เครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน โดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ

ANIMAL FEED MIXER WITH ROTATING DRUM USING BIOGAS ENERGY

ธีรพจน์ แนบเนียน

Teerapod Naebnean

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุนโดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน วิธีดำเนินการวิจัย ศึกษาปัญหากระบวนการผลิตอาหารสัตว์ แล้วทำการออกแบบโดยโครงสร้าง ประกอบด้วย ถังผสมขนาด 100 กิโลกรัม ใบกวนแบบริบบอนและมอเตอร์ส่งกำลังหมุนใบกวนและหมุนถัง ขนาด 0.5 แรงม้า จำนวน 2 ชุด อัตราทด 40:1 ผ่านเฟืองโซ่ ใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4 กิโลวัตต์ ปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์สันดาปภายในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ที่อัตราหมุนถัง 4 รอบต่อนาทีและใบกวน 15 รอบต่อนาที เวลาทำงาน 150 วินาที ได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายร้อยละ 29 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยมีภาระทางไฟฟ้า 100-1,000 วัตต์ พบว่า เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินมีประสิทธิภาพสูงกว่าก๊าซชีวภาพ เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องที่สร้างขึ้นขนาด 746 วัตต์ พบว่า เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2,885 รอบต่อนาที 4.64 แรงม้า แรงบิด 11.33 นิวตันเมตร อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.036 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 0.43 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าร้อยละ 14.59 เมื่อจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพร้อยละ 100 จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 222 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 3.96 แอมแปร์ การทดสอบวัดค่าไอเสียจากเครื่องยนต์ พบว่า มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินโดยการเปรียบเทียบ ต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนเครื่องที่พัฒนาขึ้นและมูลค่าอาหารสัตว์ พบว่า ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 1.12 ปี ผลจากการวิจัยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดต้นทุนด้านแรงงาน

คำสำคัญ: เครื่องผสมอาหารสัตว์ ถังหมุน พลังงานก๊าซชีวภาพ

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Muang District, Nakhon Sawan Province 60000

corresponding author e-mail: teerapod.n@nsru.ac.th

Received: 18 June 2023; Revised: 24 October 2023; Accepted: 28 October 2023

DOI: https://doi.org/10.14456/lsej.2023.35

Abstract

This research aimed to design, construct, and test the animal feed mixer with a rotary rotating drum using biogas energy before analyzing the financial value. The research method was to study the problem of animal feed production process, and to design the structure consisting of a 100 kg mixing tank, a ribbon stirring, and 2 sets of 0.5 HP motors to drive the stirring and the rotating drum using biogas from pig feces fuel with a power engine of a 4kW generator, adjusting the carburetor of an internal combustion engine. The results showed that with the coefficient of variation rotation drum rate of 4 rpm and stirring 15 rpm time 150 seconds, the coefficient of variation was 29%. Based on the results of the engine performance with an electrical load of 100-1,000 W, it was found that gasoline fuels were more efficient than biogas. When tested with a 746 W machine engine speed of 2,885 rpm, 4.64 HP torque, 11.33 Nm, the fuel consumption rated of 0.036 kg/min, the specific fuel consumption was 0.43 kg/kW-h, and the electrical performance was 14.59%, when biogas fuel supply rated at 100%, it got the voltage 222 V and the current 3.96 A. The engine exhaust emission test found that the value did not exceed the air quality standards. The value for money comparison of the electrical cost, material costs, machine cost and feed value payback period were 1.12 years. The research results will increase the efficiency of animal feed production, reduce electricity consumption, and reduce labor costs.

