

เครื่องตัดตอซังข้าว

Rice Straw Stump Cutter

วรวิทย์ สุวรรณเรือง (Woravut Suwanreung)* ดร.จารุพล สุริยวานากุล (Dr.Jarupol Suriyawanakul)^{1**}

ดร.ณัฏฐิวัฒน์ พลดี (Dr.Nantiwat Poldee)*** ดร.เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Dr.Kiatfa Tangchaichit)****

ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ (Dr.Sujin Bureerat)*****

(Received: June 29, 2020; Revised: October 26, 2020; Accepted: October 28, 2020)

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องตัดตอซังข้าว ที่สามารถต่อพ่วงประกอบเข้ากับรถไถเดินตามได้ง่ายและพัฒนาวิธีการจัดเก็บฟางข้าวที่ได้จากการตัด ที่สามารถเก็บและตัดตอซังข้าวได้ในเครื่องเดียวกัน พร้อมกับลดความยาวของตอซังข้าวลงก่อนการไถกลบเตรียมดินปลูกข้าว โดยเครื่องตัดตอซังข้าวจะประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 11 สูบ ขนาด 11 แรงม้าพร้อมชุดเฟืองส่งถ่ายกำลัง ชุดเฟืองทอรอบ ชุดตัดตอซังข้าวและชุดเก็บฟางข้าวที่ได้จากการตัดตอซังข้าว ผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการตัดตอซังข้าวเท่ากับ 91.88 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วในการทำงานเท่ากับ 22.6 นาทีต่อไร่ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.24 ลิตรต่อไร่ ความสามารถในการคราดเก็บกองฟางเท่ากับ 66.2 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีสัดส่วนของฟางที่เก็บได้เป็น 75 เปอร์เซ็นต์และฟางที่ค้างเหลือเก็บไม่ได้เป็น 25 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องตัดตอซังข้าวพบว่ามีความคุ้มค่าใช้จ่ายผันแปร 21.14 บาทต่อไร่ ค่าต้นทุนเครื่องจักร 12,300 บาท เมื่อราคาฟางข้าวตามท้องตลาดเท่ากับ 25 บาทต่อ 20 กิโลกรัม ทำให้มีจุดคุ้มทุนในการทำงานตัดตอซังข้าวเท่ากับ 59.89 ไร่ต่อปี และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 9.4 วัน

ABSTRACT

The objectives of this research are to develop, construct, and test a rice stump cutter to be used with a power tiller. The cutting machine is expected to be capable of collecting all cut stumps as well as reducing their size. The machine is composed of a 11 HP single cylinder engine as a power source, a power transmission system, a cutting unit, and a stump collector. According to the field tests, it is found that the developed machine has the rate of successful cutting at 91.88%, the rate of cutting at 22.6 Min/Rai, the rate of fuel consumption at 0.24 liter/Rai, and the rate of stump collecting at 66.2 kg/Rai. It is found that the total amount of stump that can be kept by the machine is 75%. The economic analysis showed that the machine has 21.14 THB/Rai as variable cost, and 12,300 TBH for fixed cost. Based on the rice straw price at 25 THB per 20 kg, it is required to operate the machine approximately over 59.89 RAIs/year to meet the break-even point and 9.4 days to achieve the payback period.

คำสำคัญ: เครื่องตัดตอซังข้าว อุปกรณ์ต่อพ่วงรถไถเดินตาม การจัดการตอซังข้าว

Keywords: Rice straw stump cutter, Walking tractor implements, Rice stubble management

¹Corresponding author: jarupol@kku.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*****ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ตอซังข้าวหรือฟางข้าว ดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) เป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99:1 มีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมเฉลี่ย 0.51 0.14 และ 1.55 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุอาหารรองของพืชได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์เฉลี่ย 0.47 0.25 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ [1]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ตอซังข้าวขณะขึ้นต้นยังไม่ล้ม และ (ข) ตอซังข้าวที่ล้มแล้ว

(ที่มา http://www.1dd.go.th/menu_moc/POSTER/rice/rice.htm)

เกษตรกรที่เตรียมพื้นที่นาสำหรับปลูกข้าว โดยทำการเผาตอซังข้าวเพื่อให้เกิดความสะดวกในการไถเตรียมดินหรือเพื่อต้องการกำจัดวัชพืชและแมลงศัตรูพืชนั้น จะมีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เนื่องจากความร้อนจากการเผาตอซัง จะส่งผลกระทบต่อดิน คือ

1. ทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไป อนุภาคของดินจับตัวกันแน่นและแข็ง ทำให้รากพืชและแกรีนไม่สมบูรณ์และอ่อนแอ สารอาหารลดลง รวมทั้งเชื้อโรคพืชสามารถเข้าทำลายได้ง่าย [2]
2. สูญเสียธาตุคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในดิน เมื่อถูกเผาจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูญเสียไปในบรรยากาศ ส่วนธาตุอาหารจะแปรสภาพให้อยู่ในรูปที่สามารถสูญเสียไปจากดินได้ง่าย [2]
3. ทำลายจุลินทรีย์และแมลงที่เป็นประโยชน์ในดิน ทำให้ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลง เช่น กิจกรรมการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ การแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ และการย่อยสลายอินทรีย์สาร เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน นอกจากนั้นตัวอ่อนของแมลงศัตรูพืช เช่น ตัวห้ำ และตัวเบียน ที่อาศัยอยู่ในดินหรือตอซังพืช รวมทั้งจุลินทรีย์ที่สามารถควบคุมโรคพืชถูกเผาทำลายไป ซึ่งหากระบบนิเวศของดินไม่สมดุลจะทำให้การแพร่ระบาดของโรคเกิดได้ง่ายขึ้น [2]
4. การเผาตอซังพืชทำให้ผิวดินมีอุณหภูมิสูงถึง 90 °C น้ำในดินจะระเหยสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นของดินลดลง [2]

ในปัจจุบัน ได้มีการรณรงค์ให้เกษตรกรทำนาแบบตัดตอซัง [3] สาเหตุเกิดจากการที่เกษตรกรได้รับปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในช่วงฤดูฝน ช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายนของทุกปี หลังจากทำนาปรังแล้วจึงไม่มีการวางแผนที่จะทำการไถหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว เพราะเกรงว่าจะมีปัญหการบริหารจัดการน้ำเหมือนทุกปี จึงได้ทดลองตัดตอซังข้าวเพื่อให้ข้าวแตกหน่อใหม่อีกครั้ง แล้วจึงปล่อยน้ำให้ท่วมทั้งแปลงนาข้าว หลังจากนั้นต้นข้าวจะแตกหน่อขึ้นมาใหม่ สามารถให้ผลผลิตดี ประหยัดค่าเมล็ดพันธุ์ ไม่ต้องไถพรวนดินและไม่ต้องเสี่ยงกับน้ำท่วมเมล็ดพันธุ์ข้าว [3] สำหรับแปลงนาที่ทำการตัดตอซังข้าวหลังผ่านการเกี่ยวข้าวโดยใช้รถเกี่ยวข้าว นั้น เนื่องจากรถเกี่ยวข้าวมีน้ำหนักมาก ก่อนที่จะนำรถเกี่ยว

ข้าวควรทำการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาเพื่อให้ดินแห้ง ป้องกันการเหยียบย่ำต้นข้าวจากดินอ่อนตัวเป็นหลุม ตอข้าวจะเสียหายมาก หลังจากเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ควรกระจายฟางให้ทั่วหรืออัดฟางก้อนเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ แล้วจึงตัดตอข้าว [3] นอกจากนี้ยังมีการนำเอาฟางข้าวมาใช้ทำประโยชน์มากขึ้น เช่น การนำฟางข้าวไปเพาะเห็ด การนำไปทำฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว [4] การนำฟางข้าวไปทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [5] และการนำไปทำเป็นวัสดุก่อสร้าง [6] เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะนำเสนอ การออกแบบโครงสร้างและกลไกการทำงานของเครื่องตัดตอซึ่งข้าวที่สามารถประกอบใช้งานร่วมกับรถไถนาเดินตามขนาดกำลังเครื่องยนต์ไม่เกิน 11 hp ที่เกษตรกรมีการใช้งานอยู่แล้วได้ โดยกำหนดให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมดยังไม่เกิน 1 ตัน เพื่อใช้ตัดตอซึ่งข้าวแทนที่รถเกี่ยวข้าวที่มีน้ำหนักมาก และมีขนาดใหญ่เกินไป [7-8] พร้อมทั้งสามารถเก็บรวบรวมตอซึ่งข้าวที่ตัดแล้วได้ในเครื่องเดียวกัน อีกทั้งราคาเครื่องและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระหว่างการใช้งานจะต้องไม่สูง

วัตถุประสงค์การวิจัย

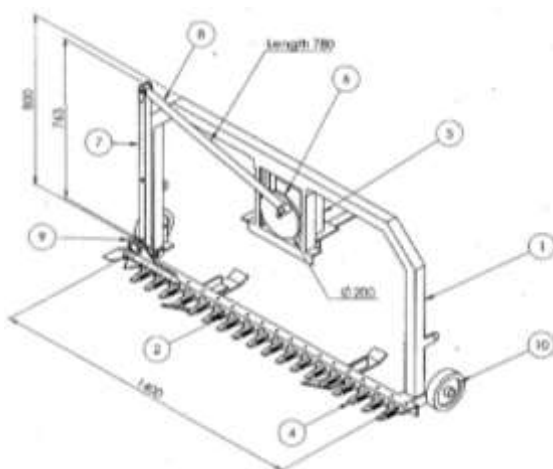
1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตัดตอซึ่งข้าว ที่สามารถประกอบเข้ากับรถไถนาเดินตามได้ง่าย
2. เพื่อพัฒนาวิธีการจัดเก็บฟางข้าวและตอซึ่งข้าวที่ได้จากการตัด ให้สามารถเก็บและตัดในเครื่องเดียวกันได้
3. เพื่อลดขนาดความยาวของตอซึ่งข้าวลง ก่อนการไถกลบเตรียมดินปลูกข้าว และเพิ่มปริมาณของฟางข้าวแห้งสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนอื่นต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

