ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ: กิจการเพื่อสังคมสำหรับเกษตรกรรายย่อย

เจษฎา มิ่งฉาย

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับดำเนินกิจการเพื่อสังคมโดยใช้เหล็กออกไซด์ที่เป็นของเสียเหลือทิ้งในชุมชนเป็นวัสดุกำจัด ผลการทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลโค ในก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารครัวเรือน และในก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของแป้ง ได้ร้อยละ 99.72 97.87 และ 94.33 ตามลำดับ นอกจากนั้นผู้ใช้มีการยอมรับชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในคุณสมบัติของนวัตกรรม ด้านประโยชน์ที่ได้รับ การเข้ากันได้ดีกับสิ่งที่มีอยู่เดิม ความไม่ยุ่งยากซับซ้อน การทดลองได้ และการสังเกตเห็นผลได้

นอกจากนั้น ผลการวิจัยพบว่า การดำเนินกิจการเพื่อสังคมของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ในการเป็นผู้ประกอบการทางสังคมโดยใช้นวัตกรรมการแก้ไขปัญหาเรื่องก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มีประสิทธิภาพ ต้องใช้ความร่วมมือจากกลไกการตลาด การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม ด้านการผลิต และการควบคุมคุณภาพ โดยคำนึงถึงผลตอบแทนทางสังคม ทั้งในมิติของสุขภาวะ มิติของการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี และมิติของการสร้างคนและสร้างการเรียนรู้ในชุมชน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจนซัลไฟด์ กิจการเพื่อสังคม ก๊าซชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย
หัวหน้าคณะวิจัย
ภาควิชาเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร์
คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
อีเมล์ : chedsada@yahoo.com

Hydrogen sulfide removal set in Biogas: Social enterprise for small scale farmer

Chedsada Mingchai

Field : Agriculture

Abstract

The development of hydrogen sulfide removal set in biogas for social enterprise by using improvement iron oxides from waste in communities. The result found that hydrogen sulfide removal set can remove hydrogen sulfide in biogas from cow dung, household waste and fermented flour drain; 99.72, 97.87 and 94.33 percentage, respectively. Moreover, the acceptance of users that hydrogen sulfide removal set is come from the practical advantage of innovation, compatibility, less complexity, trialability and observability.

In addition, the result found that the Huay Bong energy conservative group as an efficient social entrepreneur in using the hydrogen sulfide removal innovation needs to use market mechanisms, research and innovation development and quality control in production. Meanwhile, they must consider social return on investment in health, environment, and human development aspect and build up community learning.

Keywords: Hydrogen sulfide, Social enterprise, Biogas

Asst. Prof. Chedsada Mingchai, Ph.D.
Head of research team
Department of Agriculture and Agro-Industry
Faculty of Agriculture,
Uttaradit Rajabhat University
E-mail: chedsada@yahoo.com

บทนำ

เป็นระยะเวลาเกือบ 5 ปี ที่ชุมชนบ้านห้วยบง อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ได้มีกระบวนการเรียนรู้ในการพัฒนาตามข้อเสนอของเวทีเสวนา "การค้นหาสิ่งดีๆ ในชุมชนบ้านห้วยบง" เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2552 โดยการค้นหาศักยภาพของชุมชนที่มีอยู่ และวางเป้าหมายการพัฒนาสู่อนาคตที่ดี ทั้งนี้จุดเริ่มต้นที่สำคัญ นำมาสู่การวิจัยและพัฒนาเชิงพื้นที่อย่างต่อเนื่อง คือ ปัญหาของมูลโคในชุมชนจำนวนกว่า 6,416 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 2,309,760 กิโลกรัมต่อปี (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2554) ที่เป็นได้ทั้งอุปสรรคและโอกาสของการพัฒนาในเวลาเดียวกัน

ช่วงเวลาดังกล่าว แกนนำในชุมชนบ้านห้วยบงในฐานะ "นักวิจัยชุมชน" ได้ร่วมกันคิด พัฒนาโจทย์ และออกแบบทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาร่วมกันระหว่างเทศบาลตำบลป่าเซ่า มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และภาคีอื่นๆ ผ่านกิจกรรมต่างๆ เช่น โครงการตำบลสุขภาวะจังหวัดอุตรดิตถ์ ที่มุ่งเน้นการสร้างกระบวนการเรียนรู้ให้กับคนในชุมชน โครงการหมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้ชื่อ "วิทยาลัยวัววิทยา" ที่ใช้วัวเป็นศูนย์กลางของการพัฒนาที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องพันธุ์โค อาหารสัตว์ การจัดการฟาร์ม การจัดการของเสีย ฯลฯ โครงการวิจัยรูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคแบบครบวงจร เพื่อค้นหาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับชุมชน โครงการวิจัยผลของการใช้ปุ๋ยมูลโคที่ผ่านการย่อยสลายจากระบบก๊าซชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ เป็นการค้นหาคำตอบในการใช้ทรัพยากรในชุมชนเพื่อการลดต้นทุนในการปลูกข้าว โครงการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง และโครงการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการเพิ่มคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จำนวนมาก สำหรับการพัฒนาสู่การใช้งานด้านอื่นๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังทางการเกษตร และการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกเหนือจากการใช้พลังงานความร้อนเฉพาะในการหุงต้มอย่างปัจจุบัน

โดยในปีพ.ศ. 2556 แกนนำชุมชนบ้านห้วยบงได้รวมตัวเป็น "กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง" มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนานวัตกรรมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพร่วมกับภาควิชาการสำหรับแก้ปัญหาผลกระทบสุขภาพของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ รวมทั้งต่อยอดการใช้งานก๊าซชีวภาพในมิติอื่นๆ และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากต่างประเทศที่เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงได้ยาก

ถัดมาในปีพ.ศ. 2557 กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงได้มีประเด็นโจทย์สำคัญ คือ ต้องการขยายผลนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นไปยังพื้นที่อื่นด้วยกระบวนการที่เป็นธรรม จึงยกระดับการทำงานสู่กิจการเพื่อสังคม[1] (Social Enterprise: SE) ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม พร้อมจดทะเบียนเป็น "วิสาหกิจชุมชนคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง" เพื่อวางรากฐานการเรียนรู้ในการเป็นผู้ประกอบการทางสังคมที่ต้องสร้างคุณค่าทางสังคม (Social value) โดยใช้นวัตกรรมการแก้ไขปัญหาเรื่องก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเป็นเครื่องมือสร้างกระบวนการเรียนรู้ให้กับกลุ่มและชุมชนต่างๆ ในประเทศไทย

จุดมุ่งหมาย

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอกระบวนการพัฒนาชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสำหรับดำเนินกิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยนำเสนอเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์สำหรับชุมชนในการพัฒนาชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ และส่วนที่สอง นวัตกรรมทางสังคมสำหรับชุมชนในการดำเนินกิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีลักษณะเป็นการวิจัยและการพัฒนา (Research and Development) ร่วมกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) ด้วยกระบวนการและสร้างการเรียนรู้ระหว่างทีมวิจัย ประกอบด้วย นักวิชาการ นักวิจัยชุมชน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึงตุลาคม 2557

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ในจังหวัดอุตรดิตถ์ ได้แก่ เกษตรกรผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ในชุมชนบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง ผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในชุมชนยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล และผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในชุมชนเทศบาลเขลางค์นคร อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง บุคลากรจากเทศบาลตำบลป่าเซ่า เทศบาลตำบลศรีพนมมาศ และเทศบาลเขลางค์นคร

พื้นที่ศึกษา ชุมชนบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง ชุมชนยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ และชุมชนเทศบาลเขลางค์นคร อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) *ข้อมูลทุติยภูมิ* ศึกษาจากเอกสารวิชาการ เช่น รายงานการวิจัย บทความวิจัย บทความวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับชนิดวัสดุและประเภทของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ และผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่มีต่อสุขภาพและเครื่องยนต์ รวมทั้งแนวคิดการดำเนินการกิจการเพื่อสังคมทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2) *ข้อมูลปฐมภูมิ* เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองในภาคสนามเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพและสัมภาษณ์ผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่มีต่อสุขภาพของผู้ใช้ รวมทั้งคุณลักษณะของนวัตกรรมที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ และศึกษากระบวนการดำเนินงานกิจการเพื่อสังคมของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย Biogas Analyzer Portable รุ่น GFM130 และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด การวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) ในความเห็นที่มีต่อคุณลักษณะของนวัตกรรมที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับนวัตกรรม วิเคราะห์เปรียบเทียบพัฒนาการของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพลังงานทางเลือก

