

# การใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เป็นพลังงานทดแทนสำหรับ เครื่องยนต์ของเครื่องบดข้าวโพดแบบ Hammer Mill

## Use of Biogas from Animal Feces as a Renewable Energy for Engine of a Corn Hammer Mill

สุชน ตั้งทวีพัฒน์<sup>\*</sup>, กัญญารัตน์ พวกเจริญ, อองอาจ สองสี และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล  
Suchon Tangtaweewipat<sup>\*</sup>, Kanyarat Puakchareon, Ongart Songsee and Boonlom Cheva-Isarakul

ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

<sup>\*</sup>Corresponding author: Email: agani002@gmail.com

(Received: 5 July 2021; Accepted: 7 September 2021)

**Abstract:** This study aimed to evaluate the efficiency of small corn hammer mill grinder using biogas engine. The preliminary work was carried out at Livestock Research and Development section of Royal Project Foundation. It was found that the biogas which produced from young chicken excreta contained  $1,610 \pm 26.46$  ppm  $H_2S$ . After passing through the filter, the concentration of  $H_2S$  was only  $2.33 \pm 0.58$  ppm, which indicated the high efficiency (99.86 %) of the filter. This biogas was used with 6.5 hp engine for corn grinding to pull the hammer mill of 6, 8 and 10 inches diameter. It was found that the 8 inches diameter of hammer mill was more significantly effective in grinding than the 6 and the 10 inches diameter ( $P < 0.01$ ). It required significantly less biogas and need less cost of grinding (10.473 vs. 17.163 and 38.259 liter/kg of corn grain, and 54.19 vs. 101.11 and 125.60 Baht / 100 kg of corn grain, respectively;  $P < 0.01$ ). On the contrary, the speed of the 10 inches diameter hammer mill was significantly less than the 6 and the 8 inches diameter. In addition, it required higher amount of biogas than the 8 and the 6 inches diameter ( $P < 0.01$ ). The machine was then used and the satisfactory of the user was evaluated at the farm in the community of Mae Song Highland Development Project using Royal Project Model, Tak province. Two biogas units with  $8 + 8 m^3$  size were constructed at the farmer house where 25 - 35 heads of fattening and breeding swine were raised. It was found that the biogas can be produced even at the 1,000 m MSL attitude. It can be an alternative energy for hammer mill grinder in highland farm. The satisfaction of the farmers to the developed equipment was 4.76 out of 5 score, which indicated the highly satisfaction.

**Keywords:** Animal feces, biogas, renewable energy, corn hammer mill, engine

**บทคัดย่อ:** การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานของเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดขนาดเล็ก โดยเบื้องต้นทำการทดลองที่ฟาร์มปศุสัตว์ งานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง พบว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลลูกไก่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )  $1,610 \pm 26.46$  ppm หลังผ่านชุดกรองก๊าซ  $\text{H}_2\text{S}$  ที่ทำด้วยเม็ดตัวกลางเคลือบ ferric hydroxide แล้วเหลือเท่ากับ  $2.33 \pm 0.58$  ppm หรือกรองให้ก๊าซชีวภาพบริสุทธิ์ได้ถึง 99.86 % เมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 6.5 แรงม้า (hp) เพื่อจุดชุดค้อนตี (hammer mill) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 นิ้ว พบว่า ชุดค้อนตี 8 นิ้ว สามารถบดเมล็ดข้าวโพดได้มากกว่า 6 และ 10 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.01$ ) และมีปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบดน้อยกว่าอีกด้วย (10.473 vs. 17.163 และ 38.259 ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวโพด และ 54.19 vs. 101.11 และ 125.60 บาทต่อ 100 กิโลกรัมข้าวโพด ตามลำดับ;  $P < 0.01$ ) ในขณะที่ความเร็วรอบของชุดค้อนตีขนาด 10 นิ้ว มีค่าต่ำกว่า 6 และ 8 นิ้วอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังใช้ก๊าซชีวภาพมากกว่าขนาด 8 และ 6 นิ้ว ( $P < 0.01$ ) เมื่อนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ในชุมชนโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง จังหวัดตาก โดยสร้างถุ่หมักก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ถุ่ ที่บ้านของผู้เลี้ยงสุกรขุนและพ่อแม่พันธุ์ จำนวน 25 - 35 ตัว พบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้แม้จะอยู่บนพื้นที่สูง 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล และสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดได้ โดยผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับ “มากที่สุด” มีคะแนนเฉลี่ย 4.76 จากคะแนนเต็ม 5

