



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม

The Design and Development of Sugarcane Shoot Tip and Corn for Dairy Cows

สุกัญญา ทองโยธี^{*1} อัสพรรัชช์ น้ำทรง¹ ชัยณรงค์ หล่มช่วงคำ² และ ชวนันท์ ทองโยธี³Sukanya Thongyothee^{*1} Apsornrat Numsong¹ Chainarong Lomchangkum² and Chawanant Thongyothee³¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ² สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ ³ สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

¹ Agricultural Machinery Engineering ² Food and Biological Engineering ³ Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Isan, Campus Khonkaen, Khonkaen Province 40000

Received: 29 September 2023

Revised: 19 March 2024

Accepted: 20 March 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

ผลการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม มีข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอ้อยพันธุ์มรกตและข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ ได้ถูกนำมาเป็นเงื่อนไขในการศึกษาเครื่องสับใช้เครื่องยนต์ดีเซลไถเดินตามเป็นเครื่องต้นกำลัง โดยความเร็วรอบที่เหมาะสม 700 รอบ/นาที ที่ระดับการป้อน 3 กิโลกรัม มีขนาดความยาวผ่านการสับ 2.5 เซนติเมตร ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 607.10 และ 685.59 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 5 และ 5.7% ประสิทธิภาพการสับ 95 และ 94.3% ซึ่งการนำเครื่องสับยอดอ้อยไปใช้งานจริงจะสามารถช่วยลดต้นทุนแรงงาน ประหยัดเวลาในการเพิ่มผลผลิตได้จุดคุ้มทุน 47,825.55 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 324,266.78 บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 22 วัน เมื่อนำไปรับจ้างสับต้นข้าวโพดจะได้จุดคุ้มทุน 46,566.98 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 378,895.82 บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 19 วัน

คำสำคัญ: ยอดอ้อย-ต้นข้าวโพด อัตราการป้อน เครื่องสับ

Abstract

The purposes of design of sugarcane shoot tip and corn dairy cows were to present in this article which provides basic information on the physical characteristics of Marcos and sugarcane varieties Suwan corn varieties. Have been used as a condition in the design of a power sowing machine using a power walking tractor. By testing for the optimum speed 700 revolution per minute at feed rate of 3 kilogram, the size after chopped was 2.5 centimeters, the capability in chopping is 607.10 kilograms per hour for the sugarcane shoot tip and is 685.59 kilograms per hour for the corn. The percentages of loss for sugarcane shoot tip and corn are 5 and 5.7 percents respectively. The chopping performance for sugarcane shoot tip and corn are 95 and 94.3 percent respectively. The use of the proposed cutting machine can help reduce labor costs. Save time to increase productivity, it will give the break even point at 47,825.55 kilograms per year with a profit of 324,266.78 baht per year. The payback period is 22 days, and when taking the machine for corn chopping, it will give the break even point at 46,566.98 kilograms per year with a profit of 378,895.82 baht per year and the payback period is 19 days.

Keywords: sugarcane-corn: feeding rates: cutting machine

*ติดต่อ: sukanya.tn@rmuti.ac.th, 081-444-0833

1. บทนำ

อ้อยและข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยสถานการณ์พื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2565/2566 มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยรวมทั้งสิ้น 11,398,823 ไร่ เพิ่มขึ้นจำนวน 376,475 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 3.42 ทำรายได้ให้กับเกษตรกรและผลิตอ้อยได้เป็นลำดับที่ 4 รองลงมาจากบราซิล อินเดีย และจีน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกอ้อย 4,950,053 ไร่ เพิ่มขึ้นจำนวน 288,258 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.18 ของพื้นที่การเพาะปลูก จังหวัดขอนแก่นมีพื้นที่ในการเพาะปลูกอ้อยประมาณ 651,492 ไร่ ผลผลิต 10.75 ตัน/ไร่ ได้ปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงาน

5,957,877 ตัน สำหรับข้าวโพดเนื้อที่ในการเพาะปลูกตามภูมิภาค 13,685,870 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 13,432,776 ไร่ ผลผลิต 9,796,708 ตัน จังหวัดขอนแก่นมีเนื้อที่ในการเพาะปลูก 10,475 ไร่ ผลผลิต 7,687 ตัน [1]