---

[1] ได้รับการสนับสนุนการดำเนินงานจากสำนักงานส่งเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ (สกส.) และศูนย์บูรณาการงานวิจัยและวิชาการเพื่อรับใช้สังคม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (ดำเนินการในระหว่างปี พ.ศ. 2557-2558)

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์สำหรับชุมชน "ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ"

1.1 บริบทและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศด้วยแบคทีเรีย สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตใช้ได้ในประเทศ[2] เพื่อลดข้อจำกัดของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

ก๊าซชีวภาพใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต สามารถผลิตได้ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน การผลิตในระดับอุตสาหกรรม เช่น ฟาร์มโคนม ฟาร์มสุกร ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เทคโนโลยีที่มีลักษณะเฉพาะตามชนิดของวัตถุดิบและประเภทของอุตสาหกรรม สามารถควบคุมประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพของเกษตรกรในระดับครัวเรือน ใช้วัตถุดิบจากมูลสัตว์ เศษอาหาร หรือเศษวัสดุการเกษตรต่างๆ มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมกับเกษตรกร ไม่ว่าเป็นระบบบ่อโดมคงที่ ระบบถังหมัก ระบบบ่อหมักแบบถุง ฯลฯ การควบคุมประสิทธิภาพทำได้จำกัด และความปลอดภัยของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับผู้ใช้เทคโนโลยี

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ[3] ต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพของระบบนั้นจะแตกต่างกันตามเงื่อนไขและบริบทของแต่ละพื้นที่

นอกจากการใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนตามคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพแล้ว ยังมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า[4] เป็นองค์ประกอบหนึ่งในก๊าซชีวภาพที่ต้องมีการกำจัดก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้หากไม่มีการกำจัดจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ อาจมีอาการพิษเฉียบพลัน คือ คลื่นไส้ หายใจขัดต่อเนื่องจากการขาดออกซิเจน หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ ถ้ามีความเข้มข้นสูง (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555; สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง, 2554)

ทั้งนี้มาตรฐานความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับความปลอดภัยต่อสุขภาพกำหนดโดย Occupational Safety and Health Administration: OSHA ระบุว่า ช่วงระยะการสัมผัส 8 ชั่วโมง ก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) หากระยะการสัมผัส 1 ชั่วโมง ต้องมีความเข้มข้นของก๊าซไม่เกิน 300 ppm และการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 600 ppm เพียงในช่วงเวลา 30 นาที ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยจากการใช้ประโยชน์ดังกล่าวด้วย (The American National Standards Institute standard, 1972)

จากการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องเรื่องการใช้ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า ในพื้นที่ชุมชนห้วยบง อำเภอเมือง และชุมชนยางกะไดใต้ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า ผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจะมีอาการมึนงง ปวดศีรษะ วิงเวียน เหม็นและแสบจมูก (ประวัติ คำจีน และกัญญาวีร์ วันสุข, สัมภาษณ์ พฤศจิกายน 2556) นอกจากนั้น ยังส่งผลให้มีทัศนคติทางลบต่อก๊าซชีวภาพว่า เป็นสิ่งอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ ขาดการยอมรับในตัวเทคโนโลยี ถึงกับมีการตั้งชื่อว่า "ก๊าซวงแตก" โดยเฉพาะในกลุ่มที่เริ่มมีผู้ใช้รายใหม่ ทั้งๆ ที่วิสาหกิจชุมชนผลิตข้าวแคบมีต้นทุนสูงจากการใช้พลังงาน ก็ยังมีการปฏิเสธการใช้ก๊าซชีวภาพอยู่นั่นเอง (กัญญาวีร์ วันสุข, สัมภาษณ์ 2556)

นอกจากปัญหาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อสุขภาพของประชาชนหรือเกษตรกรรายย่อยข้างต้นแล้ว ยังพบปัญหาการสร้างความเสียหายในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าของระบบอุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงาน รวมทั้งในเครื่องยนต์ต้นกำลังของเกษตรกร เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องพ่นยา ฯลฯ เช่นกัน ซึ่งมาตรฐานของก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Electric power generator) จะต้องมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ไม่เกิน 100-200 ppm เท่านั้น ซึ่งก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ที่ผลิตได้จะมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกินกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว

ประเด็นสำคัญของบริบทและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องคือ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีประสิทธิภาพหลายชนิดและหลายระบบ แต่ส่วนใหญ่แล้วเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนค่อนข้างสูง มีการนำเข้าวัสดุอุปกรณ์จากต่างประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมขนาดกลาง ฟาร์มปศุสัตว์ วิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกร เกษตรกรรายย่อย ฯลฯ ที่ต้องการใช้พลังงานทางเลือกจากก๊าซชีวภาพไม่สามารถลงทุนหรือเข้าถึงเทคโนโลยีความปลอดภัยดังกล่าวได้

แม้ว่าบางระบบของก๊าซชีวภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อยในชุมชน ได้มีการติดตั้งชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มาแล้ว โดยใช้ฝอยเหล็กจากโรงกลึงเป็นวัสดุในการกำจัด ขณะที่ผลการวิจัยพบว่าฝอยเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เพียงร้อยละ 50-69 เท่านั้น (สุชน ตั้งทวีพิพัฒน์ และคณะ, 2555: 203) ที่สำคัญ คือ ฝอยเหล็กเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่งก็จะสลายตัวและหมดประสิทธิภาพ โดยที่เกษตรกรหรือผู้ใช้ไม่สามารถทราบได้

ดังนั้นการศึกษาเทคนิคที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีต้นทุนการดำเนินการที่ไม่สูงมากจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง (ปัทมา อรุณราช และคณะ, 2552)

จากการศึกษาและการคืนข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้กับชุมชน โดยนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์ในอนาคต ทั้งในมิติของการปรับราคาก๊าซหุงต้ม LPG เพื่อสะท้อนราคาที่แท้จริงของการตลาด และมิติของการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ต่อเนื่องทางการเกษตร เช่น การใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ในการสูบน้ำการเกษตร ใช้บดย่อยพืชอาหารสัตว์ ฯลฯ โดยชี้ให้เห็นความสำคัญในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อลดผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์และสุขภาวะของชุมชน โดยคณะผู้วิจัยได้นำเสนอวัสดุที่มีความเป็นไปได้จำนวน 3 ชนิด คือ ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และเหล็กออกไซด์ (ภาพ 1-3) โดยสะท้อนข้อดี ข้อจำกัดของแต่ละวัสดุ ดังนี้

1) **ฝอยเหล็ก** มีข้อดี คือ ราคาถูก เป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น โดยในจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถหาได้จากโรงกลึง จำนวน 2 แห่ง ราคาประมาณ กิโลกรัมละ 30 บาท ส่วนข้อจำกัดคือ ประสิทธิภาพการกำจัด

---

[2] ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีค่าความร้อนประมาณ 5,000-5,500 กิโลแคลอรี่ เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร หรือน้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร หรือน้ำมันเตา 0.81 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555)

[3] คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-35 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555)

[4] ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide, H_2S) จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบซัลเฟอร์ระเหยง่าย (Moosavi, R.G.,and others, 2005) เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ นอกจากนั้นถ้าปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกสู่บรรยากาศจะก่อให้เกิดฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรด ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมโดยตรง

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพียงร้อยละ 50-69 เท่านั้น และที่สำคัญฝอยเหล็กเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่งก็จะหมดประสิทธิภาพ ระยะเวลาการใช้งานขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

2) **ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)** มีข้อดี คือ เป็นวัสดุวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาให้มีรูพรุนจำนวนมาก สามารถดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนข้อจำกัดที่สำคัญคือ ราคาของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างสูง ราคาประมาณ 35-50 บาทต่อกิโลกรัม (ขึ้นอยู่กับคุณภาพ) และเมื่อใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจนหมดประสิทธิภาพแล้ว การฟื้นฟูตัวเองเพื่อกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งมีต้นทุนที่สูง ต้องใช้เทคโนโลยีเฉพาะ ชุมชนไม่สามารถทำเองได้