**คำสำคัญ:** มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทน เครื่องบดเมล็ดข้าวโพด เครื่องยนต์

## คำนำ

การทำเกษตรบนพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวงและโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง ได้มีการส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ เช่น สุกร สัตว์ปีก แพะนม และควายนม เป็นต้น รวมทั้งส่งเสริมการทำถุ่หมักผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เหล่านี้ เพื่อลดปัญหาผลกระทบจากสิ่งปฏิกูล โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นเหม็น น้ำเสียจากมูล - ปัสสาวะและน้ำล้างคอกสัตว์ จากข้อมูลของงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง โดย Tangtaweewipat *et al.* (2011) รายงานว่า เกษตรกรในชุมชนพื้นที่สูงที่เลี้ยงสุกรประมาณ 20 ตัวต่อครัวเรือน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียงพอสำหรับการหุงต้มประจำวัน และมีเหลือใช้ และยังรายงานอีกว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากถุ่หมักขนาด 5.0, 7.5 และ 10.0 ลูกบาศก์เมตร ของเกษตรกรบนพื้นที่สูงจากน้ำทะเลปานกลางน้อยกว่า 800, 800 - 1,000 และมากกว่า 1,000 เมตร ในสภาพแสงแดดปกติ เมื่อเฉลี่ยจากทุกระดับความสูง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามขนาดของถุ่หมัก คือ มีปริมาณ 0.16,

0.37 และ 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่พื้นที่สูง 400 - 800, 800 - 1000 และสูงกว่า 1000 เมตร เมื่อเฉลี่ยจากทุกขนาดถุ่หมัก มีปริมาณก๊าซชีวภาพไม่ต่างกัน ( $P > 0.05$ ) คือ เท่ากับ 0.31, 0.33 และ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณมีเทน (Methane;  $\text{CH}_4$ ) 56 % มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) หรือก๊าซไข่เน่าเท่ากับ 378.5 ppm เกษตรกรสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้หุงต้มทดแทนการใช้ฟืนและก๊าซ LPG ได้เฉลี่ยวันละ 1 - 2 ชั่วโมง ประหยัดค่าใช้จ่ายได้เดือนละ 330 บาท รวมทั้งลดการใช้ฟืนได้ 90 - 210 กิโลกรัมต่อเดือน ดังนั้น งานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง จึงได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ให้ศึกษาการนำก๊าซชีวภาพส่วนที่เหลือใช้มาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องยนต์การเกษตรขนาดเล็ก โดยจากรายงานของ Landahl (2003) กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพเกิดจากขบวนการหมักอินทรีย์วัตถุ (biomass มูล ปัสสาวะ น้ำเสีย เศษซากพืชซากสัตว์) ในสภาพไร้อากาศ จะได้ก๊าซที่ประกอบด้วยมีเทน

(CH<sub>4</sub>) 50 - 80 %, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 15 - 45 %, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) 0 - 2 % และน้ำ 5 % Kristoferson and Bokalders (1991) อ้างว่า ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีคุณค่าเท่ากับหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างขนาด 60 - 100 วัตต์ นาน 6 ชั่วโมง หรือใช้ประกอบอาหารสำหรับครอบครัว 5 - 6 คน ได้ 3 มื้อ ทดแทนน้ำมันเบนซินหรือก๊าซโซลีน (gasoline engine) ได้ 0.7 กิโลกรัม หรือขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า (hp) ได้นาน 2 ชั่วโมง และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.25 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์นั้น Persson (2007) ระบุว่า ก๊าซชีวภาพที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ต้องมี CO<sub>2</sub> น้อยกว่า 20 % ซัลเฟอร์ต่ำกว่า 23 mg / Nm<sup>3</sup> ฝุ่นละอองต่ำกว่า 1 µm น้ำน้อยกว่า 32 mg / Nm<sup>3</sup> ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ต่ำกว่า 1 Vol % และต้องมี CH<sub>4</sub> มากกว่า 92 % ส่วน Songsee (2012) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสัตว์ได้วันละ 2 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ขนาด 5.5 แรงม้า ผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 กิโลวัตต์ หรือใช้กับเครื่องยนต์สูบน้ำ ซึ่งจะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.2 - 1.4 หรือ 0.8 - 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งต่อมา Tangtaweewipat *et al.* (2019) ได้นำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยได้พัฒนาชุดผสมระหว่างอากาศกับก๊าซชีวภาพก่อนการระเบิด (จุดติด) พบว่า ชุดผสมดังกล่าวควรมีสัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพ 4:1 หรือมีปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> เท่ากับ 12.6 ± 1.25 % เมื่อใช้ร่วมกับชุดรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ที่ทำด้วยเม็ดตัวกลางเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe (OH)<sub>3</sub>) บรรจุในท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 50 - 100 เซนติเมตร หรือมีปริมาตรเท่ากับ 8.8 - 17.7 ลิตร มีประสิทธิภาพดูดซับ H<sub>2</sub>S ได้ 99.6 - 100 % สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 6.5 แรงม้า ที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 kW ได้ง่าย และผลิตกระแสไฟฟ้าได้คงที่ไม่เกิน 1,800 วัตต์ การใช้กระแสไฟฟ้าจำนวน 100 - 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อประเมินด้วยสมการ regression จะใช้ก๊าซชีวภาพ 6.17 - 7.30 ลูกบาศก์เมตร ต้นแบบ

เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพสามารถใช้ในพื้นที่สูงได้จริง เกษตรกรมีความพึงพอใจอย่างยิ่ง ดังเช่น Tangtaweewipat *et al.* (2020) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากถุ่หมักขนาด 8, 12 และ 16 ลูกบาศก์เมตร ในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง จำนวน 4 ราย คือ แบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก จำนวน 3 ราย และแบบโครงการหลวงแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 1 ราย ซึ่งเป็นพื้นที่ห่างไกลทุรกันดารและไม่มีไฟฟ้าใช้ สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 kW ในสภาพจริงของเกษตรกรได้ โดยถุ่หมักก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงขนาดความจุ 12 - 16 ลูกบาศก์เมตร และมีสุกรขุนจำนวน 9 - 35 ตัว เป็นขนาดที่เหมาะสม สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ได้วันละ 2 - 4 ชั่วโมง หลังคาเรือนละ 81 - 126 วัตต์ โดยใช้หลอดไฟฟ้า LED จำนวน 9 - 14 หลอดต่อครัวเรือน แบ่งปันให้เพื่อนบ้านใช้ได้อีกไม่น้อยกว่า 6 ครัวเรือน รวมทั้งสิ้น 10 ครัวเรือน ช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ที่ได้ติดตั้งมีเตอร์บันทึกการใช้กระแสไฟได้ 96 - 130 บาทต่อเดือน นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้กระแสไฟไม่มาก เช่น การชาร์จแบตเตอรี่สำหรับใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ ไฟฉาย ที่วี พัดลม และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกเหนือจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้หุงต้มในครัวเรือนทดแทนก๊าซ LPG หรือทดแทนการใช้พื้นที่เป็นกิจกรรมประจำวันอยู่แล้วด้วย

ในระยะ 4 - 5 ปีที่ผ่านมา เกษตรกรบนพื้นที่สูงนิยมปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กันอย่างแพร่หลาย เพื่อเป็นรายได้ของครอบครัว โดยขายให้แก่โรงงานผลิตอาหารสัตว์ที่มีความต้องการสูงเนื่องจากอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกษตรกรเหล่านี้มีโอกาสใช้เมล็ดข้าวโพดที่ปลูกบนพื้นที่สูงน้อยมาก ประกอบกับไม่มีเครื่องบดเมล็ดข้าวโพดขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ดังนั้น การศึกษาค้นคว้าวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนก๊าซโซลีน

มาดูดชุดไม่สำหรับบดเมล็ดข้าวโพด ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์จริงของเกษตรกรในชุมชนโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง ที่ได้นำมูลสัตว์มาผลิตก๊าซชีวภาพ และมีก๊าซเหลือใช้จากการหุงต้มในครัวเรือน มาเป็นพลังงานสำหรับชุดเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดแบบค้อนตี (hammer mill) โดยทำการเปรียบเทียบชุดค้อนตีที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ขนาด คือ 6, 8 และ 10 นิ้ว พร้อมกับประเมินระยะเวลาการใช้เครื่องยนต์ ปริมาณเมล็ดข้าวโพดที่บดได้ ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ ต้นทุนการบดเมล็ดข้าวโพด และความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องบดเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ก๊าซชีวภาพดังกล่าว