ยอดอ้อยและต้นข้าวโพดสดที่เก็บมาจากไร่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีมีโปรตีนหยาบ 5% และพลังงาน 1,500,000 แคลอรี/กก. มีเยื่อใยค่อนข้างสูงทำให้ปริมาณการกินอาหารของสัตว์ลดลง สัตว์จะเลือกกินแต่ใบก่อนส่วนปลายของลำต้นอ่อน ที่มีลักษณะแข็ง ยังคงเหลืออยู่จำนวนมากทำให้เกิดการสูญเสีย ส่วนยอดอ้อยและต้นข้าวโพดสดจะนำมาสับด้วย

เครื่องจักร เช่น เครื่องสับหญ้าเนเปียร์ ซึ่งไม่สามารถสับได้ในปริมาณมาก และขนาดหลังการสับด้วยเครื่องจะไม่ได้ขนาดตามที่เกษตรกรต้องการ มีอัตราการป้อนไม่ต่อเนื่องเกิดการติดๆ ขัดๆ ขณะป้อนจึงนิยมใช้แรงงานคนในการสับ ซึ่งสามารถสับยดอ้อยและต้นข้าวโพดได้ตามขนาดที่ต้องการแต่จะใช้เวลานานในการสับ [2] ซึ่งขนาดของยดอ้อยและต้นข้าวโพดที่เกษตรกรสับได้จะยาวประมาณ 3-5 ซม. ซึ่งสัตว์กินได้ง่ายทุกส่วนทำให้เกิดการสูญเสียร้อยละ 10-15 แต่ขนาดมาตรฐานการย่อยอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถย่อยได้ดีคือ 2-3 ซม. โดยเฉพาะโคนมสามารถให้น้ำนมปริมาณเพิ่มมากขึ้นและมีคุณภาพขึ้นดี [3]

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวทางการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เพื่อนำไปออกแบบทดสอบและประเมินผลชุดสับย่อยยดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนมและหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการสับลดขนาดผลผลิตทางการเกษตรประเภทเยื่อใยให้สูงขึ้นและลดต้นทุนการผลิต (size reduction equipment of fibrous materials) โดยศึกษาออกแบบชุดลูกกลิ้งในการป้อนให้มีความต่อเนื่อง, ชุดใบมีดสับและความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่องสับยดอ้อยและต้นข้าวโพด ปัจจุบันได้มีการศึกษาเครื่องสับเพื่อนำมาใช้ในการเกษตรและการแปรรูปวัตถุดิบ เช่น ปี พ.ศ.2551 [4] ได้ทำการศึกษาคู่มือเครื่องสับยดอ้อยเพื่อลดขนาดไปเป็นส่วนผสมอาหารหยาบ โดยมีชุดป้อนสองลูกหมุนเข้าหากันที่ความเร็วรอบต่างกันป้อนได้เพียงยดอ้อยชนิดเดียวเท่านั้น จึงไม่สามารถทำงานได้ตลอดปี มีการส่งกำลังด้วยชุดสายพาน ผลการทดสอบเครื่องยนต์ต้นกำลังได้ความเร็วรอบที่