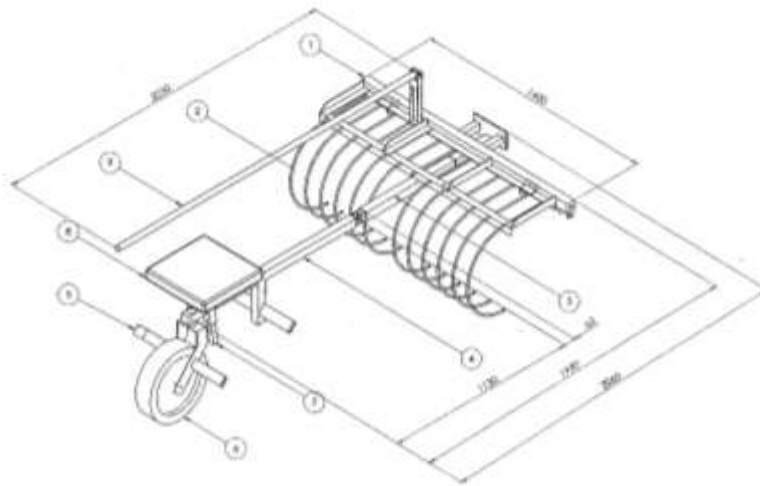
เงื่อนไขในการออกแบบ คือ โครงสร้าง กลไกการตัดและเก็บฟางข้าว จะต้องติดตั้งเข้ากับรถไถเดินตาม [7] ขนาดเครื่องยนต์ดีเซล 11 hp ที่มาพร้อมชุดเฟืองถ่ายทอดกำลังได้ โดยไม่ถอดกลไกหรือชิ้นส่วนเดิมของรถไถออก จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้ โครงสร้างรองรับกลไกการทำงาน ชุดส่งถ่ายกำลัง ชุดตัดตอซึ่งข้าว และชุดกวาดเก็บฟางข้าว

1.1 โครงสร้างส่วนรองรับกลไกการทำงาน ได้รวมกลไกการตัดตอซึ่งข้าว และกวาดเก็บฟางข้าว อยู่ในโครงสร้างชุดเดียวกัน สามารถทำงานสัมพันธ์กัน กำหนดให้มีขนาดความกว้าง 140 cm และยาว 155 cm สามารถติดตั้งครอบคลุมขนาดทางกายภาพด้านนอกของรถไถได้ โดยไม่ติดขัดหรือขัดขวางกลไกการทำงานของรถไถ ดังภาพที่ 2-3 และแสดงการประกอบรวมเข้ากันของทั้ง 2 ส่วน ดังภาพที่ 6



- (1) โครงเหล็กรองรับใบมีดตัดและชุดเฟืองทดรอบ
- (2) ใบมีดตัด
- (4) ชองใบมีดตัด
- (5) เฟืองทดรอบชนิด worm gear
- (6) ลูกเบี้ยวส่งกำลัง
- (7) และ (8) ก้านโยกรับกำลังจากลูกเบี้ยว
- (9) ชุดรางเลื่อนประคองใบมีดตัด
- (10) สลอปกระบอกระยะความสูงของการตัด

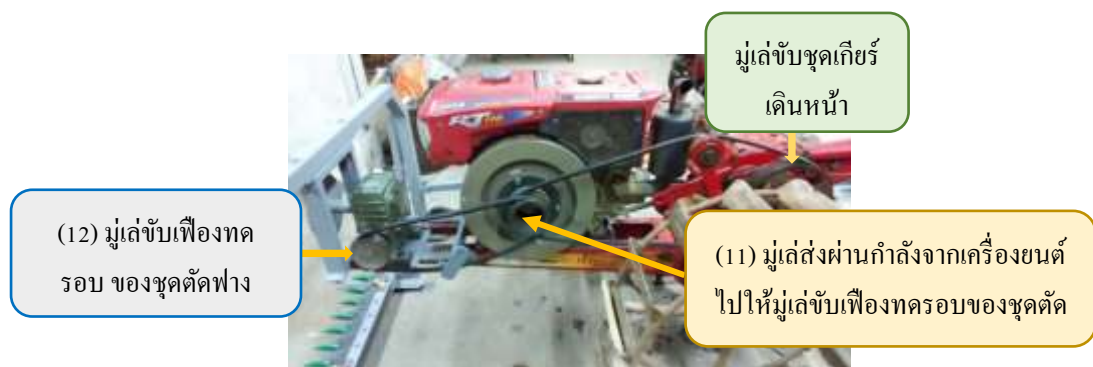
ภาพที่ 2 โครงสร้างรองรับกลไกการตัดตอซึ่งข้าว