Keywords: Animal feed mixer, Rotating drum, Biogas energy

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกสินค้าด้านปศุสัตว์เป็นอันดับต้นของโลก ฟาร์มปศุสัตว์ภายในประเทศมีจำนวนมาก เช่น ฟาร์มสุกร ฟาร์มไก่ และฟาร์มวัว เป็นต้น การส่งออกสินค้าปศุสัตว์ของไทย ช่วงปี 2565 มีมูลค่ารวม 274,822 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อน 19.60% มีปริมาณส่งออกกว่า 2.42 ล้านตัน (Bureau of livestock standards and certification, 2022) โดยเฉพาะการตลาดของเนื้อสุกรและผลิตภัณฑ์แปรรูปมีความต้องการสูงจึงมีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรจำนวนมาก จากการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการเลี้ยงสุกรพบว่าประสบปัญหาด้านต้นทุนค่าอาหารสัตว์สูง เนื่องจากเป็นอาหารสำเร็จรูป จึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการลดต้นทุนเพื่อให้เกษตรกรสามารถประกอบอาชีพอยู่ได้ การผลิตอาหารสัตว์เองจึงเป็นแนวทางหนึ่งแต่ต้องมีเครื่องผสมอาหารสัตว์และต้องมีความรู้ในการประกอบสูตรอาหาร ปัจจุบันนักวิจัยได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์ ศึกษา

ความเร็วรอบใบกวนและระยะเวลาการผสมเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย การเลือกใบกวนที่เหมาะสมช่วยให้เวลาการทำงานลดลงและประหยัดพลังงาน (Makange et al., 2016; Gosa Bekele, 2020) จากการศึกษาปัญหาและแนวคิดจากนักวิชาการพบว่าการผสมอาหารสัตว์มีต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าสูงเพราะส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรเป็นหลัก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์โดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการนำของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการผลิตและใช้พลังงานก๊าซชีวภาพอย่างแพร่หลายในฟาร์มปศุสัตว์ (Abanades et al., 2021) มีนักวิชาการได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบว่าสามารถทำงานได้ปกติแต่สมรรถนะของเครื่องยนต์จะลดลงทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนของก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงหลัก (Yamasaki et al., 2013; Awogbemi et al., 2015) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงเบนซินกับก๊าซชีวภาพ มีการดัดแปลงระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ พบว่าเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน โดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยจะเป็นแนวทางให้เกษตรกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์ ลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ทำให้เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน

1.1 เครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุนโครงสร้างประกอบด้วย ถังผสมขนาด 100 กิโลกรัม ทำจากแผ่นเหล็ก ใบกวนแบบริบบอน ชุดเกลียวผสมทำจากแผ่นเหล็กม้วนเป็นเกลียวยึดติดกับเพลามอเตอร์ส่งกำลังหมุนใบกวนและหมุนถัง ขนาด 0.5 แรงม้า จำนวน 2 ชุด อัตราทด 40:1 ผ่านเฟืองโซ่ แสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1)

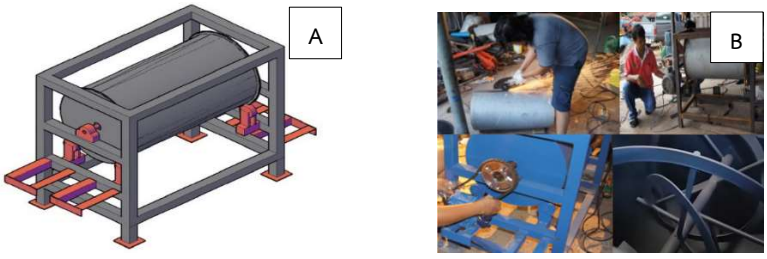

Figure 1 Design and construct of Animal feed mixer with rotating drum (A) Design and (B) Construct

1.2 ระบบพลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร จ่ายเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์เบนซินที่เป็นต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4 kW ปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยการเจาะรูเพิ่มเพื่อจ่ายเชื้อเพลิงทั้งระบบน้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพ ใช้วาล์วในการวัดอัตราการไหลและควบคุมการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศป้อนให้เครื่องยนต์ผ่านทางท่อไอดีผสมกับอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เครื่องวัดแรงโดยใช้ Load cell วัดแรงกดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อหาแรงบิด เครื่องวัดความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เครื่องวัดความดันและอัตราการไหลของปริมาณก๊าซชีวภาพ และเครื่องวัดการเผาไหม้สำหรับวัดก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์

1.3 การคำนวณทางเทคนิค (Deogirikar et al., 2022; Tomita et al., 2022)

$$P = F_L \times V_m \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์ (W)

F_L คือ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนวัสดุ (N)