3) **เหล็กออกไซด์ (Iron oxide)** มีข้อดีคือ เป็นวัตถุดิบที่เป็นของเหลือทิ้งจากระบบประปาในบางชุมชน มีปริมาณมาก มีต้นทุนที่ถูก มีความเป็นไปได้ทางทฤษฎีว่ามีประสิทธิภาพที่ดี โดยหลักการสามารถฟื้นฟูตัวเองได้จากกระบวนการทางเคมี ส่วนข้อจำกัดคือ ต้องมีการออกแบบท่อหรือระบบเฉพาะ และอาจมีข้อจำกัดด้านปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากเอกสารวิชาการ สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553) ระบุว่า ในช่วงการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีการคายความร้อน[5] ทำให้ต้องมีการออกแบบความปลอดภัยเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดขึ้นด้วย

จากการคืนข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้กับชุมชนข้างต้น ชุมชนได้ตัดสินใจเลือกวัสดุเหล็กออกไซด์มาทดสอบ โดยนักวิจัยชุมชนได้ร่วมกับภาควิชาการในการออกแบบและทดลองการใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเพื่อสร้างความมั่นใจในประสิทธิภาพและความปลอดภัย

ภาพ 1-3 วัสดุที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และเหล็กออกไซด์)

1.2 หลักการของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้วัตถุดิบเหล็กออกไซด์ มีลักษณะเป็นผงสีส้ม เป็นของเสียเหลือทิ้งจำนวนมากจากระบบประปาหมู่บ้านภายในเขตตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ และจากการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ[6] พบว่ามีปริมาณเหล็กออกไซด์มากกว่าร้อยละ 83 สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ และผลการวิจัยของเจษฎา มิ่งฉาย และคณะ (2556) ได้พัฒนากระบวนการผลิตตามแนวทางของเทคโนโลยีสะอาด (Clean technology) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดในขั้นตอนการปรับสภาพและการขึ้นรูปเม็ดวัสดุ ทำให้มีคุณสมบัติในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น

นอกจากนั้น วัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีอายุการใช้งานที่นาน[7] เนื่องจากความสามารถในการคืนสภาพ (Regenerate) ของเม็ดวัสดุที่ใช้งานจนหมดประสิทธิภาพแล้ว ในสภาพเหล็กซัลไฟด์ (Fe_2S_3) ที่มีลักษณะสีดำเข้ม ให้สามารถกลับมาเป็นเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) มีลักษณะสีแดงส้มและมีประสิทธิภาพตามเดิม เพียงนำเม็ดวัสดุมาผึ่งในที่โล่งเพื่อให้สัมผัสกับอากาศประมาณ 2-3 ชั่วโมง เม็ดวัสดุดังกล่าวที่หมดประสิทธิภาพแล้ว ก็สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยไม่ต้องจัดหาเม็ดวัสดุใหม่มาเปลี่ยน รายละเอียดของหลักการทำงานดังสมการ (1) (2) และภาพ 4-6

$$Fe_2O_3 + 3\,H_2S \longrightarrow Fe_2S_3 + 3H_2O \quad \text{----------(1)}$$

เม็ดวัสดุที่มีประสิทธิภาพ + ก๊าซไข่เน่า ⟶ เม็ดวัสดุที่หมดประสิทธิภาพ + น้ำ

$$2Fe_2S_3 + 3O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 6S \quad \text{----------(2)}$$

เม็ดวัสดุที่หมดประสิทธิภาพ + ก๊าซออกซิเจน ⟶ เม็ดวัสดุที่มีประสิทธิภาพ + กำมะถัน

ภาพ 4-6 คอลัมน์การบรรจุเม็ดวัสดุภายหลังใช้งาน เม็ดวัสดุที่หมดประสิทธิภาพแล้ว (Fe_2S_3) และเม็ดวัสดุที่คืนสภาพเดิม (Fe_2O_3) ภายหลังได้รับอากาศ (เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ, 2556)

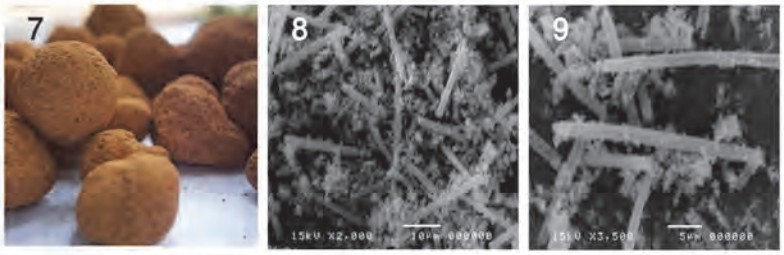
นอกจากนั้นทีมวิจัยได้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุเหล็กออกไซด์ดังกล่าว โดยส่งไปถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของเหล็กออกไซด์สำหรับการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพ 7-9)

---

[5] คายความร้อน 0.65 กิโลจูลต่อกรัมของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการฟื้นฟูตัวเองจะมีการคายพลังงานความร้อน 5.8 กิโลจูลต่อกรัมของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (1 กิโลจูล ทำให้อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร เพิ่มอุณหภูมิขึ้นประมาณ 1.1 องศาเซลเซียส)

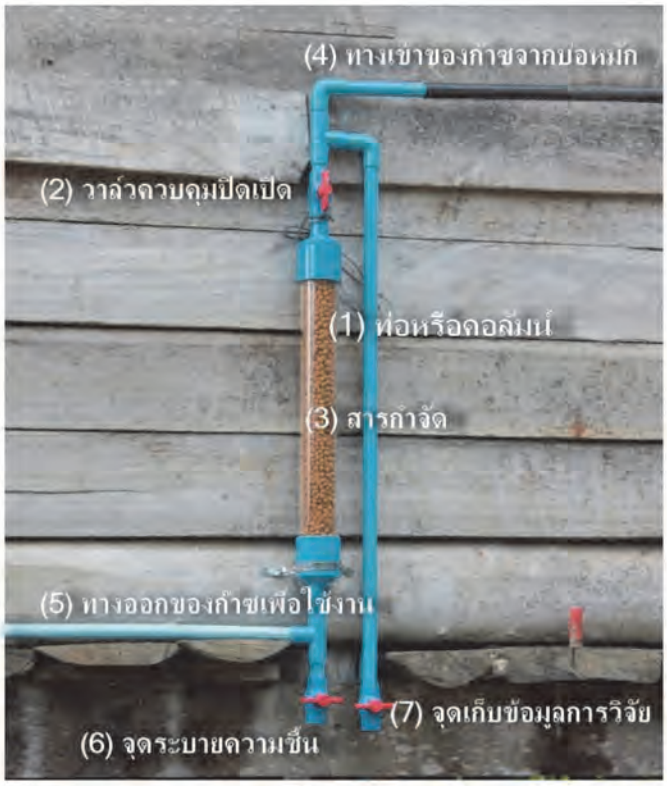
[6] ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRF Standardless ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เลขที่ 5905/6187

[7] ประมาณการอายุการใช้งานเม็ดวัสดุประมาณ 3-5 ปี กรณีปริมาณ H_2S ไม่เกิน 1,000 ppm



ภาพ 7-9 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สำหรับหลักการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้เหล็กออกไซด์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่าที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ (ภาพ 10) โดยมีส่วนประกอบ คือ ท่อหรือคอลัมน์ (หมายเลข 1) วาล์วควบคุมปิดเปิด (หมายเลข 2) สารกำจัด (หมายเลข 3) ทางเข้าของก๊าซจากบ่อหมัก (หมายเลข 4) ทางออกของก๊าซเพื่อใช้งาน (หมายเลข 5) และจุดระบายความชื้น (หมายเลข 6)



ภาพ 10 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ทั้งนี้การทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ คือ เมื่อประกอบชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ฯ กับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว และปล่อยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากบ่อหมักซึ่งจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนมาด้วย ให้ไหลผ่านท่อส่งก๊าซและเข้ามาผ่านชุดกำจัดนี้ในลักษณะของการไหลลง (Down flow) สารกำจัดที่อยู่ในท่อก็จะมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยทันที[8] โดยการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าสู่ชุดกำจัดนั้น จะปิดวาล์วหมายเลข 2 และเปิดวาล์วหมายเลข 7 เพื่อทำการเก็บข้อมูล สำหรับการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังจากผ่านสู่ชุดกำจัดแล้วนั้น จะเปิดวาล์วหมายเลข 6 เพื่อทำการเก็บข้อมูล

