางของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านการยอมรับเทคโนโลยีของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในเรื่องคุณสมบัติของนวัตกรรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ให้กับเป้าหมาย ฯลฯ การประเมินการยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยศึกษาจากการรับรู้คุณสมบัติเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ มีลักษณะเป็นการแสดงความคิดเห็นของผู้ให้ข้อมูลที่เป็นผู้ร่วมใช้นวัตกรรม ร่วมเรียนรู้และติดตั้งระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเก็บข้อมูลทั้ง การสัมภาษณ์ และการจัดเวทีเสวนา ฯลฯ โดยประเด็นที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของเทคโนโลยีฯ ตามทฤษฎีของ Everett M. Roger (1983, 2003) จำนวน 5 ด้านคือ ด้านคุณประโยชน์ (Relative Advantage) ด้านความสอดคล้องเหมาะสม (Compatibility) ด้านความยุ่งยากซับซ้อน (Complexity) ด้านความสามารถการแบ่งทดลองได้ (Trialability) และด้านการสังเกตเห็นผลได้ชัดเจน (Observability) รายละเอียดกล่าวคือ



ภาพ 60-62 คุณสมบัติของนวัตกรรมของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเม็ดเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนสี

1) **คุณประโยชน์** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติด้านคุณประโยชน์ของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณสมบัติด้านคุณประโยชน์ แต่ในพื้นที่เกาะหมากน้อยไม่มีการใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก่อน มีการทดลองกำจัดโดยใช้หินศิลาแลง

(งานวิจัยของนักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมี มหาวิทยาลัยทักษิณ) ซึ่งอยู่ระหว่างการทดลอง และเมื่อพิจารณาประเด็นด้านคุณประโยชน์ของเทคโนโลยีพบว่า สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่าโดยเห็นอย่างเป็นรูปธรรม โดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์พิสูจน์ให้เห็น เกษตรกรให้ข้อมูลว่าช่วยในการรักษาสุขภาพของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพโดยตรง ลดการเหม็นแสบจุกโดยเฉพาะวัตถุดิบจากมูลสุกร (เกษตรกรตำบลป่าเช่า อำเภอมือง จังหวัดอุดรธานี / พื้นที่ทดลองการกำจัดของวัสดุ) ความเหม็นจากน้ำเสียการผลิตยางพาราแผ่น (กลุ่มเกษตรกรเกาะหมากน้อย) และจากเศษอาหาร เศษปลาที่เหลือทิ้งจากการประมง (กลุ่มชาวประมงรายย่อยเกาะหมากน้อย)

2) ความสอดคล้องเหมาะสม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติด้านความสอดคล้องเหมาะสมของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ พบว่า ผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดรับรู้ว่าคุณประโยชน์ นั้น มีความสอดคล้องเหมาะสมกับผู้ใช้งานเทคโนโลยี เมื่อพิจารณาประเด็นด้านความสอดคล้องเหมาะสมพบว่า ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถติดตั้งและอยู่ร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ มีขนาดไม่ใหญ่ และใช้อุปกรณ์ วัสดุ และเทคโนโลยีที่มีอยู่ในชุมชนได้ มีความกังวลว่าถ้าไม่ใช้วัสดุท่ออลูมิเนียม จะทำอย่างไรให้สามารถเห็นการดำของวัสดุกำจัดได้

3) ความยุ่งยากซับซ้อนของเทคโนโลยี ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติด้านความยุ่งยากซับซ้อนของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่า ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณประโยชน์ มีความง่ายต่อการนำไปปฏิบัติ รับรู้ว่าคุณประโยชน์ เมื่อนำไปติดตั้งและปฏิบัติจริงในบริเวณบ้านได้ไม่ยาก ไม่ต้องดูแลมาก ประเด็นที่สอบถามมากคือการระบายความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในท่อ ประกอบกับการทำความเข้าใจและการใช้เวลาเรียนรู้ในกระบวนการฟื้นฟูสภาพของสารกำจัดค่อนข้างยุ่งยาก จึงมีข้อเสนอแนะให้มีการฝึกแกนนำในชุมชนเพื่อการสร้างอาสาสมัครคอยดูแลการใช้ทั้งเกาะหมากน้อย

4) ความสามารถแบ่งทดลองได้ของเทคโนโลยี จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติด้านความสามารถแบ่งทดลองได้ของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณประโยชน์ สามารถแบ่งทดลองได้ดี เมื่อพิจารณาประเด็นความคิดเห็นอื่นๆ สามารถกล่าวได้ว่า ผู้ให้ข้อมูลรับรู้ว่าคุณประโยชน์ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพนั้นสามารถทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ไข่เน่า) ได้อย่างชัดเจน มีการยอมรับจากการไปทดลองด้วยตนเองก่อนตัดสินใจ โดยอาจารย์มหาวิทยาลัยทักษิณ จะประชาสัมพันธ์เพื่อการทดลองติดตั้ง 52 ชุดแรกของเกาะหมากน้อยเพื่อสร้างการเรียนรู้

5) การสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนของเทคโนโลยี ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติด้านการสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณประโยชน์ สามารถสังเกตเห็นผลได้ชัดเจน และเมื่อพิจารณาประเด็นความเห็นผู้ให้ข้อมูลระบุว่า สามารถสังเกตเห็นผลได้ชัดเจน เช่น การลดลงของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเครื่องมือวัด การเห็นผลการเปลี่ยนแปลงจากสีของสารกำจัดจากสีน้ำตาลส้มเป็นสีดำ ความมั่นใจและความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ การผลิตและติดตั้งระบบ โดยใช้ผู้นำของเกาะที่มีวัฒนธรรมประเพณี ภาษา และศาสนาเดียวกันเป็นผู้อธิบาย รวมถึงพัฒนาเป็นฐานการเรียนรู้ในชุมชนเพื่อการขยายผล