V_m คือ ความเร็วเฉลี่ยของวัสดุที่ถูกลำเลียง (m/s)

$$Hu_{act} = Vo_{CH4} \times \left(\rho_{CH4,\,act} \times Hu_{std}\right) \quad (2)$$

$$\rho_{CH4,\,act} = \rho_{CH4,\,std} \times \left(\frac{Pr_{act}}{Pr_{std}}\right) \times \left(\frac{T_{std}}{T_{act}}\right) \quad (3)$$

เมื่อ Hu_{act} คือ ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้งาน (kJ/m^3 ของก๊าซชีวภาพ)

Vo_{CH4} คือ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อก๊าซชีวภาพ 1 หน่วยปริมาตร

$\rho_{CH4,\,act}$ คือ ความหนาแน่นก๊าซมีเทนใช้งาน (kg/m^3)

$\rho_{CH4,\,std}$ คือ ความหนาแน่นก๊าซมีเทนที่ความดันมาตรฐาน (Pr_{std}) 1,013 mbar และอุณหภูมิมาตรฐาน (T_{std}) 273 K ดังนั้น $\rho_{CH4,\,std}$= 0.72 kg/m^3

Pr_{act} คือ ความดันรวมในถังหมัก (mbar)

T_{act} คือ อุณหภูมิภายในถังหมัก (K)

Hu_{std} คือ ค่าความร้อนของก๊าซมีเทนที่ความดัน 1,013 mbar หรือเท่ากับ 50,000 kJ/kg ของก๊าซมีเทน

$$fc = \frac{(Po_r \times 3600)}{(Eff_{eng} \times Hu_{act})} \quad (4)$$

เมื่อ fc คือ อัตราความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ (m^3 ก๊าซชีวภาพ/h)

Po_r คือ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ (kW)

Eff_{eng} คือ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ (กำหนดที่ 25%)

$$Pm = Po_r \times Eff_v \quad (5)$$

เมื่อ Pm คือ กำลังที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (kW)

Eff_v คือ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (กำหนดที่ 98%)

$$\eta = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\text{ความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิง}} \quad (6)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (%)

$$CV = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (%)

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

2. การทดสอบการทำงานเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน

2.1 การทดสอบอัตราการหมุนของถังผสมอาหารที่เหมาะสม

2.2 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

2.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

2.4 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

2.5 การทดสอบวัดค่าไอเสีย

3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

ระยะเวลาคืนทุน (PBP) = ต้นทุนการสร้างเครื่อง/ผลประหยัดสุทธิ (8)

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน

1.1 เครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน

จากการออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน โดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ มีส่วนประกอบด้วยหลัก ได้แก่ ถังผสมแบบหมุนขนาด 100 กิโลกรัม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4 kW และบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร แสดงดังภาพที่ 2 (Figure 2)

1.2 ระบบพลังงานก๊าซชีวภาพ

การวิจัยนี้ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรบ่อหมักขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ ซึ่งค่าความร้อนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ สำหรับค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพสามารถหาได้จากสมการ (2) เมื่อปริมาณก๊าซมีเทนต่อก๊าซชีวภาพ 1 หน่วยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 60% (โดยปริมาตร) ค่าความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ความดันมาตรฐาน (273 K, 1,013 mbar) คือ 0.72 kg/m^3 สมการ (3) และค่าอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพที่วัดได้จริงเท่ากับ 33 °C (306 K) ดังนั้นค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของก๊าซมีเทนที่วัดได้จริงมีค่า ดังนี้

$\rho_{CH4,\ act}$ = 0.72x(1,138/1,013)x(273/306)

= 0.719 kg/m^3 ของก๊าซมีเทน

Hu_{act} = 0.6x0.719x50,000

= 21,570 kJ/m^3 ของก๊าซชีวภาพ

จากค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 21,570 kg/m^3 จะได้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.99 kWh ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4 kW