เหมาะสม 700 รอบ/นาที สามารถสับยดอ้อยได้ขนาด 4-5 ซม. ความสามารถในการทำงาน 383.84 กก./ชม. ประสิทธิภาพการทำงาน 80% เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 8% ต่อมาในปีเดียวกัน [5] ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับไม้ขนาดเล็กเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลในระดับชุมชน โดยได้ออกแบบให้เครื่องสับไม่มีสมรรถนะกำลังการผลิตเฉลี่ย 8.8 ตัน/ชม. ใช้มอเตอร์ขนาด 30 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ใช้ล้อหมุนสับไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 ซม. หนา 10 ซม. ความเร็วรอบในการสับ 900 รอบ/นาที จำนวนใบมีด 6 ใบ ขนาดใบมีดกว้าง 15 ซม. ยาว 25 ซม. หนา 2 ซม. ได้ทดสอบกับไม้โตเร็วจำนวน 2 ชนิด คือ ไม้กระถินและไม้มะม่วง พบว่ามีสมรรถนะการผลิตเฉลี่ย 5.36 และ 6.19 ตัน/ชม. ตามลำดับ และมีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 20.34 กิโลวัตต์ โดยสามารถสับไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 6 นิ้ว ความยาวของไม้ 70 ซม. และมีระยะเวลาคั่นทุน 3 เดือน ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 [6] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับย่อยใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยออกแบบลักษณะการสับย่อยแบบใบมีดหมุนสับ จำนวน 15 ใบ ปลายใบมีดมีลักษณะโค้งงอ ความเร็วรอบในการสับ 2,416 รอบ/นาที มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า วัสดุที่ใช้ทดสอบได้แก่ ใบอ้อย ใบไม้ ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยศึกษาสมรรถนะการทำงานและการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตผลการทดสอบพบว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบใบอ้อย ใบไม้ ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีสมรรถนะการผลิตเฉลี่ย 52.72 69.90 49.65 88.34 กก./ชม. ตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.017 0.007 0.072 และ

0.005 kWh/kg. ตามลำดับ [7] ได้ศึกษางานวิจัยเครื่องสับย่อยต้นสาคุ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะการได้นื้อสาคุย่อยที่ชาวบ้านใช้วิธีในการปอกเปลือกและย่อยแบบภูมิปัญญาชาวบ้านกับเครื่องย่อยต้นสาคุที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถย่อยต้นสาคุได้ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นสาคุ 30-60 ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่ชาวบ้านนำต้นสาคุมาใช้ประโยชน์และขณะปอกเปลือกต้นสาคุสามารถย่อยเนื้อของสาคุไปพร้อมกันได้ ใช้มอเตอร์หรือเครื่องยนต์เป็นต้นกำลังและเคลื่อนย้ายได้โดยการลากจูงกับรถยนต์ ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะได้นื้อสาคุจากการย่อยต้นสาคุ 3 แบบ คือ ย่อยด้วยแรงงานคน เครื่องที่ชาวบ้านใช้งานอยู่หรือมีจำหน่ายในท้องตลาด และเครื่องย่อยที่ออกแบบสร้างขึ้น โดยทำการย่อย 3 ช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น คือ 30-40 40-50 และ 50-60 ซม. พบว่าการย่อยต้นสาคุใน 3 ช่วงขนาดใช้เวลาในการย่อยต้นสาคุ 0.45 1 และ 1.30 นาที ได้ปริมาณสาคุ 40 57 และ 76 กก. ตามลำดับ

2. วิธีการวิจัย

2.1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดตัวอย่างการทดสอบ ดังรูปที่ 1 โดยหาความยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ความชื้นและความต้านทานแรงกดของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดก่อนการย่อย เพื่อนำค่ามาใช้ในการคำนวณและทดสอบหาค่าอัตราการใช้พลังงาน ใช้ตลับเมตรและเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยวัดจากจุดตัดถึงปลายของยอดอ้อยและต้นข้าวโพด จำนวน 90 ต้น จดบันทึกและหาค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 2



ก) ยอดอ้อย

ข) ต้นข้าวโพด

รูปที่ 1 ตัวอย่างทดสอบ



ก) วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดอ้อย



ข) วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้าวโพด



ค) การทดสอบความต้านทานแรงกดของยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

รูปที่ 2 การวัดขนาดทางกายภาพ และ ความต้านทานแรงกดของยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

สำหรับการทดสอบความชื้นอ้างอิงตามมาตรฐาน [8] นำตัวอย่างการทดสอบอบตู้อบลมร้อนและคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ 1 เพื่อเป็นแนวทางในการหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุก่อนสับ และเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของยอดกล้วยและต้นข้าวโพดในการเตรียมเป็นอาหารโคเนื้อ สมการการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$MC_{wb} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC_{wb} = ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)