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

(CONCLUSION IMPLICATION AND RECOMMENDATION)

การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนินกิจกรรมเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีการสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

ระยะที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด

ผลการทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการจัดการต้นน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ การศึกษาในภาคสนามพบว่ามีความเป็นไปได้ของวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide: Fe_2O_3) ที่เป็นของเหลือทิ้งจากระบบประปาในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี โดยพบว่าระบบประปาน้ำบาดาลที่ส่งวิเคราะห์และมีค่าเกินมาตรฐานของเหล็กในน้ำ มีจำนวน 14 แห่ง มีค่าระหว่าง 0.35-9.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม และจะมีวัตถุดิบเหล็กออกไซด์ตกค้างในระบบประปาที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ทางด้านการจัดการรวบรวมวัตถุดิบ จากแหล่งวัตถุดิบมายังกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเช่า จังหวัดอุดรธานี คือ ตั้งแต่จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ จำแนกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การรวบรวมวัตถุดิบจากระบบประปาและการขนส่ง การตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบที่รวบรวม การขึ้นรูปวัตถุดิบและการคัดแยกคุณภาพ

ลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์ ที่นำมาใช้ในการทดลองในระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดครั้งนี้ ศึกษาตามขนาดของแผนการทดลอง (ขนาด S M L) โดยศึกษาใน 2 ตัวแปรคือ ความกว้าง (มิลลิเมตร) พบว่า ขนาดเบอร์ S มีช่วงความกว้าง 8.30-9.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 8.73 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.31) ขนาดเบอร์ M มีช่วงความกว้าง 11.58-13.65 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 12.65 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67) และขนาดเบอร์ L มีช่วงความกว้าง 16.68-18.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 17.49 มิลลิเมตร (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46) ตามลำดับ ผลการศึกษาข้อมูลลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนักของเม็ดเหล็กออกไซด์พบว่า ขนาดเบอร์ S มีช่วงน้ำหนัก 0.52-0.78 กรัม โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.67 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.07) ขนาดเบอร์ M มีช่วงน้ำหนัก 1.62-2.91 กรัม โดยมีช่วงน้ำหนักเฉลี่ย 2.15 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.34) และขนาดเบอร์ L มีช่วงน้ำหนัก 2.81-5.60 กรัม โดยมีช่วงน้ำหนักเฉลี่ย 4.17 กรัม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.70) ตามลำดับ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลอง โดยใช้ท่ออคลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร สำหรับการบรรจุเหล็กออกไซด์ มีระบบวาล์วควบคุมแรงดันก๊าซและช่องสำหรับการวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการไหลย้อนของก๊าซชีวภาพในระบบ

ระยะที่ 2 ทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ผลการทดลองระยะนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แตกต่างกันระหว่างชนิดวัสดุกำจัด เพื่อศึกษาสภาวะอิมิตัว (breakthrough point) ของวัสดุกำจัดที่แตกต่างกันใน breakthrough curve เป็นการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 6 สิ่งทดลองๆ ละ 3

ซ้ำ คือ ถ่านกัมมันต์ (Treatment 1) ฝอยเหล็กโรงกลึง (Treatment 2) เหล็กออกไซด์ ขนาด S (Treatment 3) เหล็กออกไซด์ ขนาด M (Treatment 4) เหล็กออกไซด์ ขนาด L (Treatment 5) และเหล็กออกไซด์ คละขนาด (Treatment 6) เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (%) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm.) ใน 2 ลักษณะคือ ก่อนเข้าระบบกำจัดและหลังจากระบบกำจัด วิเคราะห์ผลโดยการนำข้อมูลไปคำนวณและเปรียบเทียบเชิงสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) ผลการทดลองมีดังนี้

2.1 ระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ระดับความปลอดภัยของผู้ใช้ที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm. สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 100 ppm. เฉลี่ย 368.33 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 191.66 นาที โดยสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

2.2 ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ระดับความปลอดภัยของเครื่องยนต์ที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm. สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 200 ppm. เฉลี่ย 406.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 325.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 271.66 นาที โดยสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุดเท่ากับสิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่น

2.3 ระดับความทนของวัสดุกำจัด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ระดับความทนของวัสดุกำจัดที่ระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. สิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีระยะเวลาที่วัสดุสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. เฉลี่ย 506.66 นาที นานที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) มีระยะเวลาเฉลี่ย 491.66 นาที สิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด) มีระยะเวลาเฉลี่ย 435.00 นาที โดยข้อมูลสรุปได้ว่าสิ่งทดลองที่ 3 (เหล็กออกไซด์ ขนาด S) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดีที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 4 (เหล็กออกไซด์ ขนาด M) และสิ่งทดลองที่ 6 (เหล็กออกไซด์ คละขนาด)

2.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในภาคสนาม การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ฯ ดำเนินการบูรณาการทรัพยากรคน งบประมาณ ร่วมกับโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ และกิจกรรม CSR ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) โดยทางโครงการวิจัยฯ รับผิดชอบหลักในรุ่นที่ 4 ตำบลเกาะปันหยี จังหวัดพังงา โดยมีภาคีที่เข้าร่วมกิจกรรม ประกอบไปด้วย 13 องค์กร ทั้งภาควิชาการ ภาคราชการ ภาควิชาการปกครองส่วนท้องถิ่น ภาคเอกชน และองค์กรพัฒนาเอกชน ในระหว่างวันที่ 23-24 เมษายน 2559 ณ พื้นที่เกาะหมากน้อย ตำบลเกาะปันหยี อำเภอเมือง และพื้นที่ปฏิบัติการที่บ้านชาวประมงเกาะปันหยี ตำบลเกาะปันหยี ผู้เข้ารับการอบรมประกอบไปด้วยเกษตรกรผู้ผลิตยางพารา และชาวประมงรายย่อยจาก หมู่ที่ 1 2 5 9 และ 10 ตำบลเกาะปันหยี จำนวน 52 ราย บุคลากรกิจกรรม CSR บริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และทีมผู้ประสานงาน จำนวน 55 ราย รวมทั้งสิ้น 107 ราย ผู้ให้ข้อมูลพึงพอใจในภาพรวม

ของการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ในระดับมาก (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.63) หากพิจารณารายหัวข้อการประเมินพบว่า ผู้ให้ข้อมูลระบุว่าพึงพอใจมาก 3 ด้านคือ ด้านการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 4.17) ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการเข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 4.15) และด้านความเหมาะสมของวิทยากรหลักและคณะทำงานถ่ายทอดฯ (น้ำหนักคะแนนเฉลี่ย 3.65)

ระยะที่ 3 คำนวณต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ผลการทดลองระยะนี้ เป็นกระบวนการการจัดการกลางน้ำ (2) ของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งในเรื่องต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ฯลฯ

3.1 ต้นทุนการผลิตของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเป็นการคำนวณหาต้นทุนของกระบวนการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัม จำแนกการศึกษาต้นทุนออกเป็น 3 ช่วง คือ (1) ต้นทุนการผลิตสาร Fe_2O_3 จากวัตถุดิบถึงเม็ดวัสดุพร้อมใช้ เป็นเงินทั้งสิ้น 8,805 บาท ซึ่งในการเก็บรวบรวมวัตถุดิบครั้งนี้ได้เม็ด Fe_2O_3 ทั้งสิ้นจำนวน 282 กิโลกรัม หรือคิดเป็นต้นทุน 31.22 บาทต่อกิโลกรัม (2) ต้นทุนการผลิตคอลัมน์ต่อหน่วยจากต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากค่าวัสดุ อุปกรณ์ประกอบ และค่าแรงงานในการประกอบชุดคอลัมน์ เป็นเงินทั้งสิ้น 580 บาท หรือคิดเป็นต้นทุน 580 บาทต่อชุด สรุปต้นทุนต่อหน่วยผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (3) ต้นทุนการบริหารจัดการที่เกิดจากการบริหารจัดการกลุ่มกิจการเพื่อสังคม (SE) เป็นเงินทั้งสิ้น 350 บาท ซึ่งเมื่อสรุปต้นทุนชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพขนาด 50 เซนติเมตร ปริมาตรความจุเม็ด Fe_2O_3 1 กิโลกรัม พบว่ามีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 961.22 บาทต่อชุด (เก้าร้อยหกสิบเอ็ดบาทยี่สิบสองสตางค์)

3.2 ศึกษาผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ มูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์ทางสังคมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ประกอบไปด้วยสัดส่วนที่เกิดประโยชน์ดังนี้ คริวเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้ม (ร้อยละ 39) รองลงมา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง (ร้อยละ 33) องค์การภาครัฐ (ร้อยละ 22) คริวเรือนที่ติดตั้งชุดกำจัดก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ (ร้อยละ 4) และชุมชน ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยมีผลตอบแทนทางสังคมที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อยมีผลตอบแทนทางสังคม (SROI) เท่ากับ 1.19 ในปีที่ 1 และเพิ่มเป็น 2.86 ในปีที่ 5 ตามลำดับ

ระยะที่ 4 ประเมินการยอมรับและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ผลการศึกษากระบวนการจัดการปลายน้ำของระบบเทคโนโลยีสะอาด คือ ศึกษามิติด้านการยอมรับเทคโนโลยีของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในเรื่องคุณสมบัติของนวัตกรรม และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ให้กับเป้าหมาย ฯลฯ การประเมินการยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยศึกษาจากการรับรู้คุณสมบัติเทคโนโลยีชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจำนวน 5 ด้านคือ (1) คุณประโยชน์ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณประโยชน์ มีคุณสมบัติด้านคุณประโยชน์ แต่ในพื้นที่เกาะหมากน้อยไม่มีการใช้วัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก่อน แต่สามารถกำจัดโดยเห็นอย่างเป็นรูปธรรมผ่านการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เกษตรกรให้ข้อมูลว่าช่วยในการรักษาสุขภาพของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพโดยตรง ลดการเหม็นแสบจมูกโดยเฉพาะวัตถุดิบจาก ความเหม็นจากน้ำเสียการผลิตยางพาราแผ่น และจากเศษอาหาร เศษปลาที่เหลือทิ้งจากการประมง (2) ความสอดคล้องเหมาะสม ผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดรับรู้ว่าคุณประโยชน์ นั้น มีความสอดคล้องเหมาะสมกับผู้ใช้นวัตกรรม โดยชุดนี้สามารถติดตั้งและอยู่ร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ มีขนาดไม่ใหญ่มาก และใช้อุปกรณ์ วัสดุ และเทคโนโลยีที่มีอยู่ในชุมชนได้ (3) ความยุ่งยากซับซ้อนของเทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ว่าคุณประโยชน์ มีความง่ายต่อการนำไปปฏิบัติ รับรู้ว่าคุณประโยชน์ เมื่อนำไปติดตั้งและปฏิบัติงานจริงในบริเวณบ้านได้ไม่ยาก ไม่ต้องดูแลมาก ประเด็นที่สอบถามมากคือ

การระบายความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในท่อ (4) ความสามารถแบ่งทดลองได้ของเทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ ว่าเทคโนโลยีฯ สามารถแบ่งทดลองได้ดี สามารถทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกลิ่นของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างชัดเจน มีการยอมรับจากการไปทดลองด้วยตนเองก่อนตัดสินใจ โดยมีการประชุม เพื่อการทดลองติดตั้ง 52 ชุดแรกของเกาะหมากน้อยเพื่อสร้างการเรียนรู้ (5) การสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนของ เทคโนโลยีฯ ผู้ให้ข้อมูลส่วนมากรับรู้ ว่าเทคโนโลยีฯ สามารถสังเกตเห็นผลได้ชัดเจน จากการลดลงของปริมาณ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเครื่องมือวัด การเห็นผลการเปลี่ยนแปลงจากสีของสารกำจัดจากสีน้ำตาลส้มเป็นสีดำ

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาดสำหรับการดำเนิน กิจกรรมเพื่อสังคมของวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุดรธานี มีประเด็นการอภิปรายผล พร้อมทั้งข้อเสนอแนะการประยุกต์ใช้ ดังนี้

1. การออกแบบและประสิทธิภาพชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากผลการวิจัยทำให้เห็นว่า วัตถุดิบจากระบบบ่อบำบัดสาหร่ายมีศักยภาพเพียงพอ แต่การรวบรวมให้ได้คุณภาพที่ดีเพื่อส่งผลต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จำเป็นต้องมีการฝึกทักษะ รวมทั้งการสร้างเครือข่ายระหว่างระบบประปา กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง เพื่อการส่งต่อวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่องในรูปของผงเหล็ก ออกไซด์ที่มีการเก็บตามมาตรฐานของวัตถุดิบเป็นไปตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology)

นอกจากนั้น การนำเหล็กออกไซด์ไปใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ในกรณีที่ใช้ ก๊าซชีวภาพสำหรับการหุงต้มโดยตรง ควรใช้เหล็กออกไซด์ขนาดเบอร์ S จะมีประสิทธิภาพการกำจัด ในช่วงเวลา (breakthrough point) ได้นานที่สุด และในกรณีที่ใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ ควรต้องใช้เหล็ก ออกไซด์ขนาดเบอร์ S จะมีประสิทธิภาพการกำจัดนานได้ที่สุด สำหรับระดับความคงทนของวัสดุกำจัดที่ระดับ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 500 ppm. สามารถใช้เหล็กออกไซด์ได้ทั้งขนาดเบอร์ S M หรือละขนาด จะมี ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้งานจริง ควรผลิตเม็ดเหล็ก ออกไซด์ขนาด S (มีช่วงความกว้าง 8.30-9.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 8.73 มิลลิเมตร มีช่วงน้ำหนัก 0.52-0.78 กรัม โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.67 กรัม) แล้วการใช้ของเกษตรกรคือละขนาดได้เลยโดยไม่ต้องนำมา คัดเกรดแต่อย่างใด

ส่วนประเด็นของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นคอลัมน์นั้น จากการทดลองในครั้งนี้ที่คณะผู้วิจัยใช้ท่อคลิกไล เพื่อเหตุผลของการให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุกำจัดที่เปลี่ยนสี ทำให้เกิดการยอมรับในการใช้นวัตกรรม เพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีประโยชน์ในการสังเกตเห็นชัดเจน แต่ก็มีต้นทุนท่อคลิกไลในการ ผลิตชุดขนาด 50 เซนติเมตร ถึง 400 บาท หากสามารถลดต้นทุนส่วนนี้ได้ลงเหลือไม่เกิน 100 บาท จะทำให้ ต้นทุนการผลิตโดยรวมลดลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลดีต่อเกษตรกรรายย่อยหรือผู้ที่ส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพ เพื่อความปลอดภัย

2. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในภาคสนาม การถ่ายทอดเทคโนโลยี การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ฯ มีความจำเป็นต้องใช้หลักสูตรที่ทั้งความรู้และทักษะ โดยควรมีภาคีในพื้นที่ ดำเนินการหลักคือ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การใช้งานชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพมี จุดสำคัญ 2 เรื่องคือ การระบายน้ำจากการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ 1 และการคืนสภาพ (Regenerate) สาร กำจัดให้คืนสภาพเดิม (สมการที่ 2) ซึ่งเกษตรกรผู้ใช้งานควรมีทักษะการใช้งาน แม้ว่าการถ่ายทอดเทคโนโลยี จะมีการฝึกในตรงนี้แล้ว แต่ควรมีแกนนำหรืออาสาสมัครด้านพลังงานคอยสร้างการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องเพื่อ ให้เกิดความคุ้นชินกับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้

ขณะที่การใช้หรือการส่งเสริมการใช้นวัตกรรมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง มีประเด็นการอภิปรายและข้อเสนอแนะในคราวเดียวกันกล่าวคือ การผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเหล็กออกไซด์นั้น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนดังกล่าวสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการกระจายสินค้าสู่กลุ่มเป้าหมายมีทางกองส่งเสริมการเกษตร เทศบาลตำบลป่าเป้า ช่วยอำนวยความสะดวกในระดับที่น่าพึงพอใจ

แต่การกระจายนวัตกรรมนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพที่มีอยู่แล้วในประเทศทำได้ไม่เร็วนัก การดำเนินการในเรื่องนี้จึงมีแนวทางที่ต้องประสานหน่วยงานที่กำกับดูแลและส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกในประเทศไทย คือ กระทรวงพลังงาน กรมปศุสัตว์ และกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น ให้เข้าใจและยอมรับการใช้งานนวัตกรรมนี้ และบรรจุนวัตกรรมนี้กับอุปกรณ์การผลิตก๊าซชีวภาพไปตั้งแต่ตอนตั้งงบประมาณการส่งเสริม ในประเด็นนี้จะสร้างความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ก๊าซชีวภาพตั้งแต่เริ่มต้น ส่วนกรณีของผู้ที่ใช้งานก๊าซชีวภาพมาแล้ว สามารถทำในลักษณะของบริษัทไทยออยล์ (มหาชน) ที่เข้าร่วมการปฏิบัติการ CSR ที่เกาะหมากน้อยในช่วงการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ในงานวิจัยนี้ จะทำให้เกษตรกรที่ระบบการผลิตแล้วสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ อาจไม่ใช่ในรูปแบบของการให้เปล่าแต่ในรูปแบบของการลงทุนร่วม (ค่าแรง) หรือการบริหารจัดการโดยกลุ่มเกษตรกรกร ฯลฯ