Figure 2 Animal feed mixer with rotating drum

2. ผลการทดสอบการทำงานเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน

2.1 ผลการทดสอบอัตราการหมุนของถังผสมอาหารที่เหมาะสม

การศึกษาอัตราการหมุนของถังผสมอาหารที่เหมาะสม ทำได้โดยพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบภายในถัง ให้มีการกระจายตัวทั่วถังผสม ซึ่งการศึกษาจะเปรียบเทียบอัตราการหมุนถังผสมอาหารที่ความเร็วรอบ 3-5 รอบต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ การพลิกตัวและกลับตัวไม่ดีการกระจายตัวไม่ทั่วถังผสม การทำงานค่อนข้างช้าส่งผลให้การผสมอาหารต้องใช้เวลานาน ที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบจะกระเด็นไปตามผนังของถังผสม การผสมให้เข้ากันใช้เวลานานและใช้พลังงานสูง ขณะที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที วัตถุดิบมีการพลิกตัวและกลับตัวให้การผสมเข้ากันดี มีการเหวี่ยงไปรอบ ๆ ถังผสม ซึ่งการกระทำดังกล่าวช่วยให้วัตถุดิบมีการกระจายมากขึ้นระยะเวลาการทำงานลดลงประสิทธิภาพการผสมอาหารค่อนข้างสูง ดังนั้นอัตราการหมุนของถังผสมที่เหมาะสมคือ 4 รอบต่อนาที

2.2 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผสมในระยะเวลาที่แตกต่างกัน วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด กากถั่วเหลือง ปลาป่นและวัสดุทดสอบน้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม วัสดุทดสอบใช้ลูกปัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 5,000 เม็ด เป็นตัวแทนการกระจาย เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์และเครื่องวัดความเร็วรอบ

จากนั้นทดสอบการผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน ทำการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ใบกวน ซึ่งใช้ความเร็วรอบใบกวน 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ 6 ตำแหน่ง ที่ความลึกจากผิววัตถุดิบ 10 เซนติเมตร โดยเก็บที่เวลา 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 และ 300 วินาที ตามลำดับ จากนั้นทำการนับลูกปัดที่ได้ในแต่ละตำแหน่งแล้วนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ผลการทดสอบพบว่า อัตราการหมุนของถัง 4 รอบต่อนาที ความเร็วใบกวน 15 รอบต่อนาที เวลาทำงาน 150 วินาที การผสมได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 29% ซึ่งกำหนดให้มีค่าต่ำกว่า 30% เป็นเกณฑ์ในการผสมตามชนิดของวัตถุดิบ ดังตารางที่ 1 (Table 1) สำหรับการทดสอบสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแต่ละความเร็วรอบ แสดงดังภาพที่ 3 (Figure 3) และตัวอย่างของวัตถุดิบที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4 (Figure 4)

Table 1 Coefficient of variation

Speed (rpm) / Time (Sec)	Coefficient of variation (%)									
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
5	61	53	42	40	34	33	28	27	24	24
10	63	46	38	35	32	29	28	26	22	21
15	66	57	40	32	29	27	26	23	22	19

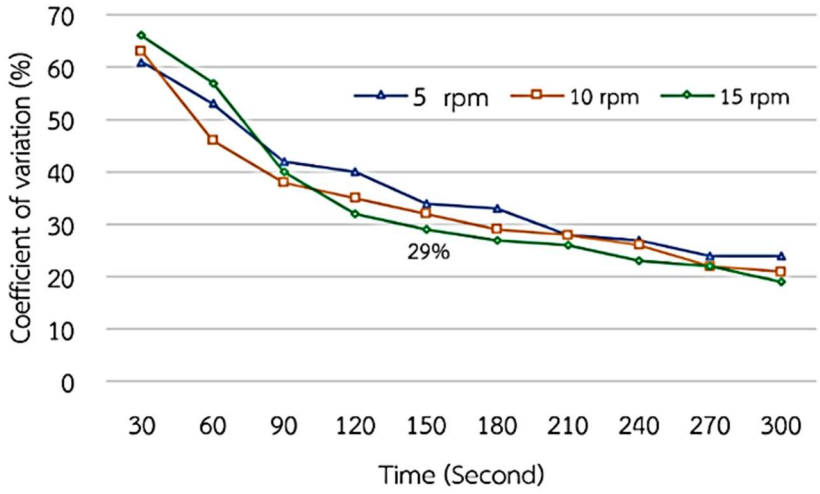

Figure 3 Coefficient of variation (A) 5 rpm (B) 10 rpm and (C) 15 rpm

(A) (B) (C)