W_i = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

W_f = น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

2.2. การออกแบบชุดสับย่อยยอดกล้วยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคเนื้อ ในการออกแบบเชิงวิศวกรรมหลักการทำงานจากเครื่องสับทั่วไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องสับ ดังนี้

1. ชุดโครงสร้าง ทำจากเหล็กฉาก 430 x 897 x 800 มม. โดยเชื่อมไฟฟ้าจับระดับฉากให้มีความแข็งแรงมั่นคง ไม่สั่นสะเทือนเกินไป

2. ชุดใบมีดสับย่อย ทำจากเหล็กกล้าจำนวน 2 ใบ ขนาด 250 x 68 x 141 มม. ใช้หลักการทำงานแบบวน 2 ใบมีด ปรับตั้งมุมเฉือนชุดใบมีด โดยทดสอบชุดใบมีดปรับมุมที่ 0 5 10 และ 15 องศา เพื่อหามุมในการสับที่สามารถสับได้ขนาด 2-3 ซม. ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดใบมีดสับย่อยและการปรับมุมของเครื่องสับยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

3. ลูกกลิ้งป้อน ทำจากเหล็กเพลากลมตันจำนวน 2 ลูก ซึ่งลูกบนลักษณะเป็นพื้นดาว รัศมี 43 มม. ลูกกลิ้งด้านล่างมีลักษณะผิวเรียบ เพื่อความคล่องตัวในการไหลของวัสดุ ขนาดความยาว 300 มม. รัศมี 25.4 มม. หมุนเข้าหากันด้วยความเร็ว 240 รอบ/นาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 5 มม. ลูกกลิ้งจะขับเคลื่อนส่งกำลังกับชุดใบมีดสับด้วยความเร็ว 500 - 1,000 รอบ/นาที เพื่อให้สามารถสับยอดกล้วยและต้นข้าวโพดให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยใช้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพิจารณาให้สัมพันธ์กับระยะห่างลูกกลิ้งและเพิ่มจำนวนการป้อนให้มีปริมาณมากขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุเกิดการอุดตันติดในชุดลูกหนีบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลูกกลิ้งบดขยี้และดันข้าวโพด

4. ชุดส่งกำลัง ใช้พูลเลย์ในการส่งถ่ายกำลังไปยังเฟืองขับซึ่งเป็นตัวทดกำลัง และความเร็วรอบจากเครื่องยนต์ต้นกำลังส่งกำลังไปยังพูลเลย์ของชุดบดใบมีดสับประกอบไปด้วยพูลเลย์ขนาด 3 นิ้ว 5 นิ้ว และ 18 นิ้ว เฟืองขนาด 30 ฟัน จำนวน 4 ตัว เพลาขนาด 1 นิ้ว และยาว 580 มม. ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 พูลเลย์และชุดเฟืองขับส่งกำลัง

5. รางบดขยี้และดันข้าวโพด ใช้เหล็กเรียบหนา 0.2 มม. ขนาด 400 x 600 x 150 มม. สามารถรองรับขยี้และดันข้าวโพดเข้าไป เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการปฏิบัติงาน

6. ฝาครอบใบมีด ใช้เหล็กแผ่นเรียบหนา 0.9 มม. มีขนาด 430 x 494 x 245 มม. ลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลมเพื่อไม่ให้ขยี้และดันข้าวโพดฟุ้งกระจายและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นในขณะที่ชุดใบมีดสับทำงาน

7. ช่องทางออก ใช้เหล็กแผ่นเรียบหนา 0.2 มม. ลักษณะลาดเอียงเพื่อให้วัสดุตกลงภาชนะรองรับและมีฝาปิดเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายซึ่งมีขนาด 220 x 600 x 150 มม. ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ส่วนประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ต้นกำลังกับเครื่องสับขยี้และดันข้าวโพด