นอกจากนั้น การสร้างกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอื่นๆ ที่สนใจผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (พื้นที่ที่มีวัตถุดิบ) เพื่อสร้างงาน สร้างรายได้ และลดต้นทุนด้านการขนส่งอุปกรณ์และวัตถุดิบ สามารถมาเป็นเครือข่ายร่วมกันได้ผ่านการประสานงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยทางคณะผู้วิจัยพร้อมถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

ขณะที่นวัตกรรมนี้มีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาคุณลักษณะสำหรับการใช้งานในระดับที่สูงขึ้น ในระดับอุตสาหกรรม หรือพัฒนารูปแบบจากเม็ดทรงกลม ให้เป็นแผ่น Filter หรือรูปทรงอื่นที่พร้อมการใช้งาน แม้กระทั่งการขึ้นแม่พิมพ์สำหรับคอกลิ้นขึ้นเดียวเพื่อประโยชน์การใช้งานที่ง่ายต่อการบำรุงรักษา จึงควรเปิดรับนักวิจัยที่มีความเฉพาะทางมาทำให้ชิ้นงานนี้เดินต่อไปเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อไป.

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. กรุงเทพฯ: เอกสารความรู้
ฐานความรู้การจัดการกลิ่น.
- จักรพงษ์ ประเสริฐฐานนท์ และคณะ. 2554. การศึกษาการผลิตก๊าซไบโอมีเทนจากของเสียเพื่อใช้เป็น
เชื้อเพลิงกับรถยนต์. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (เอกสารเผยแพร่
เฉษฏา มิ่งฉาย และคณะ. 2554. รูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคแบบครบวงจร
สำหรับเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง ตำบลป่าเป้า อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตร. อุดรดิตร: คณะ
เกษตรศาสตร์ (รายงานการวิจัย).
- 2556. การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อการพัฒนาพลังงานชุมชนของ
เกษตรกรรายย่อย. อุดรดิตร: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตร (รายงาน
ความก้าวหน้างานวิจัย ระยะที่ 1)
- 2558. รายงานผลการวิจัยและพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีโครงการวิจัยการเพิ่ม
ประสิทธิภาพระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน . อุดรดิตร: คณะ
เกษตรศาสตร์ (รายงานการวิจัย).
- ณรงค์ สมพงษ์. 2530. สื่อเพื่อการส่งเสริมเผยแพร่. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
“เทคโนโลยีสะอาด” ที่มา: www.api.ning.com/files/FeDxRLUx9ZWY-x10Tmr.../file.doc
วันที่สืบค้น 29 กันยายน 2556
- ปัทมา อรุณราช และคณะ. 2552. การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการดูดซึมและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย
โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตในหลอดดูดแบบแพค. สงขลา: บทความสืบเนื่อง (Proceeding) การ
ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 21-22 พฤษภาคม 2552.
- พิชญา ยังดี และคณะ. 2554. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับ.
นครนายก: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. มปป. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ. เชียงใหม่: สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ
(เอกสารเผยแพร่)
- รัศมี สิทธิชันแก้ว. 2554. “พัฒนาตัวดูดซับเพื่อบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซธรรมชาติ”.
ประชาคมวิจัย สกว. 97 (17-18)
- วงศ์วิวรรธ ฐนุศิลป์ และสุนันทา เลาว์ณศิริ. 2555. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ
โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก. สงขลา: บทความสืบเนื่อง (Proceeding) การประชุมวิชาการแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 (419-427)
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ. 2556. แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแก๊สไข่เน่า แก๊สพิษที่
ไม่ควรมองข้าม. ที่มา: <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/62>. วันที่สืบค้น 29 กันยายน 2556
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2556. เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology). ที่มา: http://www.tei.or.th/songkhlaake/database/knowledge/knowledge_ct5.html#problem_CT
วันที่สืบค้น 5 กันยายน 2556
- สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2554. ความรู้เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Biogas). กรุงเทพฯ:
กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุขน ตังทวิพัฒน์และคณะ. 2555. “การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน”.
แก่นเกษตร. 40 ฉบับพิเศษ 2: 201-204.
- Mingchai C. and Sangmanee P. 2011. **Decision process for adoption of biogas technology for the sustainable development in Uttaradit province, Thailand**. Proceeding in 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, 4-7 Sep. 2011, Istanbul, Turkiye.
- Moosavi, R.G., Naddafi, K., Mesdaghinia, A., Vaezi, F., and Mahmoudi, M. 2005. *H2S Removal in an Oxidation Packed Bed Scrubber using Different Chemical Oxidation*. **J. Applied Sciences**. 5(4): 651-654.
- Rogers, E. M, Una E. Medina, Mario A. Rivera, and Cody J. Wiley. “Complex Adaptive Systems and the Diffusion of Innovations” **The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal**, 10(3), 1-26.
- Rogers, E. M. “A prospective and retrospective look at diffusion model” **Journal of Health Communication**, 9(1), (2004) 13-19.
- Rogers, E. M. 2003. “*Diffusion of Innovations*” (5th Edition). New York: Free Press.
- The American National Standards Institute standard. **Hydrogen Sulfide**.
<http://www.orangeth.com/GasArticles/H2S.html>. วันที่สืบค้น 25 กันยายน 2556.