Figure 4 Amount of product feed (A) 90 seconds (B) 120 seconds and (C) 150 seconds

2.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจ่ายภาระทางไฟฟ้า 100-1,000 วัตต์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย เครื่องวัดแรงเพื่อใช้ในการหาแรงบิด เครื่องวัดความเร็วรอบ และเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า ค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะแปรผันตามภาระที่ได้รับ ค่าแรงม้าและค่าแรงบิด ที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินจะต่ำกว่าก๊าซชีวภาพ เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องผสมอาหารสัตว์ที่สร้างขึ้น ภาระไฟฟ้า 746 วัตต์ เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพจะได้ค่าความเร็วรอบ 2,870 รอบต่อนาทีและ 2,885 รอบต่อนาที ค่าแรงม้า 4.78 แรงม้า และ 4.64 แรงม้า ค่าแรงบิด 12.03 นิวตันเมตร และ 11.33 นิวตันเมตร อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.026 กิโลกรัมต่อนาทีและ 0.036 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 0.65 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงและ 0.43 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง การทดสอบประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพ ทำการทดสอบในความเร็วรอบที่ใช้งานจริง โดยหาอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 17.26% และ 14.59% ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะเชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ การทดสอบมีการปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยการเจาะรูที่คาร์บูเรเตอร์เพิ่มเพื่อให้ใช้ได้ทั้งเชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพและใช้วาล์วในการควบคุมส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพทำงานสูงสุด ดังนั้นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในการเดินเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้ปกติ ทำให้ช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเบนซิน รวมทั้งยังเป็นการทดแทนเชื้อเพลิงพาณิชย์ได้ แสดงดังภาพที่ 5 (Figure 5)