1.3 ประสิทธิภาพของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ดำเนินการ 2 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์และกระบวนการกำจัด จากนั้นนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายบ้านห้วยบง ชุมชนยางกะไดใต้ และชุมชนเทศบาลเขลางค์นคร รวม 26 ราย ที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ น้ำแป้ง และเศษอาหาร โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ Biogas Analyzer Portable รุ่น GFM130 Portable Multi Channel Handheld Gas Analyzer For Biogas Application สามารถวิเคราะห์ Range 0-100% Vol. CH_4 (Methane) และ 0-10,000 ppm H_2S (Hydrogen Sulfides) และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการทดสอบชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพครั้งแรก โดยสร้างคอลัมน์บรรจุเม็ดวัสดุปริมาณ 1 กิโลกรัม ทดสอบกับระบบก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ที่มีวัตถุดิบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์[9] จากปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าชุดกำจัดฯ วัดได้ 210 ppm และเมื่อผ่านระบบลดลงเหลือน้อยกว่า 10 ppm จากนั้นได้นำไปทดสอบกับระบบก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบน้ำหมักแป้งข้าวแคบ[10] จากปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบวัดได้ 3,570 ppm หลังผ่านจากระบบบำบัด ลดลงเหลือ 20 ppm ผลการศึกษาเบื้องต้นมีค่าเฉลี่ยการกำจัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่าง 95.23-99.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการกำจัดด้วยสนิมจากฝอยเหล็กที่มีประสิทธิภาพ 50-69 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม มีข้อเสนอจากการทดสอบเบื้องต้น เพื่อการปรับระบบวาล์วควบคุมจุดเช็คคุณภาพก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการกำหนดรูปแบบการวางคอลัมน์ และทางทีมวิจัยได้ดำเนินการปรับระบบตามข้อเสนอแนะก่อนนำไปทดสอบในช่วงต่อไป

จากนั้นนำคอลัมน์ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์บรรจุเม็ดวัสดุปริมาณ 1 กิโลกรัม ไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นเกษตรกรรายย่อยผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคบ้านห้วยบง พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 99.72 และนำไปทดสอบกับกลุ่มผู้ผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของแป้งข้าวแคบชุมชนยางกะไดใต้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 94.33 และจากการทดสอบประสิทธิภาพกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในครัวเรือนชุมชนเทศบาลเขลางค์นคร พบว่า ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 97.87 (ตาราง 1)

[8] สำหรับการติดตั้งชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ครั้งแรก จะใช้ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเริ่มแรกของสารกำจัดประมาณ 2-3 นาที (ลือ เกิดสาย, 2557)

[9] บ่อก๊าซชีวภาพของนายไพรินทร์ เกิดสาย บ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ (เก็บข้อมูล 3 ส.ค. 56)

[10] บ่อก๊าซชีวภาพของนางกัญญาวีร์ วันสุข บ้านยางกะไดใต้ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ (เก็บข้อมูล 6 ส.ค. 56)

ตาราง 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

เป้าหมาย	จำนวน (ราย)	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ (ppm)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
		ก่อนการกำจัด		หลังการกำจัด		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคเนื้อ	12	12.04/1	31.10	0.75	0.87	99.72
2. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียแป้งข้าวแคบ	9	548.88/2	795.50	31.11	71.14	94.33
3. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารครัวเรือน	5	1,132.00/3	880.29	24.00	11.40	97.87
4. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเกษตร*	1	10,320.00/4	1,004.42	316.66	379.72	96.93

/1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพต่ำสุด 0 ppm และสูงสุด 250 ppm
/2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพต่ำสุด 0 ppm และสูงสุด 2,370 ppm
/3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพต่ำสุด 190 ppm และสูงสุด 2,130 ppm
/4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพต่ำสุด 8,960 ppm และสูงสุด 11,000 ppm
* เป็นการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

นอกจากนั้นทีมวิจัยได้ทดสอบกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของระบบอุตสาหกรรมเกษตรขนาดใหญ่ที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพวันละ 300 ลูกบาศก์เมตรและมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่า 10,000 ppm เพื่อศึกษาแนวโน้มและความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สู่กลุ่มอุตสาหกรรมในอนาคต โดยสร้างคอลัมน์บรรจุเม็ดวัสดุปริมาณ 16 กิโลกรัม เก็บข้อมูลต่อเนื่อง 10 ครั้งๆ ละ 15 นาที รวม 2 ชั่วโมง 30 นาที ผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของระบบอุตสาหกรรมเกษตรได้ ร้อยละ 96.93 และพบว่า มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาสู่ระบบอุตสาหกรรมเกษตรต่อไปในอนาคตได้

1.4 สิ่งบ่งชี้การใช้ประโยชน์ตามคุณลักษณะของนวัตกรรมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากนวัตกรรมเป็นสิ่งใหม่ที่กำเนิดมาจากงานวิจัย (Research) และการพัฒนา (Development) รวมทั้งมาจากประสบการณ์ของผู้ใช้นวัตกรรม ดังนั้นนวัตกรรมแต่ละอย่างจึงมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งสามารถนำมาใช้แก้ไขปัญหาหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานได้ตามสถานการณ์ และความต้องการของผู้ใช้นวัตกรรมนั้นๆ ดังนั้นลักษณะของนวัตกรรมนั่นเองจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการโน้มน้าวใจ (Persuasion) ให้เกิดการยอมรับ โดยนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินนวัตกรรมของผู้รับสารและตัดสินใจได้ว่าจะดำเนินการอย่างไรต่อไป โดย “ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ” มีสิ่งบ่งชี้การใช้ประโยชน์ทั้งโอกาสและข้อจำกัดตามแนวคิดของ Rogers, E. M. (2003) โดยการศึกษาจากกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้ใช้นวัตกรรม ในลักษณะของการสนทนากลุ่มและการสอบถามเพิ่มเติม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกล่าวคือ

ภาพ 11-13 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

1) ผลประโยชน์ที่ได้รับจากนวัตกรรม (Relation advantage) คือ ระดับของการรับรู้หรือความเชื่อว่า นวัตกรรมนั้นมีคุณสมบัติที่ดีกว่าความคิดหรือสิ่งที่มีอยู่เดิม ซึ่งถูกแทนที่ด้วยสิ่งใหม่ ถ้าหากนวัตกรรมนั้นมีข้อดี และให้ประโยชน์ต่อผู้ใช้นวัตกรรมนั้นมากเท่าใด ก็มีโอกาสที่จะมีผู้ที่ยอมรับมากขึ้น สำหรับ “ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ” กลุ่มผู้ใช้ระบุว่า หากนำมาทดแทนกับชุดกำจัดเดิมคือ “ฝอยเหล็ก” น่าจะมีผลที่ดีกว่าเดิม เพราะผู้ใช้สามารถสังเกตประสิทธิภาพการใช้งานจากระดับสีของสารกำจัดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่ฝอยเหล็กที่ใช้เดิมนั้นจะสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง

ได้ยาก จึงทำให้ไม่ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัด ขณะเดียวกันการคืนข้อมูลการวิจัยให้กับเกษตรกรถึงวัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนได้ไม่ว่าเป็นฝอยเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และเหล็กออกไซด์ และข้อมูลอันตรายต่อสุขภาพตามข้อมูลของ OSHA ทำให้กลุ่มเป้าหมายตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวเพิ่มขึ้นด้วยและสามารถเลือกการทดลองนวัตกรรมจากประโยชน์ที่ได้รับสูงสุด

2) การเข้ากันได้ดีกับสิ่งที่มีอยู่เดิม (Compatibility) การเข้ากันได้ คือ ระดับของนวัตกรรมซึ่งมีความสอดคล้องกับคุณค่าประสบการณ์ และความต้องการที่มีอยู่แล้วในตัวผู้รับนวัตกรรมนั้นๆ ซึ่ง "ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ" เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พ่วงกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็ก ขนาด 10x50 เซนติเมตร น้ำหนัก 1,200 กรัม ซึ่งผู้ใช้ต้องมีการดูแลเพิ่มเติมจากการใช้ก๊าซชีวภาพตามปกติในบางประเด็น เช่น การดูแลจากการเปิดวาล์วเพื่อระบายความชื้นที่เกิดจากระบบ จึงทำให้การปฏิบัติมิได้แตกต่างกับสิ่งที่มีอยู่เดิม นอกจากนั้น การฟื้นฟูสภาพของสารกำจัดนั้น เกษตรกรส่วนใหญ่ระบุว่า ไม่ได้เป็นภาระ เพราะอาจจะต้องทำปีละเพียงครั้ง แต่มีข้อสังเกตถึงแรงดันก๊าซชีวภาพที่ลดลงจากการต่อพ่วงชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือไม่และเพียงใด ซึ่งทางคณะผู้วิจัยฯ รับมาศึกษาถึงเงื่อนไขดังกล่าว และพัฒนาจุดเหมาะสมของขนาดและปริมาตรชุดกำจัด โดยในกรณีที่ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในระบบของเกษตรกรมีน้อยกว่า 500 ppm อาจสามารถลดปริมาณสารกำจัดลงเพื่อให้ส่งผลถึงแรงดันก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการเพิ่มแรงดันโดยการใช้ปั๊มแรงดันขนาดเล็กและใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