ภาคผนวก

หนังสือรับรองการเป็นวิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบงที่ดำเนินกิจการเพื่อสังคมด้านการพัฒนา
พลังงานทางเลือกสำหรับวิสาหกิจชุมชน กลุ่ม OTOP เกษตรกร ฯลฯ


หนังสือสำคัญแสดงการจดทะเบียนวิสาหกิจชุมชน
หนังสือสำคัญฉบับนี้ให้ไว้แก่ วิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง ที่ตั้ง : เลขที่ 6 หมู่ที่ 7 ตำบลป่าน้ำ อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี รหัสไปรษณีย์ 53000 โทรศัพท์: 0896683564 โทรสาร: E-mail address : เพื่อเป็นหลักฐานว่า ได้รับการจดทะเบียนวิสาหกิจชุมชน ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน พ.ศ. 2548 เรียบร้อยแล้ว รหัสทะเบียน 6-53-01-04/1-0034 ให้ไว้ ณ วันที่ 8 เดือนสิงหาคม พุทธศักราช 2557 ลงชื่อ.....นายทะเบียน (นายวิโรจน์ บาคเพชร) เกษตรอำเภอเมืองอุดรธานี เกษตรอำเภอ สำนักงาน เกษตรอำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี
หมายเหตุ (1) วิสาหกิจชุมชน และเครือข่ายวิสาหกิจชุมชน ต้องแจ้งความประสงค์ที่จะดำเนินการต่อไป ภายใน 30 วัน นับตั้งแต่วันสิ้นปีปฏิทินทุกปี หากไม่แจ้งเป็นเวลา 2 ปีติดต่อกัน อาจถูกถอนชื่อออกจากทะเบียน (2) การเลิกกิจการ จักต้องแจ้งให้นายทะเบียนทราบภายใน 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ประสงค์จะเลิกกิจการ

ตาราง 22 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรม และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

Output		ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ / จากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. การศึกษาศักยภาพการออกแบบระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	100 %	ระบบกำจัดก๊าซ H ₂ S ที่สอดคล้องกับหลักการทำงาน จำนวน 1 ระบบ
2. พัฒนาระบบรวบรวมวัตถุดิบเหล็กออกไซด์และการสร้างอุปกรณ์ (column) สำหรับการใส่วัสดุกำจัด	100 %	วัตถุดิบเหล็กออกไซด์ ที่มีองค์ประกอบของ Fe ₂ O ₃ ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์
3. จัดทำแนวทางการใช้งาน ด้านอายุการใช้งาน และการตรวจสอบสภาพการหมดอายุทางกายภาพ	100 %	ระบบกำจัดก๊าซ H ₂ S ที่สอดคล้องกับหลักการทำงาน จำนวน 1 ระบบ
4. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดชนิดและลักษณะที่แตกต่างกัน	100 %	เหล็กออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุดขนาด S (มีช่วงความกว้าง 8.30-9.20 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างเฉลี่ย 8.73 มิลลิเมตร มีชว่นน้ำหนัก 0.52-0.78 กรัม โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.67 กรัม)
5. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดภายใต้คอลัมน์ที่มีความยาวที่แตกต่างกัน และการฟื้นฟูสภาพ (regenerate)	100 %	ความยาวคอลัมน์ขนาด 50 เซนติเมตร บรรจุสารกำจัดจำนวน 1,000 กรัม มีประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาณ 5,000 ppm. ในปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ 1-3 ลบ.ม.ต่อวัน
6. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของวัสดุกำจัดในชุมชน	100 %	ประสิทธิภาพการกำจัดในชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จำนวน 52 ชุด ที่ติดตั้งเกาะหมากน้อย ตำบลเกาะปันหยี อำเภอเมือง จังหวัดพังงา
7. การศึกษาต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	100 %	ข้อมูลมิติทางเศรษฐศาสตร์ ในด้านต้นทุนการผลิต จุดคุ้มทุน มูลค่าทางสิ่งแวดล้อม และข้อมูลการยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
8. พัฒนาสื่อสารสนเทศการเรียนรู้ของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	100 %	สื่อการเรียนรู้การใช้งานชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
9. การประเมินการยอมรับเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการฝึกอบรมเกษตรกรเครือข่าย	100 %	ข้อมูลที่เกษตรกรยอมรับเทคโนโลยีของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในเรื่องคุณสมบัติของนวัตกรรม ผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ให้กับเป้าหมาย ฯลฯ จำนวน 5 ด้านคือ คุณประโยชน์ ความสอดคล้องเหมาะสม ความยุ่งยากซับซ้อน ความสามารถแบ่งทดลองได้ การสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนของเทคโนโลยีฯ

ตาราง 23 กรอบการคิดผลตอบแทนทางสังคม (SROI) ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ผู้มีส่วนได้เสีย	จำนวนผู้มีส่วนได้เสีย	ผลลัพธ์	คำอธิบายตัวชี้วัด
วิสาหกิจชุมชน คนรักษ์พลังงาน บ้านห้วยบง	23	ความรู้เพิ่มเติมที่ได้รับจากการรวมกลุ่มกัน	จำนวนชั่วโมงที่มาประชุมเครือข่ายต่อปี
	1	รายได้เพิ่มจากการจำหน่ายชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	รายได้เพิ่มจากการจำหน่ายชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
	23	รายได้เพิ่มจากการเป็นวิทยากร	รายได้เพิ่มจากการเป็นวิทยากร
	23	สุขภาพดีขึ้น	ค่าใช้จ่ายการรักษาพยาบาลโรคระบบหายใจ
ครัวเรือนที่ได้รับ การติดตั้งชุด กำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับหุงต้ม	200	สุขภาพดีขึ้น	ค่าใช้จ่ายการรักษาพยาบาลโรคระบบหายใจ
	200	ลดค่าใช้จ่ายการซื้อหัวเตาแก๊สใหม่	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการซื้อหัวเตาแก๊สใหม่
เกษตรกรที่ได้รับ การติดตั้งชุด กำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับ เครื่องยนต์ การเกษตร	10	ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์การเกษตร	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์การเกษตรที่ประหยัดได้
ชุมชน	1	สภาพแวดล้อมดีขึ้น	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการปรับปรุงดินเปรี้ยวโดยใช้ปูนขาว
	3	จัดการระบบประปาชุมชน	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการทำความสะอาดบ่อกรองน้ำประปา
รัฐ	1	ลดค่าใช้จ่ายของระบบประกันสุขภาพถ้วนหน้า	จำนวนสมาชิกที่ใช้ประกันสุขภาพของภาครัฐ