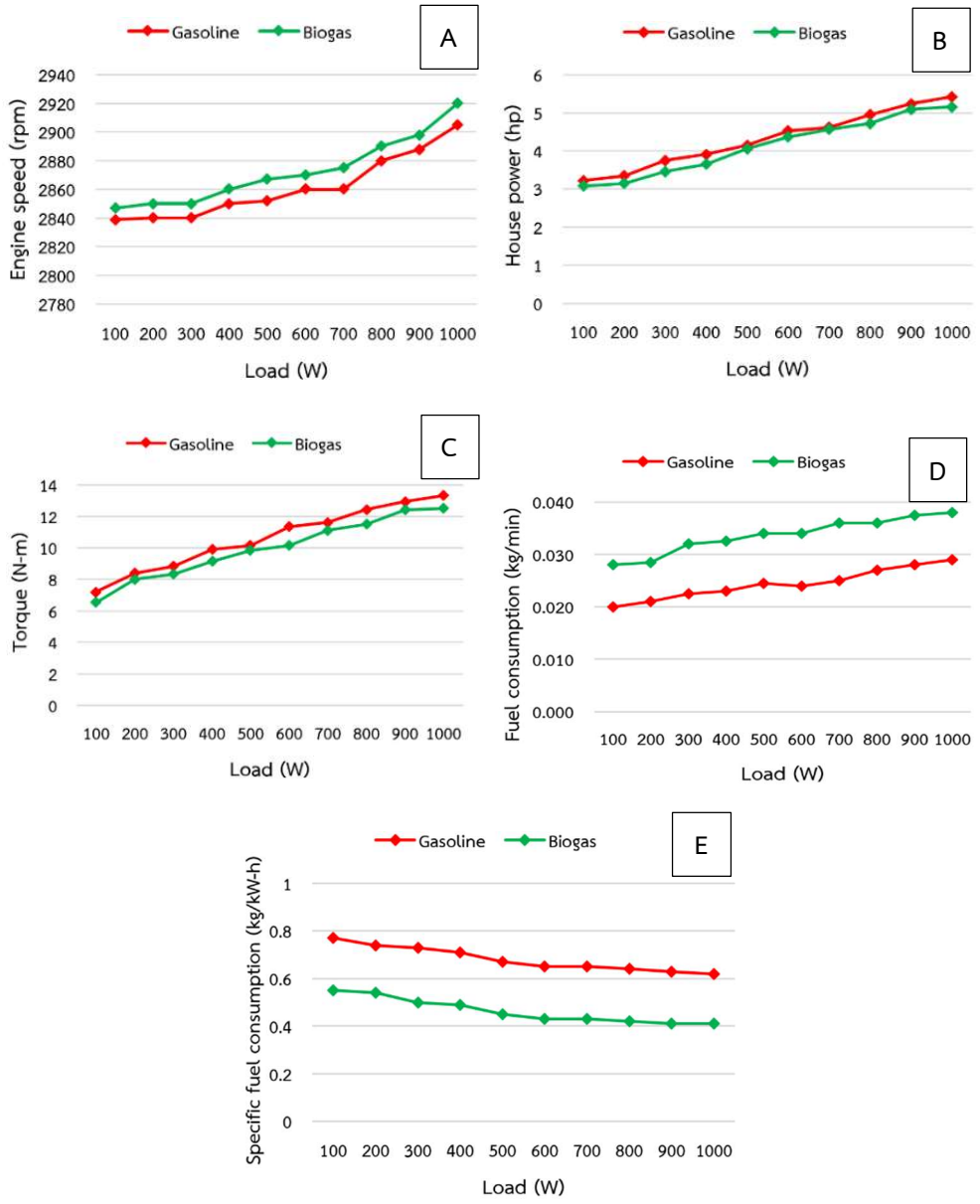

Figure 5 The result of engine performance

(A) Engine speed (B) House power (C) Torque (D) Fuel consumption and (E) Specific fuel consumption

2.4 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

การทดสอบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพกับน้ำมันเบนซิน ที่อัตราส่วน 0/100, 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 80/20, 100/0 โดยปริมาตร ทำการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และบันทึกการทำงานของเครื่องยนต์ พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ในอัตราที่มีส่วนผสมของก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นจะมีแรงดันไฟฟ้าตกลงเล็กน้อยและกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ปกติ ซึ่งสาเหตุมาจากประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง เมื่อจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 100% จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 222 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 3.96 แอมแปร์ แสดงดังภาพที่ 6 (Figure 6)

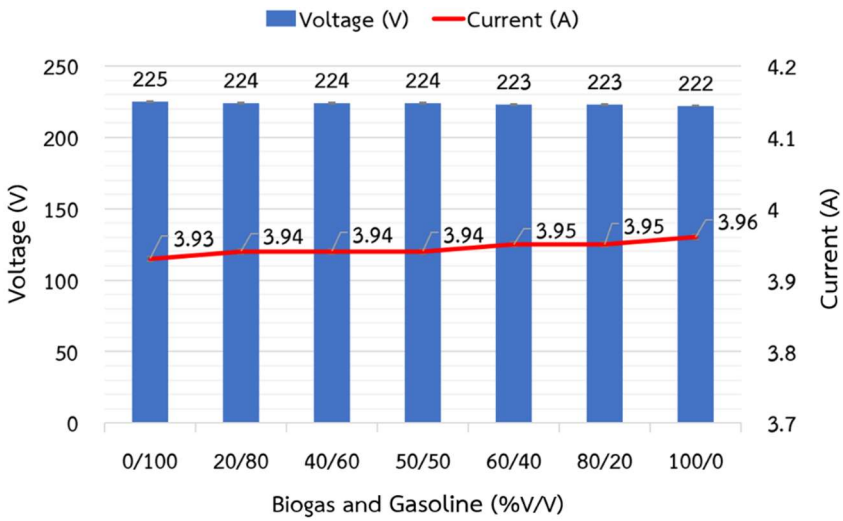

Figure 6 The result of voltage and current

2.5 ผลการทดสอบวัดค่าไอเสีย

การทดสอบวัดค่าไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ โดยทำการเปรียบเทียบการใช้น้ำมันเบนซินกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ เครื่องวัดการเผาไหม้สำหรับวัดก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ วิเคราะห์การเผาไหม้ ตรวจวัดค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ ค่าคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ค่าไฮโดรคาร์บอน ค่าไนโตรเจน ค่าออกซิเจน และค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) พบว่า ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ของก๊าซชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันเบนซินเนื่องจากมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า แต่จะมีค่าคาร์บอนไดออกไซด์และค่าไฮโดรคาร์บอนสูงเนื่องจากใช้กระบวนการหมักและเมื่อทำการเผาไหม้จะมีค่าสูงขึ้น ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรใน 24 ชั่วโมง เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอากาศ แสดงดังตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 The concentration of exhaust gas