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การสร้างถุหมักก๊าซชีวภาพ

ได้สร้างถุหมักก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ที่ฟาร์มปศุสัตว์ของงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 1 ถุ โดยใช้มูลลูกไก่ช่วงอายุ 1 วันถึง 2 สัปดาห์ เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มีโปรตีน 19 % จำนวน 1,350 ตัว และถุผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรสุกรขุนและสุกรพ่อแม่พันธุ์ ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ถุ ที่บ้าน

นายประเสริฐ สุทธิพนาสวรรค์ อาศัยอยู่ในชุมชนโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 900 เมตร ซึ่งเลี้ยงสุกรจำนวน 25 - 35 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า

#### การทำชุดเครื่องยนต์สำหรับบดเมล็ดข้าวโพดและทดสอบประสิทธิภาพ มีรายละเอียดดังนี้ (Figure 1)

- ชุดเครื่องยนต์ขนาดเล็ก 6.5 แรงม้า (hp) ประกอบด้วยพูลเลย์ (pulley) หรือมู่เลย์ที่มีเพลขับเคลื่อน (drive power or engine) ขนาด 2.5 นิ้ว เพื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานแทนก๊าซโซลีนในการจุดเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดแบบ hammer mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 นิ้ว (Figure 1A) โดยทำการเปรียบเทียบหาขนาดที่เหมาะสม

- ชุดผสมก๊าซชีวภาพและอากาศในอัตราส่วน 1 : 4 (mixer; Figure 1B) ตามต้นแบบที่รายงานไว้โดย Tangtaweewipat *et al.* (2020)

- ชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ทำจากเม็ดตัวกลางเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_3$ ) บรรจุในกล่องอะลูมิเนียมขนาด 15 x 60 x 60 เซนติเมตร (Figure 1C)

- ชุดรองรับและชุดค้อนตีเมล็ดข้าวโพด (hammer mill; Figure 1D)



Figure 1. Biogas small engine 6.5 hp (A), mixer (B), hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) filter (C), grinding head size of hammer mill (D)

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ที่ฟาร์มเลี้ยงลูกไก่ของงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเลี้ยงลูกไก่พันธุ์เบรส ไก่กระดูกดำและไก่เล็กฮอร์นขาว จำนวน 1,350 ตัว ได้ทำการวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ที่เกิดขึ้นจากการหมักมูลไก่ในถุหมักก๊าซชีวภาพทั้งก่อนและหลังผ่านชุดกรองก๊าซไซเน่า รวมทั้งทดลองหาขนาดของ hammer mill ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน

2. เมื่อได้ต้นแบบเครื่องยนต์ซึ่งมีขนาดของ hammer mill ที่เหมาะสมแล้ว จึงนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานจริงที่บ้านนายประเสริฐ สุทธิพนาสวรรค์ จังหวัดตาก ผู้เลี้ยงสุกรขุนและสุกรพ่อแม่พันธุ์ จำนวน 25 - 35 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปการค้า โดยทำถุหมักก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรดังกล่าวจำนวน 2 ถุ ขนาดถุละ 8 ลูกบาศก์เมตรไว้ให้ล่วงหน้าด้วย ซึ่งพื้นที่นี้มีกรมปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวนมาก

ทำการศึกษาเป็นเวลา 5 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคม - กันยายน โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกเดือน ได้ข้อมูล 5 ชุด ซึ่งถือเป็นจำนวน 5 ซ้ำ ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยคุณภาพก๊าซชีวภาพในช่วงก่อนและหลังผ่านชุดกรองก๊าซ  $H_2S$  ระยะเวลาการใช้เครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพด ปริมาณเมล็ดข้าวโพดที่บดได้ ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ และต้นทุนการบดเมล็ดข้าวโพด วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบ สุ่มตลอด (Completely randomized design) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test ตามที่ระบุไว้โดย Steel *et al.* (1997) พร้อมกับประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้เครื่องยนต์ด้วยการให้คะแนน 1 - 5

### ผลการศึกษาและวิจารณ์

#### ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลลูกไก่ของงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง มีปริมาณก๊าซ  $H_2S$  ก่อนผ่านชุดกรอง  $1,610 \pm 26.46$  ppm และ