ตาราง 24 ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลสมาชิกวิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนรักพลังงานบ้านห้วยบง

ข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลสมาชิก "วิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง" และกลุ่มผู้ติดตั้งชุดกำจัดฯ			หน่วย
สมาชิกของเครือข่าย "วิสาหกิจชุมชนคนรักพลังงานบ้านห้วยบง"	23	ข้อมูลวิสาหกิจ	คน
จำนวนสมาชิกเฉลี่ยต่อครัวเรือนของสมาชิกวิสาหกิจชุมชน	4	ข้อมูลวิสาหกิจ	คน
จำนวนชั่วโมงที่สมาชิกมาประชุมกลุ่ม (ต่อเดือน)	3	ข้อมูลวิสาหกิจ	ชม./เดือน
จำนวนสมาชิกที่ใช้ประกันสุขภาพของภาครัฐ	23	ข้อมูลวิสาหกิจ	คน
อัตราการเจ็บป่วยในกลุ่มสมาชิกเครือข่ายฯ/กลุ่มผู้ติดตั้งชุดกำจัดฯ	0.1	ข้อมูลวิสาหกิจ	เปอร์เซ็นต์

ตาราง 25 ต้นทุน รายรับ รายได้ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มอนุรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง

ต้นทุนการผลิต	บาท/ชุด	รายรับ	บาท/ชุด
1.ต้นทุนการผลิตสาร Fe ₂ O ₃ จากวัตถุดิบถึง เม็ดวัสดุพร้อมใช้	31.22	1.รายรับต่อ ชุด	1000
2.ต้นทุนการผลิตคอล์มน์ต่อหน่วย	580		
รวมต้นทุนการผลิตต่อชุด	611	รายรับต่อชุด	1,000
		รายได้	77,756
		กำไรต่อชุด	389

ตาราง 26 ข้อมูลสถิติอื่นประกอบการคำนวณผลตอบแทนทางสังคม (SROI)

ข้อมูลสถิติอื่นๆ			หน่วย
ค่าใช้จ่ายการรักษาพยาบาลเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อปี ปี 2558	8,640	สำนักงานสถิติแห่งชาติ	บาท/ครัวเรือน/ปี
สัดส่วนผู้ป่วยนอก ที่มีสาเหตุการป่วยจากโรคระบบหายใจ จากสถานบริการสาธารณสุขของกระทรวงสาธารณสุขทั่วราชอาณาจักร ปี2557	0.14	สำนักงานสถิติแห่งชาติ	เปอร์เซ็นต์
ค่าใช้จ่ายการรักษาพยาบาลโรคระบบหายใจ	1,209.60	จากการคำนวณ	บาท/ครัวเรือน/ปี
สัดส่วนของโอกาสที่จะเป็นโรคระบบหายใจเนื่องจากสาเหตุอื่น	0.30	ข้อมูลวิสาหกิจ	เปอร์เซ็นต์
รายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากรอุตรดิตถ์ ปี 2557	84,003	สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	บาท/ปี
จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี	2,728	จากสมมุติฐาน : แต่ละปีมีวันทำงาน 341 วัน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง	ชั่วโมง/ปี
รายได้เฉลี่ยต่อคนต่อชั่วโมงต่อปี	30.79	คำนวณจากรายได้ต่อหัวต่อปี	บาท/ชม./ปี
สัดส่วนของสมาชิกที่เป็นวิทยากรด้านอื่นๆ	0.05	จากการสัมภาษณ์สมาชิกในกลุ่ม	เปอร์เซ็นต์
มูลค่าการใช้ปูนขาวเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยว (อัตรา 1 ตันต่อไร่)	1,000	จากการสำรวจราคา	บาท/ไร่/ปี
พื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจาก H ₂ S ส่งผลให้ดินเปรี้ยว (คำนวณจากพื้นที่บ่อก๊าซชีวภาพจุดละ 25 ตารางเมตร จำนวนทั้งสิ้น 200 จุด จึงเท่ากับ 5,000 ตารางเมตร หรือเท่ากับ 3.125 ไร่)	3.125	จากการคำนวณ (ค่าประมาณ)	ไร่
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการปรับปรุงดินเปรี้ยวโดยใช้ปูนขาว	3,125	จากการคำนวณ (ค่าประมาณ)	บาท/ไร่/ปี

ตาราง 27 ข้อมูลประกอบการคำนวณผลตอบแทนทางสังคม (SROI)

ข้อมูลทางการเงินอื่นๆ	มูลค่า	แหล่งข้อมูล	หน่วย
ค่าใช้จ่ายภาครัฐในโครงการประกันสุขภาพ (30 บาท) ปี 57	2,956	สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ	บาท/หัว/ปี
ค่าใช้จ่ายในการซื้อหัวเตาแก๊สใหม่	500	สำรวจ	บาท/หัว/ปี
โอกาสที่จะต้องเปลี่ยนหัวเตาใหม่	0.2	ค่าประมาณจากการสัมภาษณ์	เปอร์เซ็นต์
งบประมาณที่ใช้ในการดำเนินโครงการ	450,000	ข้อมูลวิสาหกิจ	บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการทำความสะอาดบ่อกรองน้ำประปา	3,000	ข้อมูลวิสาหกิจ	บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์การเกษตรที่ประหยัดได้	2,000	ค่าประมาณจากการสัมภาษณ์	บาท/ปี
อัตราคิดลด (discount rate)	0.0314	อัตราผลตอบแทน (yield) ของพันธบัตรรัฐบาล 5 ปี	เปอร์เซ็นต์