3) ความซับซ้อน (Complexity) ความซับซ้อนของนวัตกรรม คือ ระดับของความเชื่อว่านวัตกรรมนั้นมีความยากต่อการเข้าใจและการนำไปใช้ นวัตกรรมบางอย่างสามารถทำความเข้าใจและนำมาใช้ได้ง่าย ในขณะที่บางอย่างมีความซับซ้อนและเข้าใจยาก สำหรับ "ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ" เป็นนวัตกรรมที่ง่ายต่อการติดตั้ง ใช้งาน ซ่อมบำรุง และฟื้นฟูตัวเอง เกษตรกรสามารถอ่านคู่มือการใช้หรือได้รับคำแนะนำจากคณะทำงานฯ จะสามารถเข้าใจในกระบวนการทำงานได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในการฟื้นฟูตัวเองของสารกำจัดเพื่อให้กลับมามีประสิทธิภาพดังเดิมนั้น (อาจต้องทำปีละ 1 ครั้ง) อาจพบข้อจำกัดบางเรื่อง คือ หลักทฤษฎีการฟื้นฟูตัวเองจะมีการคายพลังงานความร้อน ซึ่งทำให้เกษตรกรผู้ใช้เกิดความกลัวต่อปฏิกิริยาและความร้อนดังกล่าว ดังนั้นการอธิบายความรู้พื้นฐานของการคืนสภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยมีกรณีศึกษาที่บ้านยางกะไดใต้

ภาพ 14-16 กิจกรรมการเรียนรู้ของชุมชนเกี่ยวกับชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ขณะที่ทดลองใช้นวัตกรรมนี้ แล้วมีการปล่อยให้อากาศเข้าสู่ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยไม่ได้ตั้งใจ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชุดกำจัดฯ และทำให้ท่อพลาสติก PVC อ่อนตัว และเกิดควัน ทำให้ผู้ใช้เกิดความกลัวและอาจส่งผลต่อการยอมรับนวัตกรรมได้ คณะผู้วิจัยฯ จึงรับประเด็นการป้องกันและการทำระบบความปลอดภัยในการฟื้นฟูสารให้ผู้ใช้ได้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันเพื่อลดเงื่อนไขของการไม่ยอมรับนวัตกรรม

4) การทดลองได้ (Trialability) การทดลองได้ของนวัตกรรม คือ ระดับของนวัตกรรมที่สามารถมองเห็นผลจากการทดลองปฏิบัติเพื่อให้เห็นผลได้จริง อย่างน้อยภายใต้สภาพที่จำกัด โดยที่ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในครั้งนี้ มีการทดลองกระจายในชุมชนห้วยบง ชุมชนยางกะไดใต้ ชุมชนเทศบาลเขลางค์นคร และเป็นที่ศึกษาเรียนรู้ของคนทั้งในชุมชนและภายนอกชุมชน จากผลการทดลองใช้ผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดยืนยันที่จะใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อเนื่องเพราะมีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยตรง สำหรับจุดทดลองภายนอกชุมชนมีจำนวน 1 รายที่ขอเลิกการทดลองใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพราะมีการหยุดการผลิตก๊าซชีวภาพลงเนื่องจากมีภารกิจด้านอื่น

5) การสังเกตได้ (Observability) การสังเกตได้ คือ ระดับของนวัตกรรมที่สามารถมองเห็นกระบวนการในการปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถสัมผัสและแตะต้องได้จริงๆ สำหรับ "ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์" มีการสังเกตเห็นผลได้อย่างเป็นรูปธรรมทั้งในลักษณะทางกายภาพที่กลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่างการใช้งานก๊าซชีวภาพหมดไป ปัญหาของการไม่ยอมรับก๊าซชีวภาพก็ลดลง การสังเกตได้จากการดูปฏิกิริยาที่ท่อหรือคอลัมน์ (ระบบท่อใส) ว่าสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดงเป็นสีดำเพื่อยืนยันการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ นอกจากนั้นการสังเกตได้จากการฟื้นฟูสภาพกลับมาเป็นสารกำจัดตามเดิมด้วยกระบวนการทางเคมี และการสร้างความมั่นใจในนวัตกรรมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการวัดและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เพื่อการยอมรับในประสิทธิภาพของนวัตกรรมนั่นเอง ทำให้เกษตรกรผู้ใช้ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความมั่นใจในนวัตกรรมเพิ่มขึ้น

ส่วนที่ 2 นวัตกรรมทางสังคมสำหรับชุมชน "กิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม"

ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการดำเนินงานกิจการเพื่อสังคมของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง เพื่อให้เห็นทิศทางการพัฒนาสู่กิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เมื่อเดือนมีนาคม 2557 ทางกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงมีความต้องการขยายผลนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นไปยังพื้นที่อื่นด้วยกระบวนการที่เป็นธรรม รวมทั้งวางรากฐานการเรียนรู้ในการเป็นผู้ประกอบการทางสังคมที่ต้องสร้างคุณค่าทางสังคม โดยได้นำเสนอนวัตกรรมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเข้าประกวดในโครงการรางวัลเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมกิจการเพื่อสังคมไทย (Thai SE awards 2014) ประเภท "Do it Awards" จัดโดยสำนักงานสร้างเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ (สกส.)

ผลงานของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงได้รับการคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในผู้ที่ได้รับรางวัลดังกล่าว จึงได้มีการดำเนินการยกระดับสู่การปฏิบัติจริง ใช้ทุนที่ได้รับในการพัฒนาต้นแบบความคิดในบริบทปัญหาที่ต้องการแก้ไข รวมถึงการสร้างโอกาสของการสนับสนุนเพิ่มเติมจากภาคีเชิงยุทธศาสตร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดคือ

2.1 แนวคิดการทำงานกิจการเพื่อสังคม

กิจการเพื่อสังคมที่ดีจำเป็นที่จะต้องพัฒนาขึ้นจากบุคคลที่อยากแก้ไขปัญหาสังคม ซึ่งสำนักงานสร้างเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ (2557) ได้กล่าวถึงแนวความคิดหรือนวัตกรรมทางสังคมที่ดีที่สามารถตอบสนองการแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหากสามารถยกระดับความคิดดังกล่าวสู่การเกิดขึ้นเป็นกิจการที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ทางการเงิน และดำเนินการสร้างผลกระทบทางสังคมที่ตั้งไว้ได้อย่างต่อเนื่อง ก็จะสามารถนำสู่การเกิดกิจการเพื่อสังคมที่มีประสิทธิภาพสูงในอนาคตได้

หนึ่งในปัจจัยสำคัญของการทำให้วงจรของการพัฒนากิจการเพื่อสังคมข้างต้นเกิดขึ้นได้ คือ การเข้าถึงแหล่งเงินทุนสนับสนุนที่มากเพียงพอในเวลาที่ถูกต้อง โดยเงินทุนดังกล่าวจะช่วยทำให้คนดีที่อยากแก้ปัญหาสังคมเกิดแรงกระตุ้นที่จะพัฒนาแนวคิดและทางออกเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และจะช่วยให้แนวความคิดที่มีนวัตกรรมนั้นสามารถนำไปสู่การทดลองสร้างต้นแบบที่ทดสอบในบริบทจริง (Prototype) หรือมากไปกว่านั้น คือ การช่วยให้ต้นแบบนั้นๆ สามารถยกระดับสู่การดำเนินการแบบกิจการที่สามารถสร้างผลกระทบทางสังคมได้อย่างสูงต่อไปในอนาคต

ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนั้นเป็นแนวคิดอยู่ภายใต้สำนักคิดธุรกิจเพื่อสังคมที่ให้น้ำหนักไปที่การสร้างรายได้เพื่อทำให้ภารกิจทางสังคมประสบความสำเร็จ แนวทางนี้ได้รับแรงกระตุ้นจากการเติบโตของรายได้ขององค์กรไม่หวังผลกำไร ที่ต้องการเลิกการขอโครงการหรือเงินสนับสนุนจากรัฐ คล้ายกันนี้การเคลื่อนไหวอีกทางหนึ่งคือ การจัดตั้งศูนย์ผู้ประกอบการทางสังคมแห่งชาติ (National Center for Social Entrepreneur) (วีรบูรณ์ วิสารทสกุล, ม.ป.ป.) ทำหน้าที่เป็นผู้ประสานการดำเนินงานหลักกับเครือข่ายกิจการเพื่อสังคมในด้านดังกล่าว นอกจากนั้น ผู้ประกอบการทางสังคมยังเป็นบุคคลที่ปฏิรูปหรือปฏิวัติสินค้าแบบเดิมๆ ให้นำไปสู่การสร้างคุณค่าทางสังคมที่เป็นประโยชน์สำหรับสังคมวงกว้าง (Dees & Battle Anderson, 2006)