- (1) โครงเหล็กรองรับลวดกวาดฟาง
- (2) ลวดกวาดฟางข้าว
- (3) และ (4) โครงเหล็กส่วนต่อขยายรับที่นั่งคนขับ
- (5) และ (6) ชุดล้อประกอบที่นั่งคนขับ
- (7) และ(8) แขนปรับระดับเบาะนั่งและเบาะนั่ง
- (9) ก้านเหล็กหลักให้ลวดกวาดสลับฟางข้าวให้หลุด

ภาพที่ 3 โครงสร้างรองรับกลไกการกวาดเก็บฟางข้าว

1.2 ชุดส่งถ่ายกำลัง เป็นส่วนที่นำกำลังจากเครื่องยนต์ไปใช้ผลักดันโยกในกลไกของชุดตัดต่อขังข้าว ให้มีการเคลื่อนตัด ซึ่งกลไกการทำงานแสดงดังภาพที่ 4 เริ่มจากกำลังของเครื่องยนต์ถูกส่งผ่านไปให้กับมู่เล่ (pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in แบบ 2 ร่องชนิด B(1) ที่รอบเครื่องยนต์เฉลี่ย 1,000 rpm ขนาดของแรงบิดที่ใช้กำหนดให้ใช้ของเกียร์ 1 เดินหน้าเท่านั้นจากทั้งหมดมี 3 เกียร์เดินหน้า เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์หยุดทำงานขณะที่รถไถเริ่มเคลื่อนตัวตัดต่อขังข้าว แล้วไปจับชุดเฟืองทดรอบชนิด worm gear และเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังผ่านจานลูกเบี้ยว ดังภาพที่ 5 ให้ไปผลักดันโยกของกลไกการตัดเกี่ยวของชุดตัดต่อขังข้าว



ภาพที่ 4 แสดงการส่งถ่ายกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลและชุดเกียร์ของรถไถเดินตาม

จากภาพที่ 4 อัตราเร็วเชิงมุมของมู่เล่ขับเฟืองทดรอบของชุดตัดฟางคำนวณได้จากสมการที่ 1 [9]

$$\frac{\omega_{11}}{\omega_{12}} = \frac{D_{12}}{D_{11}} \quad (1)$$

เมื่อ ω_{11}, ω_{12} คือ อัตราเร็วเชิงมุมของมู่เล่ส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์และมู่เล่ขับเฟืองทดรอบของชุดตัดฟาง ตามลำดับ และ D_{11}, D_{12} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์และ มู่เล่ขับเฟืองทดรอบ ตามลำดับ

จากภาพที่ 2 เนื่องจากกลไกการตัดฟางข้าวมีลักษณะเป็นกลไก 4 ชั๊น (Four-bar linked) การคำนวณอัตราเร็วเชิงมุมชุดเฟืองทด ω_6 จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 [10]

$$\begin{bmatrix} -r_8 \sin \theta_8 & r_7 \sin \theta_7 \\ r_8 \cos \theta_8 & -r_7 \cos \theta_7 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \omega_8 \\ \omega_7 \end{Bmatrix} = \omega_6 \begin{Bmatrix} r_6 \sin \theta_6 \\ -r_6 \cos \theta_6 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ r_6 r_7 และ r_8 คือ ความยาว (m) ของชิ้นส่วนหมายเลข 6 7 และ 8 ตามลำดับ วัดจากจุดหมุนถึงจุดปลายที่เชื่อมต่อกันดังที่แสดงในรูปที่ 3 θ_6 θ_7 และ θ_8 คือ ตำแหน่งเชิงมุมชั่วขณะเวลาของกลไก ส่วน ω_6 ω_7 และ ω_8 คือ อัตราเร็วเชิงมุม (rad/s) ของชิ้นส่วนหมายเลข 6 7 และ 8 ตามลำดับ

กำหนดให้ค่าจังหวะการตัดเนื้อมีอยู่ระหว่าง 3,100 SPM ถึง 4,700 SPM (stroke per minute) ซึ่งสามารถคำนวณเป็นอัตราเร็วเชิงมุมของชิ้นส่วนหมายเลข 7 ได้ดังสมการที่ 3 [11]

$$\omega_7 = \left(\frac{P_s}{2 \times L} \right) \times \left(\frac{2\pi}{60} \right) \quad (3)$$

เมื่อ ω_7 คือ อัตราเร็วเชิงมุมของชิ้นส่วนหมายเลข 7 (rad/s) P_s คือ ความเร็วของการตัดเนื้อมี (stroke per minute) และ L คือ ระยะการตัดเนื้อมีของใบมีดตัด (mm)