2.3. ทดสอบและประเมินผลเครื่องสับย่อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม ที่อัตราการบ่อนความเร็วรอบที่เหมาะสมและการประเมินผลเครื่องสับโดยใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดสับ ให้ความเร็ว 500, 700 และ 1,000 รอบ/นาที โดยนำยอดอ้อยและต้นข้าวโพดซึ่งน้ำหนักมดละ 1 2 3 และ 4 กก. น้ำหนักละ 3 ตัวอย่าง ใช้ 4 อัตราการบ่อนในการสับตั้งแต่เริ่มบ่อนจนกระทั่งสับย่อยหมด จับเวลาแต่ละอัตราการบ่อนหลังการสับวัดความยาวยอดอ้อยและต้นข้าวโพด จากนั้นทำการคัดแยกวัสดุที่สับไม่ได้ขนาด แล้วนำไปซึ่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย บันทึกผลการทดสอบ โดยการคำนวณ ดังนี้

2.3.1. การคำนวณเพลาลงกำลังของชุดใบมีด ของโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้น, ความเค้นเฉือนของใบมีดสับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 3 และ 4 [9]

$$T = \frac{r \cdot J}{R} \quad (2)$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{GR \cdot \theta}{L} = \frac{16 \cdot TR}{J} \quad (4)$$

เมื่อ T = แรงบิดของเพลาลำมีดสับ (นิวตัน.เมตร)

J = โมเมนต์แรงเฉือนของพื้นที่ (เมตร⁴)

R = รัศมี (เมตร)

G = โมดูลัสของเหล็ก (นิวตัน/ตารางเมตร)

L = ความยาวของเหล็ก (เมตร)

τ = ความเค้นเฉือน (นิวตัน/ตารางเมตร)

2.3.2. ความสามารถในการทำงานจริง จากน้ำหนักยอดอ้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับต่อเวลาที่ใช้ในการสับ (กก./ชม.) [10] ดังสมการที่ 5

$$\text{ความสามารถในการทำงานจริง} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการสับ}} \quad (5)$$

2.3.3. การคำนวณประสิทธิภาพในการทำงาน คือ น้ำหนักยอดอ้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับย่อยต่อน้ำหนักก่อนการสับ (เปอร์เซ็นต์) ดังสมการที่ 6

$$\text{ประสิทธิภาพการทำงาน} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับ}}{\text{น้ำหนักก่อนการสับ}} \times 100 \quad (6)$$

2.3.4. เปอร์เซ็นต์วัสดุสับไม่ได้ขนาด คือ น้ำหนักยอดอ้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับย่อยไม่ได้ขนาดต่อน้ำหนักก่อนการสับ (เปอร์เซ็นต์) ดังสมการที่ 7

$$\% \text{ วัสดุสับไม่ได้ขนาด} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับไม่ได้ขนาด}}{\text{น้ำหนักก่อนการสับ}} \times 100 \quad (7)$$



รูปที่ 7 ลักษณะการบ่อนยอดอ้อยและต้นข้าวโพด

2.4. การทดสอบความสามารถการสับย่อยและต้นข้าวโพดของแรงงานคน โดยใช้แรงงานจำนวน 2 คน นำยอดอ้อยและต้นข้าวโพดใช้ในการทดสอบแบ่งเป็นมัดๆ และซึ่งน้ำหนักมดละ 4 กก. ทดสอบตัวอย่างละ 1 ครั้ง ทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสับเป็นตัวชี้วัด



รูปที่ 8 การสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดโดยใช้
แรงงานคน

2.5. การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ [11] เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย ระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุนในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมาใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของชุดทดสอบ และค่าเสียโอกาสของเงินทุน สำหรับต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการทำงาน ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับชุดทดสอบ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม ส่วนการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) จะได้ผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไป โดยคิดจากราคาในการลงทุนสร้างชุดทดสอบหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับ ดังสมการที่ 8

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (8)$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

ส่วนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point) จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการทำงานกับแรงงานคน ดังสมการที่ 9

$$BEP = \left(\frac{Fc}{B-VC} \right) \quad (9)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (ชม./ปี)

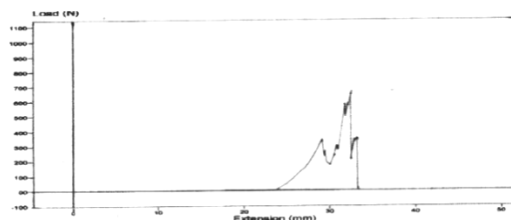
Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

B = อัตราการรับจ้าง (บาท/ชม.)