หลังผ่านชุดกรองเหลือเท่ากับ  $2.33 \pm 0.58$  ppm แสดงว่าชุดกรองนี้สามารถกรองก๊าซ  $H_2S$  ได้ถึง 99.86 % (Table 1) ซึ่งนับว่าดีมาก เพราะก๊าซนี้มีผลต่อการฟุกร้อนของเครื่องยนต์และส่วนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังปลดปล่อย  $SO_2$  ออกมาสร้างมลภาวะด้วย (Al Mamun and Torii, 2015) โดยชุดกรองที่ศึกษาครั้งนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่ารายงานของ Al Mamun and Torii (2015) ที่ใช้ zero-valent iron ซึ่งดูดซับก๊าซ  $H_2S$  ได้ 95 % และรายงานของ Kulkarni and Ghanegaonkar (2019) ที่ใช้การดูดซับทางเคมีแบบ 1 column ขนาด 1.2 ลิตร สามารถลดก๊าซ  $H_2S$  ได้ 92.41 % อย่างไรก็ดี ผลการศึกษาค้นคว้าสอดคล้องกับรายงานของ Tangtaweewipat *et al.* (2012) ที่ใช้ชุดดูดซับก๊าซ  $H_2S$  ในรูปเม็ดปูนผสมทรายเคลือบด้วย  $(Fe(OH)_3)$  โดยใช้กับก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และมูลนกกระทาไข่ ซึ่งมีก๊าซ  $H_2S$  เท่ากับ 480, 1,773 และ 3,509 ppm ตามลำดับ พบว่าสามารถลดได้ 97.3 - 99.3 % ในขณะที่ใช้ดินเบาผสมปูนซีเมนต์ และที่ใช้ฝอยเหล็ก สามารถลดลงได้เพียง 78.0 - 74.0 และ 69.4 - 49.9 % ตามลำดับ ( $P < 0.01$ )

#### การใช้งานเครื่องบดเมล็ดข้าวโพด

จากการศึกษาการบดเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องบดขนาด 6.5 hp โดยมีพูลเลย์ที่เพลอาบ หรือที่ติดเครื่องยนต์ ขนาด 2.5 นิ้วที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานแทนก๊าซโซลีนในการดูดเครื่องบดเมล็ดข้าวโพดแบบ hammer mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 นิ้ว ผลแสดงไว้ใน Table 1 ปรากฏว่าเครื่องยนต์ไม่สามารถดูดเครื่องบดหรือชุดค้อนตีเมล็ดข้าวโพดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่ใช้พูลเลย์ของชุดค้อนตี (hit set or hammer mill) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วได้ ต้องเพิ่มขนาดให้ใหญ่ขึ้นเป็น 5 นิ้ว ตามวงรอบของชุดค้อนตีที่กว้างมากขึ้น ในขณะที่ชุดค้อนตีขนาด 6 และ 8 นิ้ว สามารถใช้พูลเลย์ขนาด 4 นิ้วได้ มีผลให้ความเร็วรอบของชุดค้อนตีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว มีค่าต่ำกว่าขนาด 6 และ 8 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ ( $1,540.2$  vs.  $2,060.0$  และ  $2,024.8$  rpm, ตามลำดับ;  $P < 0.01$ ) โดยชุดค้อนตี

Table 1. The efficiency of the beater supported by a 6.5 HP engine using biogas fuel

Item	Grinding head size (inch)			P - value	SEM
	6	8	10		
<b>Hydrogen sulfide gas (ppm)</b>					
Before passing through filter set		1,610 ± 26.46		-	-
After passing through filter set		2.33 ± 0.58		-	-
Filter set efficiency (%)		99.86		-	-
<b>Pulley diameter (inch)</b>					
At drive power or engine	2.5	2.5	2.5	-	-
At hit set or hammer mill	4	4	5	-	-
Speed at hit set (rpm)	2,060.0 <sup>a</sup>	2,024.8 <sup>a</sup>	1,540.2 <sup>b</sup>	< 0.01	8.10
<b>Efficiency of corn hammer mill grinder</b>					
Maize amount (kg / hour)	70.580 <sup>b</sup>	131.202 <sup>a</sup>	56.664 <sup>c</sup>	< 0.01	0.79
Consumption of biogas (m <sup>3</sup> /hour)	1.208 <sup>c</sup>	1.374 <sup>b</sup>	2.164 <sup>a</sup>	< 0.01	0.03
Biogas utilization rate (liter / kg)	17.163 <sup>b</sup>	10.473 <sup>c</sup>	38.259 <sup>a</sup>	< 0.01	0.50
Corn grain grinding cost (Baht/ 100 kg)*	101.11 <sup>b</sup>	54.19 <sup>c</sup>	125.60 <sup>a</sup>	< 0.01	1.26