ดังนั้น อัตราทดของชุดเฟืองทดรอบ (n) สามารถหาได้จากสมการที่ 4 [9]

$$n = \frac{\omega_{12}}{\omega_6} \quad (4)$$

1.3 ชุดตัดต่อซังข้าว แสดงดังภาพที่ 5 จะเลือกใช้ใบมีดตัดที่เป็นแบบเดียวกับของเครื่องรถเกี่ยวข้าว ที่มีกลไกการทำงานเหมือนกรรไกรบิดดาเลียน จำนวน 18 ชุดใบมีด การติดตั้งชุดใบมีด (1) จะติดตั้งไว้กับโครงเหล็กยึดใบมีดด้วยการเรียงต่อกันตามแนวราบ จนได้ระยะความยาวเท่ากับขนาดความกว้างของโครงเหล็กรับชุดตัด (2) เป็นระยะ 140 cm โดยชุดใบมีดจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นช่องรับการเลื่อนสไลด์ของใบมีด จะยึดตรึงไว้กับโครงรับใบมีดอย่างแน่นหนา และส่วนที่สองเป็นใบมีดที่ทำหน้าที่เลื่อนตัดเนื้อมีต่อซังข้าว สำหรับกลไกการทำงานของชุดตัดจะเริ่มจากเครื่องยนต์ส่งกำลังและความเร็วรอบมาขับเคลื่อนชุดเฟืองทดรอบ ให้ลดความเร็วรอบลงพร้อมทั้งเปลี่ยนทิศทาง การส่งถ่ายกำลังที่มาจากมุมเลี้ยวของเครื่องยนต์กลับเป็นมุม 90° แล้วไปหมุนจานลูกเบี้ยวที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางที่ 73 mm ให้ผลักก้านโยก (3) ส่งเป็นแรงคู่ควบผลักชุดใบมีดทั้ง 18 ใบมีด ให้เลื่อนตัดเนื้อมีต่อซังข้าวพร้อมกันทั้งหมด ขณะเดียวกันตัวรถไถจะต้องเคลื่อนตัวไปข้างหน้า โดยมีเงื่อนไขว่า ความเร็วการตัดเนื้อมีต่อซังข้าวเฉลี่ยจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความเร็วที่ตัวรถไถเคลื่อนตัวไป



ภาพที่ 5 แสดงส่วนประกอบของชุดตัดต่อซังข้าว

การคำนวณหาค่าแรงบิด (Torque) ที่ใช้ขับเคลื่อนจานลูกเบี้ยวของชุดเฟืองทด (T_p) สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ของแรงพลวัตของกลไก 4 ชิ้น ดังแสดงในสมการที่ 5 [10]

$$[A]\{F\} = \{RHS\} + \{F_e\} \quad (5)$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} I_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} \\ [-r_{O_6/G_6,y} & r_{O_6/G_6,x}] & [-r_{B/G_6,y} & r_{B/G_6,x}] & 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 2} & 1 \\ 0_{2 \times 2} & -I_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{1 \times 2} & [r_{B/G_6,y} & -r_{B/G_6,x}] & [-r_{C/G_8,y} & r_{C/G_8,x}] & 0_{1 \times 2} & 0 \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & -I_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 2} & [r_{C/G_7,y} & -r_{C/G_7,x}] & [r_{O_7/G_7,y} & r_{O_7/G_7,x}] & 0 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{Bmatrix} F_{16,x} \\ F_{16,y} \\ F_{86,x} \\ F_{86,y} \\ F_{78,x} \\ F_{78,y} \\ F_{17,x} \\ F_{17,y} \\ T_6 \end{Bmatrix}, \quad RHS = \begin{Bmatrix} m_6 a_{G_6} \\ I_6 \alpha_6 \\ m_8 a_{G_8} \\ I_8 \alpha_8 \\ m_7 a_{G_7} \\ I_7 \alpha_7 \end{Bmatrix} \quad \text{และ} \quad F_e = \begin{Bmatrix} F_{e6} \\ M_{e6} \\ F_{e8} \\ M_{e8} \\ F_{e7} \\ M_{e7} \end{Bmatrix}$$

r_{O_6/G_6} คือ ระยะจากจุดหมุนของชิ้นส่วนหมายเลข 6 ถึงจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข 6

r_{B/G_6} คือ ระยะจากศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข 6 ถึงจุดต่อระหว่างชิ้นส่วนหมายเลข 6 และ 8

r_{C/G_8} คือ ระยะจากศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข 8 ถึงจุดต่อระหว่างชิ้นส่วนหมายเลข 7 และ 8

r_{C/G_7} คือ ระยะจากศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข 7 ถึงจุดต่อระหว่างชิ้นส่วนหมายเลข 7 และ 8

r_{O_7/G_7} คือ ระยะจากจุดหมุนของชิ้นส่วนหมายเลข 7 ถึงจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข 7

F_{16} คือ แรงที่ชิ้นส่วนหมายเลข 1 กระทำต่อหมายเลข 6, F_{86} คือ แรงที่ชิ้นส่วนหมายเลข 8 กระทำต่อหมายเลข 6