จากแนวคิดการทำงานข้างต้น กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงได้พัฒนากิจการเพื่อสังคมและดำเนินการตามแผนงานของ “Do it Awards” ในการสร้างผลกระทบทางสังคมภายใต้การเป็นผู้ประกอบการทางสังคม โดยมีภาคีที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการเพื่อสังคมดังนี้

1) พันธมิตรหลัก (Key Partner) จำแนกได้เป็น 3 กลุ่มคือ *กลุ่มแรก* ด้านกลไกการตลาดและการหนุนเสริมกิจการเพื่อสังคม ได้แก่ มูลนิธินโยบายสุขภาวะและเทศบาลตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่เป็นพี่เลี้ยงการดำเนินงานของกลุ่มพลังงานทางเลือกเพื่อสุขภาวะ ดำเนินงานพัฒนานวัตกรรมและการส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกภายใต้ “เครือข่ายมานะ Energy มานี Power”

กลุ่มที่สอง ด้านการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม ได้แก่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ มูลนิธิสถาบันพัฒนาพลังงานทดแทนแห่งเอเชียแปซิฟิก และกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีบทบาทเป็นแหล่งทุนและภาคีวิชาการที่สนับสนุนการพัฒนาและต่อยอดนวัตกรรม และ*กลุ่มที่สาม* ด้านการผลิต การติดตั้ง การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงและเครือข่ายพลังงานทางเลือก

2) การขายและการตลาด (Sale & Marketing) ปัจจุบันนวัตกรรมชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ได้มีแผนการ

ภาพ 17-19 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพภายใต้เครือข่าย “มานะ Energy มานี Power”

จำหน่ายและทดลองนำไปใช้งานกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งจังหวัดอุตรดิตถ์ ลำปาง กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ อุบลราชธานี นครราชสีมา กาญจนบุรี เพชรบุรี พังงา และพัทลุง ผ่านเครือข่ายพลังงานทางเลือก

สำหรับระยะแรกเป็นการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่กลุ่มเป้าหมายใช้วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน คือ (1) วิสาหกิจชุมชนที่ใช้ของเสียประเภทแป้งจากกระบวนการผลิตและนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อน (2) เกษตรกรรายย่อยที่ใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัตถุดิบและนำไปผลิตเป็นไฟฟ้าในชุมชน (3) เกษตรกรรายย่อยที่ใช้น้ำเสียจากการผลิตยางพาราและนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อน และ (4) ประชาชนที่ใช้เศษอาหารและของเสียในครัวเรือนและนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อน

ส่วนในระยะที่สอง แผนการตลาดจะมีการจำแนกกลุ่มเป้าหมายออกเป็น 4 กลุ่ม คือ *กลุ่มแรก* เกษตรกรรายย่อยที่มีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวัตถุดิบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นมูลสัตว์ ผลผลิตเหลือทิ้งทางการเกษตร ฯลฯ ที่มีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้น ตามการส่งเสริมของภาครัฐ เช่น กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ กระทรวงพลังงาน กรมปศุสัตว์ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่างๆ

กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มเป้าหมายที่เป็นธุรกิจขนาดกลาง มีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีกำลังการผลิตประมาณ 50-200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีลักษณะต่อเนื่องจากการผลิตหลัก เช่น ฟาร์มสุกร ฟาร์มโคนม โรงงานอุตสาหกรรมเกษตรขนาดกลาง ที่สามารถพัฒนาระบบพลังงานทดแทนด้วยผลผลิตเหลือทิ้งจากธุรกิจ มาพัฒนาเป็นพลังงานทางเลือกใช้ในธุรกิจ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ

กลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มเป้าหมายที่ไม่ได้มีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพใน 2 ลักษณะแรก แต่เป็นธุรกิจที่ต้องการพัฒนา "ความรับผิดชอบที่มีต่อสังคม" (CSR: Cooperate Social Responsibility) โดยสนับสนุนให้ชุมชนได้มีพลังงานทางเลือกไว้ใช้ โดยลงทุนร่วมกับชุมชน สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ งบประมาณในการสร้างสังคมสีเขียวที่มีสุขภาวะที่ดี มีศักยภาพสนับสนุนชุดผลิตก๊าซชีวภาพและชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอุปกรณ์เสริมการทำ CSR ให้ชุมชนได้

กลุ่มที่สี่ เป็นกลุ่มเป้าหมายที่เป็นบริษัทและธุรกิจในการรับติดตั้งระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถซื้ออุปกรณ์ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปเป็นอุปกรณ์ส่วนควบกับระบบก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3) กิจกรรมหลัก (Delivery) ในปัจจุบันการผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเพื่อการเข้าสู่กิจการเพื่อสังคม ได้ดำเนินการควบคู่กับการวิจัยและพัฒนาตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งมีกิจกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ดังนี้

กิจกรรมการผลิตสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์: ในกิจกรรมนี้ใช้บุคลากรและอุปกรณ์ที่อยู่ภายในบ้านห้วยบง ตั้งแต่การรวบรวมวัตถุดิบ ขนส่ง รวบรวม และขึ้นรูปเม็ดที่โรงปุ๋ยอินทรีย์วิสาหกิจชุมชนภายในบ้านห้วยบง จากนั้นนำไปคัดแยกขนาด ตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น และเก็บรวบรวม พร้อมจัดส่งชุดผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยระบบการเงินเป็นข้อตกลงร่วมของสมาชิกกลุ่มซึ่งเป็นระยะแรกของการดำเนินงาน

กิจกรรมการวิจัยและพัฒนาชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์: ในกิจกรรมนี้ใช้บุคลากร อุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการ ของคณะเกษตรศาสตร์ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการกำจัด รวบรวมข้อมูลผลการวิจัย ผลการทดลอง แก้ไขปัญหาเชิงเทคนิค ประสานแหล่งทุนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการยกร่างการจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา ประเภทอนุสิทธิบัตร ร่วมกับกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ในลักษณะของผลประโยชน์สาธารณะ

กิจกรรมการสนับสนุนการจัดการความรู้และการสื่อสารสาธารณะ: กิจกรรมนี้ใช้บุคลากร อุปกรณ์และทรัพยากรร่วมระหว่างเทศบาลตำบลป่าเซ่า และเครือข่าย "มานะ Energy มานี Power" ทั้งในกรณีของการสร้างการรับรู้ต่อผลิตภัณฑ์ การนำเสนอผ่านรูปแบบนิทรรศการ การประชาสัมพันธ์ การสร้างฐานการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง โดยในระดับพื้นที่มีกองส่งเสริมการเกษตร เทศบาลตำบลป่าเซ่าเป็นผู้ประสานงาน ในระดับประเทศมีมูลนิธินโยบายสุขภาวะเป็นผู้ประสานงาน ฯลฯ

2.2 คุณค่าทางสังคมและผลกระทบทางสังคม

การดำเนินงานของกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง เน้นการสร้างคุณค่าทางสังคมตามแนวคิดของสำนักคิดธุรกิจเพื่อสังคม ส่งเสริมให้เกิดการทำงานบริการทางสังคมในรูปแบบที่เป็นการประกอบการเพื่อสร้างกำไร โดยมีจุดแข็งร่วมกันในการทำธุรกิจเพื่อสังคม การริเริ่มอีกอย่างที่สำคัญ ซึ่งเกิดขึ้นมาด้วยเป้าหมายเพื่อพัฒนาความเป็นมืออาชีพในการจัดการธุรกิจชุมชนผ่านการแลกเปลี่ยนการปฏิบัติที่ดีที่สุดนั่นเอง (วีรบูรณ์ วิสารทสกุล, ม.ป.ป.) ดังนั้นการกำหนดเป้าหมายทางสังคมจึงมีดังนี้