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ-สกุล (ไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย
 ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 ตำแหน่งบริหารปัจจุบัน: รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 หน่วยงาน: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 โทรศัพท์: 055-817700 ต่อ 24, 081-8871448, 055-817700 ต่อ 16 (FAX)
 E-mail: chedsada@yahoo.com
 ประวัติการศึกษา: ปรัชญาดุสิตบัณฑิต (ปร.ด)
 สาขาวิชาบริหารศาสตร์ (การบริหารการเกษตรและทรัพยากร)
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
 Certificate in Executive Education Programme (Cert. in EEP.)
 Lincoln University, New Zealand

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ:

การพัฒนาพลังงานทางเลือกทางการเกษตร
 การวิจัยและมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตร
 การพัฒนานโยบายสาธารณะแบบมีส่วนร่วมด้านเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย (หัวหน้าโครงการวิจัย):

- เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2556. การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานชุมชนสำหรับเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์. อุดรดิตถ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2556. สภาเกษตรกรจังหวัดอุดรดิตถ์: การพัฒนากลไกเชิงระบบของกระบวนการนโยบายสาธารณะด้านการเกษตรแบบมีส่วนร่วมของจังหวัดอุดรดิตถ์. อุดรดิตถ์:
- เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2555. การจัดการความรู้และการพัฒนาชุดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการผลิตไม้ผลในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตถ์. อุดรดิตถ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2554. รูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคแบบครบวงจรฯ จังหวัดอุดรดิตถ์
- เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2552. การวิเคราะห์ผลมาตรการควบคุมและป้องกันโรคไข้หวัดนกในสัตว์ปีก: กรณีศึกษาจังหวัดอุดรดิตถ์. อุดรดิตถ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.

ผลงานทางวิชาการตีพิมพ์ / เผยแพร่:

- เจษฎา มิ่งฉาย, พจนีย์ แสงมณี, สุทธิรัตน์ ปาลาศ, สร้อยรัตน์ดา สามโพธิ์ศรี และลือ เกิดสาย . 2556. “การวิจัยและพัฒนาแบบพลังงานทางเลือกจากมูลโคสำหรับเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์” วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ สกว.; 5(4) มีนาคม-เมษายน 2556. หน้า 62-79.

- Mingchai C. and Sangmanee P.. “Decision Process for Adoption of Biogas Technology for the Sustainable Development in Uttaradit Province, Thailand” **World Applied Sciences Journal**; 19 (5): 699-703, 2012. (research article / ฐานข้อมูล ISI และ Scopus)
- Mingchai C. and Sangmanee P. 2011. **Decision process for adoption of biogas technology for the sustainable development in Uttaradit province, Thailand. Proceeding in 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies**, 4-7 Sep. 2011, Istanbul, Turkiye.
- Mingchai C. 2009.**Factors Related to the Measure for Avian Influenza Control and Prevention in Uttaradit Province, Thailand.** Proceeding in Agadir International Conference 2009,"The Integration of Sustainable Agriculture, Rural Development, and Ecosystems in the Context of Climate Change, The Energy Crisis " 12-14 Nov. 2009, Agadir, Morocco.
- Mingchai C. and Yossuck P. 2008.**Organic Farming: Effectiveness of Policy Implementation in the North of Thailand.** Proceeding in The Third GMSARN International Conference 2008 on Sustainable Development: Issues and Prospects for the Greater Mekong Subregion. 12-14 Nov. 2008, Kunming, China.

ประสบการณ์การถ่ายทอดเทคโนโลยี:

- วิทยากรกระบวนการ การคิดเชิงระบบ (System Thinking) และการวิจัยเชิงพื้นที่ (Area-based Collaborative) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พ.ศ.2555-ปัจจุบัน
- วิทยากรถ่ายทอดเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เครื่องขยายมานะ Energy มานี Power มูลนิธินโยบายสุขภาวะ พ.ศ.2556-ปัจจุบัน
- วิทยากรถ่ายทอดความรู้ของหมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (การผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตโคเนื้อ) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ.2554-2556
- วิทยากรถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการกำจัดขยะและน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ (ศูนย์ภาคเหนือฯ) พ.ศ.2553-2555

รางวัลทางวิชาการ

พ.ศ. 2557	รางวัล Thai Social Enterprise Award 2014 ประเภท “Do it award” สำนักงานส่งเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ พ.ศ. 2556
พ.ศ. 2556	รางวัลเพชรราชภัฏ บุคลากรสายวิชาการ ดีเด่นด้านผลงานวิชาการ เนื่องในวันสถาปนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พ.ศ. 2556
พ.ศ. 2555	รางวัลแทนคุณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2554 เครื่องบริษัทเนชั่นกรุ๊ป จำกัด ในฐานะนักวิชาการด้านพลังงานทางเลือกเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของชุมชน
พ.ศ. 2555	รางวัลนักวิจัยดีเด่น มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ เนื่องในวันสถาปนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พ.ศ. 2555
พ.ศ. 2554	รางวัลผลงานวิจัยดีเด่น มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ เนื่องในวันสถาปนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พ.ศ. 2554
พ.ศ. 2552	รางวัลชนะเลิศผลงานวิจัยดีเด่น สาขาส่งเสริมการเกษตรฯ ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46