F_{78} คือ แรงที่ชิ้นส่วนหมายเลข 7 กระทำต่อหมายเลข 8, F_{17} คือ แรงที่ชิ้นส่วนหมายเลข 1 กระทำหมายเลข 7

m_i คือ มวลของชิ้นส่วนหมายเลข i , a_{G_i} คือ ความเร่งเชิงเส้น ณ จุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนหมายเลข i

I_i คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของชิ้นส่วนหมายเลข I , α_i คือ ความเร่งเชิงมุมของชิ้นส่วนหมายเลข i

F_e คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อชิ้นส่วน (N), M_e คือ โมเมนต์ภายนอกที่กระทำต่อชิ้นส่วน (N.m)

หาความเร่งเชิงเส้น ณ จุดศูนย์กลางมวลและความเร่งเชิงมุมของชิ้นส่วนต่างๆสามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$\begin{bmatrix} -r_8 \sin \theta_8 & r_7 \sin \theta_7 \\ r_8 \cos \theta_8 & -r_7 \cos \theta_7 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_8 \\ \alpha_7 \end{Bmatrix} = \alpha_6 \begin{Bmatrix} r_6 \sin \theta_6 \\ -r_6 \cos \theta_6 \end{Bmatrix} + RHS_1 \quad (6)$$

เมื่อ $RHS_1 = -\sum_{i=2}^4 S_i \omega_i \times (\omega_i \times r_i)$, โดยที่ $S_6 = S_8 = 1$ และ $S_7 = -1$

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะแรงตัดเฉือนของฟางข้าวและความฝืดระหว่างชุดใบมีดเป็นแรงภายนอกที่กระทำต่อชิ้นส่วนหมายเลข 7 และไม่มีแรงภายนอกและโมเมนต์ภายนอกอื่นๆ ที่กระทำต่อชิ้นส่วน

1.4 ชุดกวาดเก็บฟางข้าว เป็นส่วนที่ติดตั้งไว้ทางด้านหลังของตัวรถไถ ดังภาพที่ 3 โดยกำหนดให้ระยะความกว้างของแนวกวาดเก็บฟางข้าว มีขนาดที่ไม่น้อยกว่าระยะความยาวรวมของชุดใบมีดตัดทั้งหมดเท่ากับ 140 cm โดยติดตั้งไว้ด้านหลังของรถไถ ซึ่งมีหน้าที่กวาดเก็บฟางข้าวให้มารวมกันเป็นกองฟาง ตัวกวาดเก็บฟางข้าวจะออกแบบให้เป็นเหมือนไม้กวาด ที่มีส่วนประกอบหลักๆ คือ คราดที่ผลิตจากเหล็กเส้นผิวเรียบ เกรด SS400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm นำมาตัดให้มีความโค้งเป็นครึ่งวงกลมรัศมีเท่ากับ 235 mm สำหรับกลไกการทำงานของชุดกวาดฟางข้าว

จะใช้คราดเป็นตัวกวาดเอาฟางข้าวที่ตัดขาดแล้วจากทางด้านหน้ารถไถ ให้มากองรวมไว้ด้วยกันเป็นช่วงๆ เพื่อความสะดวกในการเก็บฟางข้าวออกจากทุ่งนา การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ทั้ง 4 ส่วนเข้าไว้ด้วยกันแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆทั้ง 4 ส่วน ไว้บนรถไถนาเดินตาม

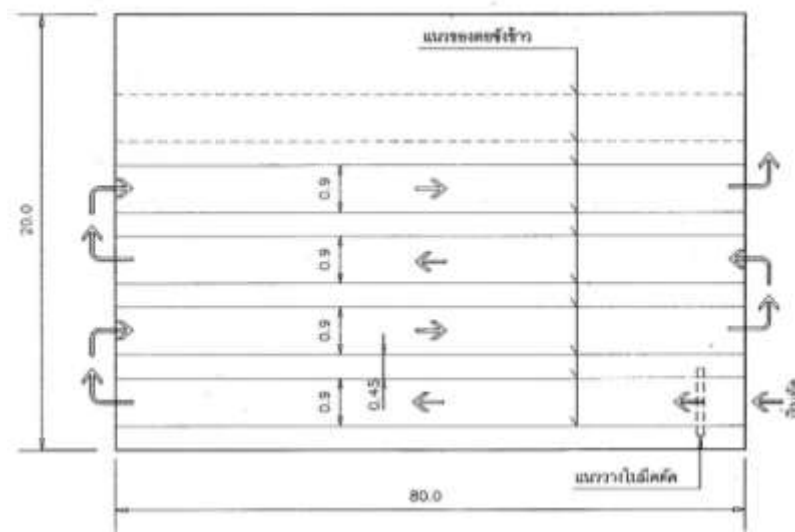
2. วิธีทดสอบ

2.1 การเตรียมพื้นที่ทดสอบ เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการทดสอบจริงมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไร่ จึงกำหนดพื้นที่ตัวอย่างขนาดเท่ากับ 1 ไร่ หรือกว้าง 80 m และยาว 20 m ออกเป็น 5 ส่วนเท่า ๆ กัน ทำการทดสอบตัดต่อซังข้าวและคราดเก็บฟางให้เป็นกอง เริ่มจากพื้นที่ (1) ไปจนถึง (5) ดังภาพที่ 7 ตามลำดับ จะได้ข้อมูลเป็น 5 ชุด แล้วนำค่ามาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