1) ผลประโยชน์และสิ่งที่กลุ่มเป้าหมายได้รับ (Mission offering) ปัจจุบันการผลิตชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในระยะแรก เป็นการผลิตเพื่อใช้แก้ปัญหาให้กับกลุ่มคนบ้านห้วยบงและพื้นที่เทศบาลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล แต่เมื่อพบว่าผลงานวิจัยมีคุณค่าต่อพื้นที่อื่น ต่อกลุ่มคนเป้าหมายอื่นๆ ที่มีความต้องการนวัตกรรมนี้ด้วย ทางกลุ่มนักวิจัยและกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงจึงได้รับคำแนะนำจากมูลนิธินโยบายสุขภาวะให้รู้จักกับ "กิจการเพื่อสังคม" ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2556 จนถึงปัจจุบัน

ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในการช่วยเหลือเกษตรกร ธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรทั้งรายย่อยและบริษัท ฯลฯ สิ่งเหล่านี้คือ "แรงบันดาลใจ" ที่จะพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น ให้ผู้ใช้ (User) ร่วมวางเป้าหมายในการพัฒนาร่วมกันเป็นนักวิจัยด้วยกัน ฯลฯ ส่วนผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับชุมชนบ้านห้วยบงและเทศบาลตำบลป่าเซ่า คือ การที่ชุมชนได้รับการยอมรับว่าผลงานของชุมชนมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหา มีการเรียนรู้ทั้งภายในและภายนอกชุมชนอย่างต่อเนื่อง

การสร้าง "กิจการเพื่อสังคม" ให้กับเกษตรกรกลุ่มหนึ่งที่ไม่เคยได้ยินคำๆ นี้มาก่อน แต่ได้ทำกิจกรรมเช่นนั้นมาตลอดภายใต้ "จิตสาธารณะ" ที่มีอยู่ เพียงแต่ขาดระบบการบริหารจัดการที่ดี ขณะที่เทศบาลตำบลป่าเซ่าในฐานะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นก็ได้ประโยชน์จากการสร้างการอยู่ดีมีสุขของประชาชน การสร้างวิสาหกิจที่ดี เพิ่มรายได้ และสร้างการเรียนรู้ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นแหล่งอื่นๆ

2) ผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment: SROI) ที่เกิดจากการลงทุนกับกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ในผลิตภัณฑ์ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ การคิดคำนวณผลตอบแทนที่มากกว่าตัวเงิน ทั้งในมิติของสุขภาวะ (กาย จิต สังคม ปัญญา) มิติของการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีในลักษณะของ Zero waste (วัตถุดิบที่เป็นของเหลือทิ้ง) มิติของการสร้างคนและสร้างการเรียนรู้ในชุมชน (Learning Center) ฯลฯ ทั้งหมดนี้จะเป็นเครื่องมือสะท้อนการเรียนรู้ให้กลุ่มคนได้ตระหนักและเข้าใจในกิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งการมีผลสัมฤทธิ์ที่อาจกล่าวได้ว่ามีการตอบโจทย์ด้านสุขภาวะที่ดีกล่าวคือ

สุขภาวะทางกาย หมายถึง การมีร่างกายที่สมบูรณ์แข็งแรง มีเศรษฐกิจพอเพียง มีสิ่งแวดล้อมดี ไม่มีอุบัติภัย ซึ่งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพนี้เป็นผลทางตรง เพราะปัญหาเรื่องก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เป็นก๊าซที่มีผลกระทบต่อผู้คนมากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าถ้าคนเราได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณเล็กน้อยแต่ระยะยาว จะทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายถึงในระดับเสียชีวิตได้ การป้องกันจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากที่สุดในการลดการเสียชีวิตจากก๊าซชนิดนี้ โดยการให้ความรู้แก่ผู้ที่ต้องปฏิบัติงานในที่อับอากาศ ดังนั้น ผลงานวิจัยนี้สามารถเป็นจุดเริ่มต้นที่ช่วยให้เกษตรกรหรือผู้ที่ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกประเภทก๊าซชีวภาพมีความปลอดภัยด้านสุขภาวะทางกายและส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายจากการรักษาสุขภาพจากการระคายเคืองทางเดินหายใจในการสูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระหว่างการใช้งานก๊าซชีวภาพ

สุขภาวะทางจิต หมายถึง จิตใจที่เป็นสุข ผ่อนคลาย ไม่เครียด คล่องแคล่ว เป็นต้น โดยทีมผู้วิจัยฯ มีความรู้สึกว่าการทำงานที่มีลักษณะวิจัยเชิงพื้นที่ เป็นการทำงานที่มีความท้าทายมากกว่าการทำงานโดยทั่วไป มีลักษณะของการทำงานประสานงาน ดังนั้น เมื่อผลงานที่วิจัยออกมาสามารถนำมาใช้ได้จริง และเกิดประสิทธิผล ผู้ใช้ผลงานยอมรับในนวัตกรรม ส่งผลให้ทีมงานวิจัยเกิดความสุข ส่งผลให้

สุขภาวะทางจิตที่ดี และที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน คือ การที่ "พี่ลือ" และ "ลุงวัติ" ช่างชุมชนของบ้านห้วยบง ได้ออกมาติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพและชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อแก้ปัญหาให้กับกลุ่มบ้านยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ ในลักษณะของ "อาสา" แต่คนทั้งสองคนมีความรู้สึกว่าได้รับการยอมรับจากบุคคลภายนอก ทำให้มีพลังในการทำงานต่อไป เหมือนกับได้ไปทำงานให้กับญาติพี่น้อง ไม่ว่าดึกดื่นขนาดไหนก็เต็มใจตลอดเวลา ทำให้เป็นที่ยอมรับของคนในสังคม ทั้งหมดนี้จะเป็นเครื่องมือสะท้อนการเรียนรู้ให้กลุ่มคนได้ตระหนักและเข้าใจในกิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงเป็นผลตอบแทนทางสังคมที่ส่งผลให้คนทำงานมีความสุขได้เช่นกัน

สุขภาวะทางสังคม หมายถึง การอยู่ร่วมกันด้วยดีในครอบครัว ในชุมชน ในที่ทำงาน ในสังคม ในโลก ซึ่งรวมถึงการมีบริการทางสังคมที่ดีและมีสันติภาพ เป็นต้น ซึ่งในโครงการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพในครั้งนี้ทำให้เกิดการรวมตัวกันของกลุ่มคนที่ชื่อว่า "กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง" มาทำงานด้านพลังงานร่วมกัน และมีโอกาสการทำงานร่วมกับสำนักงานส่งเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ (สกส.) โดยทางกลุ่มก็ดำเนินงานในจุดมุ่งหมายมิได้แตกต่างกันเท่าไรนัก เพียงแต่ขาดความชัดเจนในมิติการเงินหรือธุรกิจ และเริ่มพัฒนาขึ้นมาอย่างช้าๆ จนถึงปัจจุบัน

สุขภาวะทางปัญญา หมายถึง ความสุขที่ดีจากการเข้าใจธรรมชาติ เข้าใจความจริงแห่งชีวิตและสรรพสิ่งจนเกิดความรอบรู้ ในกรณีนี้ "กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง" ได้พัฒนาจากเกษตรกรผู้ที่ไม่รู้จักก๊าซชีวภาพ มาเป็นผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลโค มาเป็นนักวิจัยชุมชนเรื่องก๊าซชีวภาพ และพัฒนาเป็นผู้ประกอบการทางสังคมเกี่ยวกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ การเรียนรู้อย่างต่อเนื่องกว่า 5 ปีนี้ อาจกล่าวได้ว่า เป็นการยกระดับการเรียนรู้ไม่เพียงแต่กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบงเท่านั้น ยังหมายรวมถึงนักวิชาการในมหาวิทยาลัย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้มีใครเก่งกว่าใคร หรือใครเชี่ยวชาญกว่าใคร แต่เป็นการเรียนรู้ร่วมกันเพื่อสร้างปัญญาจากโจทย์ปัญหาและวิชาการที่มี จึงทำให้เกิดสุขภาวะทางปัญญาได้อย่างแท้จริง