Fuel used	CO (%Vol)	CO_2 (%Vol)	HC (ppm)	N_2 (%Vol)	$PM_{2.5}$ (μg/m^3)
Gasoline	6.14	3.35	425	92.16	9
Biogas	5.93	4.72	531	93.54	10

3. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยพิจารณาความต้องการการผลิตอาหารสัตว์ของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรใน 1 วัน จำนวน 100 กิโลกรัม ดังนั้น จึงศึกษาที่การผสมอาหารสัตว์ 1 รอบการทำงาน ปริมาณอาหารสัตว์ที่ผลิตได้ 100 กิโลกรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบเดิม จะมีต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด กากถั่วเหลือง และปลาป่น รวมเป็นเงิน 3,000 บาทต่อวัน เทียบกับมูลค่าอาหารสัตว์ 3,100 บาทต่อวัน และต้นทุนเครื่องที่พัฒนาขึ้น 45,000 บาท โดยพิจารณาที่ความสามารถในทำงานและปริมาณอาหารสัตว์ที่ผลิตได้ พบว่า ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 1.12 ปี แสดงดังตารางที่ 3 (Table 3)

Table 3 The result of value for money

Description	Quantity	unit
Cost of electricity	10.12	baht/day
Material cost	3,000	baht/day
Feed value	3,100	baht/day
Cost saving	3,100-3,000=100	baht/day
Total savings	(10.12+100)x365=40,193.8	baht/year
Machine cost	45,000	baht
Payback period	45,000/40,193.8=1.12	year

อภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุน ขนาด 100 กิโลกรัม การทำงานที่เหมาะสม คือ อัตราการหมุนถัง 4 รอบต่อนาทีและอัตราการหมุนใบกวน 15 รอบต่อนาที เวลาทำงาน 150 วินาที พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำงานลดลงเมื่อเทียบกับเครื่องผสมแบบเดิม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการออกแบบถังหมุนจะช่วยให้วัตถุดิบที่อยู่ด้านล่างของถังผสมถูกกลับขึ้นมาด้านบนทำให้มีการกระจายตัวเร็วขึ้น การใช้ใบกวนแบบริบบอนขณะที่เพลาหมุนจะทำให้ใบเกลียวหมุนซ้ายและขวา วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกันส่งผลให้การผสมมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Divagaran et al. (2021) ได้ศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์เครื่องผสมแบบริบบอน พบว่าใบกวนแบบริบบอนมีประสิทธิภาพสูงในการผสมวัตถุที่แห้งหรือของแข็ง และสอดคล้องกับ Abdel-Zaher & Douglas (2010) ได้ศึกษาการผสมอนุภาคของแข็งในถังหมุน พบว่าการหมุนจะทำให้วัตถุเกิดการกลับตัวและไหลตามแรงกระทำส่งผล