2.2 กำหนดวิธีการตัดต่อซังข้าวและเก็บข้อมูล โดยมีเงื่อนไขว่า เครื่องยนต์รถไถจะตั้งความเร็วรอบให้คงที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 1,053 rpm แล้วเคลื่อนตัวตัดด้วยแรงบิดจากเกียร์ 1 เท่านั้น พื้นที่ตัวอย่างทดสอบจะกำหนดขนาดเท่ากับ 1 ไร่ หรือ กว้าง 20 m ยาว 80 m จะเริ่มทำการตัดต่อซังข้าวจากด้านซ้ายของพื้นที่ตามแนวลูกศรดังภาพที่ 8 และแนวการตัดจะตัดได้ทีละ 2 แนว ที่ห่างกัน 90 cm ทำการตัดต่อเนื่องจนครบตลอดพื้นที่ ซึ่งจะทำให้การทดสอบซ้ำแบบเดิมจนครบพื้นที่ตัวอย่างทั้งหมด 5 ส่วน



ภาพที่ 7 กำหนดขนาดพื้นที่ที่ใช้ทดสอบตัดต่อซังข้าว (หน่วยเป็นเมตร)



ภาพที่ 8 กำหนดวิธีทดสอบการเคลื่อนตัดต่อซังข้าวและการเก็บข้อมูล (ระยะทางหน่วยเป็นเมตร)

3. การประเมินสมรรถนะของเครื่องตัดต่อซังข้าว

3.1 ความสามารถในการตัดต่อซังข้าว ก่อนทำการทดสอบจะนับจำนวนต่อซังข้าวที่มีทั้งหมดในพื้นที่ทดสอบขนาด 1 ไร่ เมื่อทดสอบตัดต่อซังข้าวจนครบพื้นที่ทดสอบแล้ว จะทำการนับเฉพาะจำนวนของต่อซังข้าวที่ไม่ถูกตัดรวมกับต่อซังข้าวที่มีสภาพความสูงหลังตัดเกิน 10 cm นับจากผิวดิน แล้วนำมาแทนค่าในสมการที่ 7 และ 8 [12]

$$C_i = 100 - \left[\left(\frac{n_{ic}}{n_t} \right) \times 100 \right] \quad (7)$$

$$C_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 C_i \quad (8)$$

โดยที่ C_m คือ ความสามารถในการตัดต่อซังข้าว (%) C_i คือ ความสามารถในการตัดต่อซังข้าวในแต่ละครั้งที่ทดสอบ (%) n_{ic} คือ จำนวนต่อซังข้าวที่ถูกตัดแต่มีสภาพไม่สมบูรณ์ของพื้นที่ทดสอบ (ต่อ) n_t คือ จำนวนต่อซังข้าวที่มีทั้งหมดในพื้นที่ตัวอย่างที่ทดสอบ (ต่อ) และ i คือ จำนวนครั้งในการทดสอบ

3.2 ความเร็วในการทำงาน จะเป็นการหาอัตราส่วนระหว่างเวลาการเคลื่อนตัดต่อซังข้าวอย่างต่อเนื่องตลอดแนวที่ทำการตัดกับพื้นที่การตัดต่อซังข้าวจำนวน 1 ไร่ ดังสมการที่ 9 และ 10 [12] ดังนี้

$$T_i = \left(\frac{T_t}{A_s} \right)_i \quad (9)$$

$$T_w = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 T_i \quad (10)$$

โดยที่ T_w คือ ความเร็วในการทำงาน (นาฬิกาต่อไร่) T_i คือ ความเร็วในการทำงานแต่ละครั้งที่ทดสอบ (นาฬิกาต่อไร่) T_t คือ เวลาที่รถไถใช้เคลื่อนตัดต่อซังข้าวตลอดทั้งพื้นที่ตัวอย่าง (นาฬิกา) A_s คือ ขนาดพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (ไร่)