VC = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ชม.)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ วัดความยาวยอดอ้อยและต้นข้าวโพดจากจุดตัดถึงปลายใบ ชนิดละ 90 ตัวอย่าง ยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีความยาวเฉลี่ย 165.08 166.43 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.27 2.75 ซม. น้ำหนัก 285 283 กรัม และการทดสอบแรงกดของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดในห้องปฏิบัติการ พบว่าแรงที่ใช้กระทำต่อยอดอ้อย 688 N และต้นข้าวโพด 590 N และค่าความชื้นโดยการแบ่งพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างของยอดอ้อย 71.13% ต้นข้าวโพดสด 73.44% จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีค่าและขนาดไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 9 ค่าความต้านทานแรงเค้นการทดสอบจาก
ห้องปฏิบัติการ

3.2. ผลการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม ผลการออกแบบทดสอบเครื่องสับ ใช้ความเร็วรอบชุดใบมีดสับที่เหมาะสมเป็นเกณฑ์ ที่ความเร็ว 500 700 1,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน 1 2 3 4 กก. ป้อนวัสดุตั้งแต่เริ่มป้อนจนสับหมด ได้มุมใบมีดการสับที่เหมาะสม 15 องศา สามารถสับขาดได้ดีมีขนาดความยาวเฉลี่ย 2.5 และ 2.8 ซม. ตามต้องการ ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วรอบของลูกกลิ้งส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานรื่อง B เนื่องจากยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีการสับตามฤดูกาลไม่ได้ใช้งานตลอดปี จึงใช้ใบมีดที่ปรับมุมได้เพื่อใช้งานกับพืชชนิดอื่นๆ โดยใช้สกรูยึดติดกับโครงใบมีดสับเพื่อง่ายในการปรับเปลี่ยนมุม ซึ่งเวลาในการสับทั้ง 3 ความเร็วรอบมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยอดอ้อยและต้นข้าวโพดพบว่าต้นข้าวโพดมีเวลาในการสับ 14.86 วินาที ซึ่งเร็วกว่ายอดอ้อย 16.90 วินาที เนื่องจากต้นข้าวโพดไม่มีเส้นใยและลำต้นมีความแข็งน้อยกว่า จะได้ความเร็วรอบในการสับที่ 700 รอบ/นาที โดยการป้อนที่ 3 กก. ซึ่งมีความเร็วรอบในการสับที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่ 500 และ 1,000 รอบ/นาที จะได้ขนาดของยอดอ้อย และต้นข้าวโพด หลังการสับ 2.5 2.83 ซม. ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดความยาว เวลาในการสับต่อความเร็วรอบเครื่องต้นกำลังระดับต่างๆ ที่ปริมาณการป้อน 3 กิโลกรัม

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ขนาด (ซม.)		เวลาในการสับ (วินาที)	
	ยอดอ้อย	ต้นข้าวโพด	ยอดอ้อย	ต้นข้าวโพด
500	3.90	4.10	20.84	16.96
700	2.50	2.83	16.90	14.86
1,000	1.90	1.80	14.69	12.46



ก) ยอดอ้อย



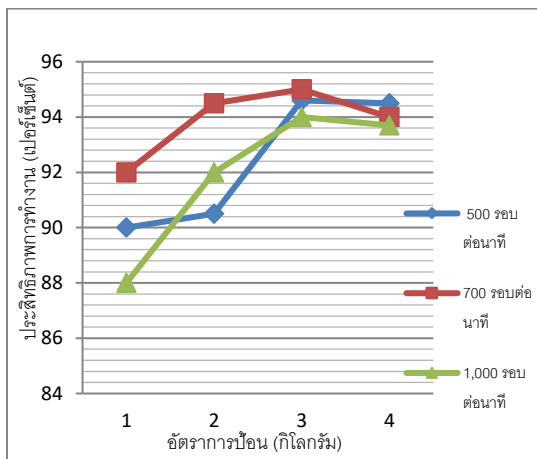
ข) ต้นข้าวโพด

รูปที่ 10 ลักษณะของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่ผ่านการสับที่มีความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที

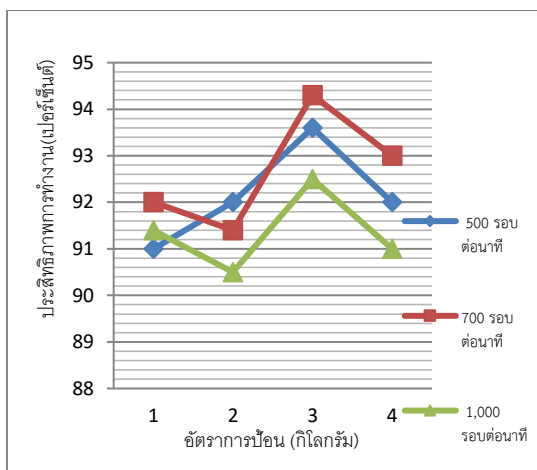
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่อัตราการป้อน 3 กก. ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที ได้ขนาดความยาวในการสับที่ 2-3 ซม. ซึ่งเป็นที่ต้องการของเกษตรกร ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 607.10 กก./ชม. และ 685.59 กก./ชม. โดยคัดแยกยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่สับไม่ได้ขนาด ดังรูปที่ 11 นำไปชั่งน้ำหนักได้เปอร์เซ็นต์ที่ไม่ถูกสับ 4% และ 5% เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 5% และ 5.7% ประสิทธิภาพการทำงานจริงในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด เป็นค่าการสับสูงสุด 95 % 94.30 % ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ลักษณะยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่สับไม่ได้ขนาดตามต้องการ



ก) ความสัมพันธ์อัตราการป้อนกับประสิทธิภาพการสับยอดอ้อย



ข) ความสัมพันธ์อัตราการป้อนกับประสิทธิภาพการสับต้นข้าวโพด

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนกับ

ประสิทธิภาพการสับยอดอ้อย (ก) และต้นข้าวโพด (ข)

3.3. ผลการทดสอบความสามารถการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดของแรงงานคน การสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดทดสอบความสามารถในการสับโดยใช้แรงงาน จำนวน 2 คน จำนวนของยอดอ้อยที่ใช้ในการทดสอบ โดยรวมเท่ากับ 4 กก. ในการสับแต่ละครั้ง

รวมประมาณ 200 กก. ในการสับแรงงานคนใช้เวลาเฉลี่ยในการสับยอดอ้อยเท่ากับ 21.1 20.90 วินาที/กก. สับได้ขนาดที่ 4.1 4.5 ซม. ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดในเวลา 1 ชม. สามารถสับได้ 170.60 178.90 กก./ชม. และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่การป้อนน้ำหนัก 4 กก. จำนวนยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 22.66 ต้น พบว่าเวลาที่ใช้ในการสับด้วยแรงงานคนเท่ากับ 90 วินาที (3.85 วินาที/กก.) สามารถลดระยะเวลาในการสับลงได้ 81.75% และความสามารถในการสับด้วยเครื่องสับเท่ากับ 2,051.14 กก./ชม. ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2

การเปรียบเทียบความสามารถการสับระหว่างเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดกับแรงงานคน

ความสามารถการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด	น้ำหนักยอดและต้นข้าวโพด (กก.)	จำนวนยอดและต้นข้าวโพดทดสอบ (ต้น)	เวลาที่ใช้สับ (วินาที)	ขนาดหลังการสับ (ซม.)	ความสามารถในการสับในเวลา 1 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย (กก./ชม.)
แรงงานคน	4	22.66	90	4.1	170.6
เครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด	4	22.66	7	4.78	2,051.14