<sup>a-c</sup> Means within a row with different superscripts differ significantly ( $P < 0.01$ )

\* Compared with gasoline 95, which costs 27.45 Baht/liter, the engine used 1.85 liters of oil per hour to grind 140 kg of corn grain

ที่มีขนาด 8 นิ้ว สามารถบดเมล็ดข้าวโพดต่อชั่วโมงได้มากกว่าขนาด 6 และ 10 นิ้วอย่างมีนัยสำคัญ (131.202 vs. 70.580 และ 56.664 กิโลกรัม;  $P < 0.01$ ) ในขณะที่ชุดค้อนตีขนาด 10 นิ้ว เครื่องยนต์ต้องใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด รองลงมาคือ 8 และ 6 นิ้ว ตามลำดับ (2.164 vs. 1.374 vs. 1.208 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง;  $P < 0.01$ ) แต่เมื่อกำหนดอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพต่อปริมาณข้าวโพดที่บดได้ พบว่า ชุดค้อนตีขนาด 8 นิ้ว ใช้น้อยกว่าขนาด 6 และ 10 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ (10.473 vs. 17.163 และ 38.259 ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวโพด ตามลำดับ;  $P < 0.01$ ) ซึ่งความเร็วรอบสูงและขนาดของหัวค้อนตีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่าจะบดเมล็ดข้าวโพดได้เร็วกว่า แต่ขนาดของ

หัวค้อนตีที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงในการทำงานมากขึ้น

สำหรับค่าใช้จ่ายในการบดเมล็ดข้าวโพดเมื่อเทียบกับการใช้ก๊าซโซลีนหรือน้ำมันเบนซิน แก๊สโซฮอล์ 95 กรณี ใช้เครื่องยนต์ขนาด 6.5 hp ตามการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใช้ชุดค้อนตีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 นิ้ว ซึ่งสามารถบดเมล็ดข้าวโพดได้เร็วกว่าชุดค้อนตีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 และ 10 นิ้ว จึงใช้เวลาน้อยกว่าในการบดเมล็ดข้าวโพดที่มีปริมาณเท่ากัน ทำให้เสียค่าเชื้อเพลิงต่ำกว่าชุดค้อนตีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 และ 10 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ (54.19 vs. 101.11 และ 125.60 บาทต่อ 100 กิโลกรัมข้าวโพด;  $P < 0.01$ ; Table 1)

### การประเมินความพึงพอใจ

ได้ทำการประเมินความพึงพอใจของนาย ประเสริฐ สุทธิพินาสวรรค์ และเกษตรกรที่สนใจ ในพื้นที่ หมู่ 3 บ้านแม่สลิดน้อย ตำบลแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก ต่อการใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ บดเมล็ดข้าวโพดสำหรับใช้เป็นอาหารสุกรขุนและสุกรพ่อแม่พันธุ์เพื่อลดต้นทุนการผลิต จำนวน 4 ราย ผลปรากฏว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจระดับ “มากที่สุด” (มีค่าคะแนน 4.76 จากคะแนนเต็ม 5) โดยพึงพอใจ “มากที่สุด” ในด้านระยะเวลาการทำงานของเครื่องที่บดเมล็ดข้าวโพดได้เพียงพอต่อความต้องการ ครอบครัวมีความสุข ชีวิตความเป็นอยู่ดีขึ้น มีสัมพันธภาพที่ดี

กับครอบครัวและเพื่อนบ้าน ได้รับความรู้ใหม่ สามารถเป็นต้นแบบให้กับคนในชุมชน และประทับใจต่อการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ ส่วนความพึงพอใจด้านการติดตั้งเครื่องยนต์มีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต และสามารถลดค่าใช้จ่ายของครอบครัว อยู่ในระดับ “มาก” (Table 2) ทั้งนี้เนื่องด้วยในพื้นที่ข้างต้น มีผลผลิตข้าวโพดจำนวนมากและมีราคาถูก การมีแหล่งพลังงานเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็กสำหรับบดข้าวโพดเพื่อใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์จึงตอบสนองของความต้องการของเกษตรกรได้