ให้การผสมมีการกระจายที่ดี การวิจัยนี้ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยดัดแปลงคาร์บูเรเตอร์ด้วยการเจาะรูสำหรับจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ศึกษาความเร็วรอบ แรงม้า แรงบิดและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพล้วนประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงประมาณร้อยละ 15 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพต่ำกว่าเบนซินส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง ปริมาณไอเสียของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพมีค่าน้อยกว่าเบนซินแต่ค่าคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงเนื่องจากมีอยู่ในบ่อหมักและเมื่อนำมาเผาไหม้จะยิ่งเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Yamasaki et al. (2013) ได้ศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ พัฒนาระบบควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ สอดคล้องกับ Feroskhan et al. (2021) และ Reddy et al. (2016) ได้ศึกษาปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินโดยการเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนเครื่องที่พัฒนาขึ้นและมูลค่าอาหารสัตว์ ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 1.23 ปี ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไม่มีต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า สอดคล้องกับ Abanades et al. (2021) ได้ศึกษาแนวคิดการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ผลิตไฟฟ้าแบบยั่งยืน เนื่องจากต้นทุนด้านพลังงานต่ำ สะดวกในการจัดเก็บและลดการปลดปล่อยก๊าซไอเสีย ผลจากการวิจัยนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์และลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าให้กับเกษตรกร ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปควรพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานก๊าซชีวภาพร่วมกับพลังงานทดแทนอื่นเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุนโครงสร้างประกอบด้วย ถังผสม ใบกวนแบบริบบอนและมอเตอร์ส่งกำลัง ใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรบ่อหมักขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร จ่ายเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4 kW ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย การผสมอาหารสัตว์ 100 กิโลกรัม ที่อัตราการหมุนถัง 4 รอบต่อนาทีและใบกวน 15 รอบต่อนาที เวลาทำงาน 150 วินาที ได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายร้อยละ 29 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยมีภาระทางไฟฟ้า 100-1,000 วัตต์ พบว่า ความเร็วรอบ แรงม้า แรงบิดและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะแปลผันตามภาระที่ได้รับ เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องผสมอาหารสัตว์ที่สร้างขึ้น ภาระไฟฟ้า 746 วัตต์ พบว่า ความเร็วรอบ 2,885 รอบต่อนาที แรงม้า 4.64 แรงม้า แรงบิด 11.33 นิวตันเมตร อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.036 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 0.43 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ร้อยละ 14.59 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 222 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 3.96 แอมแปร์ ผลการทดสอบวัดค่าไอเสียจากเครื่องยนต์ ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ของก๊าซชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) มีค่าไม่เกินมาตรฐาน

คุณภาพอากาศ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน เมื่อนำมาเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนเครื่องที่พัฒนาขึ้นและมูลค่าอาหารสัตว์ พบว่า ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 1.12 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์และเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Abanades S, Abbaspour H, Ahmadi A, Das B, Mehdi AE, Esmaeilion F, Haj Assad ME. et al. A conceptual review of sustainable electrical power generation from biogas. Energy Science & Engineering 2021;10(2):630-655.

Abdel-Zaher M, Douglas AW. Fuerstenau. Mixing–demixing of particulate solids in rotating drums. International Journal of Mineral Processing 2010;95(1-4):40-46.

Awogbemi, Omojola, Adeyemo, Babatunde S. Development and testing of biogas-petrol blendas an alternative fuel for spark ignition engine. International Journal of Scientific & Technology Research 2015;4(8):179-186.

Bekele G. Development of livestock feed mixer. International Journal of Scientific and Research Publications 2020;10(10):481-486.

Bureau of livestock standards and certification. Annual report. Bangkok: Jaransanitwong Printing; 2022.

Deogirikar AA, Dhande KG, Mohod AG. Farm Machinery and Power. Aurangabad: Shri Rajlaxmi Prakashan; 2022.

Divagaran P, Umashankar M, Gokul K, Mariyappan V, Muthu K. Design and analysis of u-shaped ribbon blender with screw conveyor. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT) 2021;9(3):4526-4534.

Feroskhan M, Thangavel V, Subramanian B, Sankaralingam RK, Ismail S, Chaudhary A. Effects of operating parameters on the performance, emission and combustion indices of a biogas fuelled HCCI engine. Fuel 2021;298:799-805.

Makange NR, Parmar RP, Sungwa N. Design and fabrication of an animal feed mixing machine. Advances in Life Sciences 2016;5(9):3710-3715.

Reddy KS, Aravindhan S, Mallick K. Investigation of performance and emission characteristics of a biogas fuelled electric generator integrated with solar concentrated photovoltaic system. Renewable Energy 2016;92:233-243.

Tomita E, Kawahara N, Azimov U. Biogas combustion engines for green energy generation. New York: Springer; 2022.

Yamasaki Y, Kanno M, Suzuki Y, Kaneko S. Development of an engine control system using city gas and biogas fuel mixture. Applied Energy 2013;101:465-474.