3) การดำรงอยู่ได้ของกิจการเพื่อสังคม (Survival of Social Enterprise) เป็นสิ่งที่สำคัญต่อการเรียนรู้ให้กับคนในสังคม โดยเฉพาะชุมชนชนบทและนักวิชาการในมหาวิทยาลัย องค์กรต่างๆ ที่มีคำถามถึงความท้าทายต่อการมีกิจการเพื่อสังคมว่า จะดำรงอยู่ได้ในลักษณะใดด้วยธุรกิจเช่นไร เป็นไปได้จริงกับเกษตรกรหรือไม่ ดังนั้นกรณีศึกษา "กลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง" นี้ ในระยะยาวจะได้สะท้อนผลการทำงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์กับการก้าวสู่พันธกิจสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกับสังคม (Engagement University) เพื่อสร้างกิจการเพื่อสังคมที่มีลักษณะเฉพาะ สอดรับกับหลักการของพันธกิจสัมพันธ์ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างเครือข่ายความร่วมมือแบบหุ้นส่วน (Partnership) การเกิดประโยชน์ร่วมแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย (Mutual benefit) มีการใช้ความรู้และเกิดการเรียนรู้ร่วมกัน (Scholarship) และที่สำคัญ คือ เกิดผลกระทบต่อสังคมที่ประเมินผลได้ (Social impact) ที่สอดคล้องกับพันธกิจของมหาวิทยาลัยตามบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 ต่อไป

บทสรุป

ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานทางเลือกประเภทก๊าซชีวภาพ ทั้งในมิติสุขภาวะของผู้ใช้ และประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงาน โดยพัฒนาขึ้นเพื่อการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมมากกว่าการพึ่งพิงเทคโนโลยีที่นำเข้า และดำเนินงานในลักษณะกิจการเพื่อสังคมภายใต้แนวคิดของสำนักธุรกิจเพื่อสังคม มีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตสารกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากเหล็กออกไซด์ที่เป็นของเหลือทิ้งในชุมชน เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดผลกระทบและความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด โดยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ด้วยการใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันไป (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555)

นอกจากนั้น การสร้างมูลค่าเพิ่ม (Value-added) จากของเหลือทิ้งที่อยู่ในชุมชน โดยใช้ความเข้าใจในกระบวนการทางเคมีและหลักการทางวิทยาศาสตร์เกษตรมาประยุกต์ใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยเป็นนวัตกรรมที่สอดคล้องและเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาใน 3 มิติ คือ มิติด้านความใหม่ (Newness) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการใช้เหล็กออกไซด์ที่เป็นของเหลือทิ้ง มีปริมาณสารประกอบ (Compound) เกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าเป็นผลการวิจัยทางเทคโนโลยีที่ยังไม่พบว่ามีงานวิจัยในลักษณะนี้ในประเทศไทย มิติด้านประโยชน์เชิงเศรษฐกิจ (Economic benefits) เป็นการลดต้นทุนจากการใช้เทคโนโลยีลักษณะอื่น โดยมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ เกษตรกรรายย่อยสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ง่าย ลดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายการรักษาสุขภาพและค่าใช้จ่ายในการซ่อมเครื่องยนต์การเกษตร และมิติการใช้ความรู้และความคิดสร้างสรรค์ (Knowledge and creativity idea) เป็นการใช้ความรู้ในกระบวนการทางเคมีและวิทยาศาสตร์เกษตร เศรษฐศาสตร์ รวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product design) เพื่อการใช้ประโยชน์ทั้งในลักษณะเชิงสาธารณะและเชิงธุรกิจ

ในประเด็นสุดท้าย คือ การยกระดับการทำงานของเกษตรกรบ้านห้วยบง สู่การเป็นกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง และก้าวเข้าสู่กิจการเพื่อสังคม ผ่านทางเครือข่ายและพันธมิตรการทำงานทั้งภาคประชาชน ภาคองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาควิชาการ ที่ทำงานร่วมกันตามบทบาทและเกิดประโยชน์ในภาคส่วนต่างๆ โดยใช้ความรู้ทางวิชาการมาพัฒนาร่วมกับงานวิจัยเชิงพื้นที่ สร้างนวัตกรรมใหม่ที่เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชน และเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ทั้งมิติของการลดความเสี่ยงจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในมิติของสุขภาวะต่างๆ และสร้างการเรียนรู้ระหว่างชุมชนและเครือข่าย ที่สำคัญคือการสร้างผู้ประกอบการทางสังคมในกิจการเพื่อสังคมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่คำนึงถึงมิติการเป็นผู้ประกอบการ มิติการพัฒนาเทคโนโลยี มิติการพัฒนาเชิงพื้นที่ และมิติการสื่อสารเพื่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคม และนำไปสู่พันธกิจสัมพันธ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์กับสังคม ซึ่งทั้งหมดนี้มีจุดเริ่มต้นเดียวกัน

ผู้ร่วมวิจัย

นายลือ เกิดสาย (ผู้ประสานงานกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง)
นายประวัติ คำจีน (แกนนำกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง)
นางสาวสร้อยรัตน์ดา สามโพธิ์ศรี (นักวิชาการเกษตร กองส่งเสริมการเกษตร เทศบาลตำบลป่าเซ่า)
นายสุทธิรัตน์ ปาลาศ (เครือข่ายเกษตรทางเลือกจังหวัดอุตรดิตถ์)
อาจารย์กัลยา นาคลังกา (สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร)
อาจารย์ศรีไพร สกุลพันธ์ (สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์)

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. **การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.** กรุงเทพฯ: เอกสารความรู้ฐานความรู้ การจัดการกลิ่น.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย.

กัญญาวีร์ วันสุข. ประธานกลุ่มผลิตข้าวแคบบ้านยางกะไดใต้ ตำบลศรีพนมมาศ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์. สัมภาษณ์. 10 พฤศจิกายน 2556.

เจษฎา มิ่งฉาย และคณะ. 2554. **รูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคแบบครบวงจรสำหรับเกษตรกรรายย่อยบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์.** อุตรดิตถ์: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (รายงานการวิจัย).

._____. 2556. **การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อการพัฒนาพลังงานชุมชนของเกษตรกรรายย่อยฯ.** อุตรดิตถ์: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (รายงานการวิจัย).

ประวัติ คำจีน. แกนนำกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์. สัมภาษณ์, 10 พฤศจิกายน 2556.

ปัททมา อรุณราช และคณะ. 2552. **การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการดูดซึมและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในหอดูดซึมแบบแพค.** สงขลา: บทความสืบเนื่องการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 21-22 พฤษภาคม 2552.

พิชญา ยังดี และคณะ. 2554. **การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับ.** นครนายก: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555. **การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ.** เชียงใหม่: สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ.

รัศมี สิทธิขันแก้ว. 2554. *"พัฒนาตัวดูดซับเพื่อบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซธรรมชาติ".* **ประชาคมวิจัย สกว. 97** (17-18).

ลือ เกิดสาย. แกนนำกลุ่มคนรักษ์พลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์. สัมภาษณ์, 2 กันยายน 2557.

วงศ์วิวรรธ ธนูศิลป์ และสุนันทา เลาวัณย์ศิริ. 2555. **การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก.** สงขลา: บทความสืบเนื่องการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9, (419-427).

วีรบูรณ์ วิสารทสกุล. (ม.ป.ป.) **การประกอบการทางสังคมหลายแนวทาง ทฤษฎี และปฏิบัติการหลายแนวทางการประกอบการทางสังคมจากปฏิบัติการสู่กรอบกฎหมาย : บททบทวนวรรณกรรม.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาพัฒนาชุมชน คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2556. **เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology).** ที่มา: http://www.tei.or.th/songkhlalake/database/knowledge/knowledge_ct5.html#problem_CT วันที่สืบค้น 5 กันยายน 2556.

สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2554. **ความรู้เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Biogas).** กรุงเทพฯ: กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง.

สำนักงานสร้างเสริมกิจการเพื่อสังคมแห่งชาติ. 2557. **โครงการรางวัลเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมกิจการเพื่อสังคมไทย.** ที่มา: http://www.tseo.or.th/ วันที่สืบค้น 18 เมษายน 2557.

สุชน ตั้งทวีพิพัฒน์ และคณะ. 2555. "การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน". **แก่นเกษตร.** 40 ฉบับพิเศษ 2: 201-204.

Dees, G., & B. Battle Anderson. 2006. *Framing a Theory of Social Entrepreneurship: Building on Two Schools of Practice and Thought."* **ARNOVA Occasional Paper Series Research on Social Entrepreneurship: Understanding and Contributing to an Emerging Field 1(3):** 39-66, ed. R. Mosher-Williams.

Moosavi, R.G., Naddafi, K., Mesdaghinia, A., Vaezi, F., and Mahmoudi, M. 2005. *H_2S Removal in an Oxidation Packed Bed Scrubber Using Different Chemical Oxidation.* **Journal of 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. 2004. *A prospective and retrospective look at diffusion model.* **Journal of Health Communication**, 9(1), 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.