ภาพการทำงานของเครื่องยนต์บดข้าวโพดที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงาน แสดงไว้ใน Figure 2

Table 2. The satisfaction of the farmers to the developed equipment using biogas as a renewable energy

Item	Satisfaction level	
	Average score	Degree of satisfaction <sup>1</sup>
1. Installing the engine is beneficial for life	4.20	slightly high satisfied
2. Engine working time sufficient for corn grinding	4.80	highly satisfied
3. Happiness of the family	5.00	highly satisfied
4. Improvement of life quality	5.00	highly satisfied
5. Good relationship with family and neighbors	5.00	highly satisfied
6. Gain new knowledge	5.00	highly satisfied
7. Decrease family expense	3.60	slightly high satisfied
8. Able to be a role model for people in the community	5.00	highly satisfied
9. Appreciation on the work of the authorities	5.00	highly satisfied
10. Overall appreciation	5.00	highly satisfied
Average	4.76	highly satisfied

<sup>1</sup> 1.00 - 1.80 = lowest satisfied; 1.81 - 2.60 = low satisfied; 2.61 - 3.40 = medium satisfied; 3.41 - 4.20 = slightly high satisfied; 4.20 - 5.00 = highly satisfied



Figure 2. Using biogas to supply small engine (6.5 hp) for grinding corn grain at highland farm

### สรุป

เครื่องยนต์ขนาด 6.5 แรงม้า (hp) ที่ดัดแปลงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการดูดเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดแบบ hammer mill ที่มีประสิทธิภาพ ควรใช้ชุดค้อนตีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว มีพูลเลย์ (pulley) หรือมู่เลย์ตัวขับที่ติดเครื่องยนต์ขนาด 2.5 นิ้ว ส่วนพูลเลย์ของชุดค้อนตี ใช้ขนาด 4 นิ้ว ซึ่งจะมีความเร็วรอบชุดค้อนตีไม่น้อยกว่า 2,000 รอบต่อนาที โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบดเมล็ดข้าวโพดเทียบกับการใช้น้ำมันเพียง 0.54 บาทต่ออกลิตรัมข้าวโพด ซึ่งแสดงว่า ก๊าซชีวภาพสามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่เข้าร่วมศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งช่วยให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และเป็นประโยชน์

### เอกสารอ้างอิง

Al Mamun, M.R. and S. Torii. 2015. Removal of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) from biogas using zero-valent iron. *Journal of Clean Energy Technologies* 3(6): 428-432.

Kristoferson, L. A. and V. Bokalders. 1991. *Renewable Energy Technologies: Their Applications in Developing Countries*. ITDG Publishing, London. 326 p.

Kulkarni, M.B. and P.M. Ghanegaonkar. 2019. Hydrogen sulfide removal from biogas using chemical absorption technique in packed column reactors. *Global Journal of Environmental Science and Management* 5(1): 155-166.

Landahl, G. 2003. *Biogas as Vehicle Fuel: A European Overview*. Trendsetter Report No. 2003:3. Stockholm Environment Administration, Stockholm. 51 p.

Persson, M. 2007. Biogas upgrading and utilization as vehicle fuel. pp. 59-64. *In: Proceedings of European Biogas Workshop: The Future of Biogas in Europe III*, University of Southern Denmark, Esbjerg, Denmark.

Songsee, O. 2012. Production of biogas as a renewable energy source for small farm engines. Final report. Ministry of Science and Technology, Bangkok. 77 p. (in Thai)

Steel, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. 666 p.



Tangtaweewipat, S., O. Songsee and B. Cheva-Isarakul. 2012. Diminishing of hydrogen sulfide from biogas for community use. Khon Kaen Agriculture Journal 40 (Suppl. 2): 201-204. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul and K. Puakchareon. 2020. Use of biogas from swine manure as a renewable energy to produce electricity in community of Highland Development Project using the Royal Project Model. Journal of Agriculture 36(3): 365-375. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul, P. Polperm and S. Chaimanee. 2011. Research and development on efficiency of biogas production for small farm holders in highland area. Final report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 88 p. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul, K. Puakchareon, W. Thantharak and K. Umetsu. 2019. Use of biogas as a renewable energy source for producing electricity on highland area. Khon Kaen Agriculture Journal 47 (Suppl. 2): 397-404. (in Thai)

---