3.4. ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ผลการคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงานจากต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน จากการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) แบบ Straight-line method DP โดยการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นโคนม มีต้นทุนในการสร้าง 17,000 บาท

ค่าเสื่อมราคา 1,530 บาท/ปี เมื่อนำไปรับจ้างสับยอด
อ้อย กิโลกรัมละ 0.50 บาท จะได้จุดคุ้มทุน 47,825.55
กิโลกรัม/ปี ได้กำไร 324,266.78 บาท/ปี ระยะเวลาคืน
ทุน 22 วัน และนำไปรับจ้างสับต้นข้าวโพด จะได้
จุดคุ้มทุน 46,566.98 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 378,895.82
บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 19 วัน

4. สรุป

ผลการศึกษาคำนวณสมบัติทางกายภาพของยอดอ้อย
และต้นข้าวโพด เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลและประเมินผล
เครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด พบว่าที่ความเร็ว
รอบ 700 รอบ/นาที ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด
คืออัตราการป้อนที่ 3 กก. มีขนาดความยาวเฉลี่ย 2.5
ชม. ความสามารถในการสับยอดอ้อย 607.10 กก./ชม.
ต้นข้าวโพด 685.59 กก./ชม. เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
5 และ 5.7% ประสิทธิภาพในการสับยอดอ้อย 95%
และต้นข้าวโพด 94.3% ซึ่งเป็นที่ยอมรับและมีความ
พึงพอใจของเกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา
ระดับชุมชนให้เหมาะสมกับการใช้งานสามารถช่วยลด
ต้นทุน ประหยัดเวลาในการเพิ่มผลผลิตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ใน
การออกแบบการทดสอบ สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ
ต่างๆ และขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่สละเวลาทุ่มเท
ทำงานจนแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. Agricultural Statistics of Thailand for the year 2022/2023 [Internet]. Bangkok: Office of Agricultural Economics. [cited 2023 December 20]. Available from: http://www.oae.go.th/oae_report/expot_import/export_result.php; 2023.
- [2] Agricultural Information Technology Center. Agricultural Cultivation Information for Thailand for the year 2022/2023. [Internet]. Bangkok: Agricultural Information Technology Center. [cited 2023 December 20]. Available from: http://www.oae.go.th/oae_report/expot_import/export_result.php; 2023.
- [3] Department of Animal Development. Cattle Feed. [Internet]. [cited 2022 December 20]. Available from: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php/2015-08-06-09-03-12/606-2004;2018>.
- [4] Uplee C, Lomchangkam C, Pinijaklang A. Design and construction of a sugarcane shredder for calf feed. [Bachelor's thesis, Faculty of Engineering], Khon Kaen: Faculty of

- Engineering, Rajamangala University of Technology Isan: Campus Khon Kaen, Khon Kaen Province; 2008.
- [5] Sirichat A, Santivorakorn P. Design and development of a wood chipper. Proceedings of the Conference on Technology and Innovation for Sustainable Development; 2008 January 28 - 29; Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen; 2008.
- [6] Sarakarn S, Santivorakorn R. Design and development of a leaf shredder and agricultural waste materials for agricultural purposes. Proceedings of the Thai Mechanical Engineering Network Conference, Network of Thai Mechanical Engineering, 24th edition; 2010 October 20-22; Ubon Ratchathani; 2010.
- [7] Khatthayanawat T, Jantaurai S. Subsoiling machine for taro roots [Internet]. [cited 2023 December 20]. Available from: http://rms.pnu.ac.th/rdbms/abstract/061117_114652a.pdf; 2016.
- [8] AOAC. Standard Methods for Food Analysis Volume I Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Edition. The Association, Arlington, VA; 2010.
- [9] Uengphakorn W, Thanadnang C. Machine Design 2. CEDUCATION: Bangkok; 2013.
- [10] Rueangpraya S. Seed planting and weed removing machine testing. UniEd Book: Bangkok; 2004.
- [11] Langkapin J. Economic analysis of the preliminary use of agricultural machinery. Document of knowledge in the field of Agricultural and Industrial Engineering, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi Province; 2023.