3.3 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จะหาได้จากสมการที่ 11 และ 12 [12] โดยการนำเอาน้ำมันเชื้อเพลิงแยกออกจากถังพักมาเติมใส่ไว้ในหลอดพลาสติกใสที่มีขีดบอกระดับปริมาตรของน้ำมันที่อ่านได้ง่าย แล้วต่อสายน้ำมันเชื้อเพลิงจ่ายเข้าลูกสูบโดยตรงเพื่อดูปริมาตรของน้ำมันที่ถูกใช้ไป ซึ่งจะเป็นน้ำมันที่ถูกใช้ในการทดสอบตามหัวข้อ 3.1

$$(FC)_i = \frac{(V_f)_i}{A_s} \quad (11)$$

$$(FC)_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (FC)_i \quad (12)$$

โดยที่ $(FC)_m$ คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่) $(FC)_i$ คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละครั้งที่ทดสอบ (ลิตรต่อไร่) V_f คือ ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป (ลิตร) และ A_s คือ ขนาดพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (ไร่)

3.4 ความสามารถในการคราดเก็บกองฟาง จะวัดจากน้ำหนักของกองฟางข้าวที่ถูกชุดกวาดฟางคราดวางเป็นกองได้ โดยการนำเอาฟางข้าวที่เป็นกองมาบรรจุในห่อผ้าตาข่ายไปชั่งหาน้ำหนัก นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปแทนลงในสมการที่ 13 และ 14 [12] ดังนี้

$$S_i = \frac{(W_s)_i}{A_s} \quad (13)$$

$$S_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 S_i \quad (14)$$

โดยที่ S_m คือ ความสามารถในการคราดเก็บกองฟาง (กิโลกรัมต่อไร่) S_i คือ ความสามารถในการคราดเก็บกองฟางในแต่ละครั้งที่ทดสอบ (กิโลกรัมต่อไร่) W_s คือ น้ำหนักของกองฟางข้าวที่คราดเก็บได้ (กิโลกรัม) และ A_s คือ ขนาดพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (ไร่)

4. การวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์ สามารถวิเคราะห์ได้จากจุดคุ้มทุนในการทำงานและระยะเวลาในการคืนทุน ดังนี้

4.1 จุดคุ้มทุนในการทำงาน (Break-even point) จะหาได้จากอัตราส่วนระหว่างต้นทุนคงที่ต่อผลต่างระหว่างอัตราารรับจ้างและค่าใช้จ่ายผันแปร ดังสมการที่ 9 [13] ดังนี้

$$BEP = \frac{F_c}{B - V_c} \quad (15)$$

โดยที่ BEP คือ จุดคุ้มทุนในการทำงาน (ไร่ต่อปี) F_c คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาทต่อปี) B คือ รายได้จากการรับจ้าง (บาทต่อไร่) และ V_c คือ ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาทต่อไร่)

4.2 ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback period) จะหาได้จากอัตราส่วนระหว่างราคาของเครื่องจักรต่อกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อวัน ดังสมการที่ 10 [13] ดังนี้

$$PBP = \frac{P_m}{R} \quad (16)$$

โดยที่ PBP คือ ระยะเวลาในการคืนทุน (วัน) P_m คือ ราคาของเครื่องจักร (บาท) และ R คือ กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อวัน (บาทต่อวัน)

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. ความสามารถในการตัดต่อขังข้าว

โดยการนับต่อขังข้าวที่มีทั้งหมดในพื้นที่ทดสอบก่อนทำการทดสอบตัด และนับจำนวนต่อขังข้าวที่ถูกตัดแล้วแต่

มีสภาพไม่สมบูรณ์ ในพื้นที่ทดสอบขนาด 1 ไร่ จำนวน 5 พื้นที่ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าความสามารถในการตัดต่อขังข้าวเฉลี่ยได้เท่ากับ 91.88 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาความสามารถในการตัดต่อขังข้าว

พื้นที่ทดสอบ	จำนวนตอขังข้าว ทั้งหมด (ตอ)	จำนวนตอขังข้าวที่ตัด ไม่สมบูรณ์ (ตอ)	ความสามารถใน การตัดต่อขังข้าว (%)
1	5,544	471	91.50
2	5,280	343	93.50
3	5,500	445	91.90
4	5,610	572	89.80
5	5,390	393	92.71
ความสามารถในการตัดต่อขังข้าวเฉลี่ย (%)			91.88

2. ความเร็วในการทำงาน

จากการทดสอบตัดต่อขังข้าวในพื้นที่ทดสอบขนาด 1 ไร่ จำนวน 5 พื้นที่ แล้วจับเวลาการทำงานอย่างต่อเนื่อง ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2 พบว่าความเร็วในการทำงานของเครื่องตัดต่อขังข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 22.6 นาทีต่อไร่

ตารางที่ 2 แสดงเวลาการทำงานในการตัดต่อขังข้าวในพื้นที่ตัวอย่าง

พื้นที่ตัวอย่าง	เวลาในการทำงาน (นาที)
1	24.0
2	19.0
3	23.0
4	26.0
5	21.0
เวลาในการทำงานเฉลี่ย (นาที/ไร่)	22.6

3. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ขณะทำการตัดต่อขังข้าวอย่างต่อเนื่องจนครบพื้นที่ตัวอย่างขนาด 1 ไร่ รวม 5 พื้นที่ ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.24 ลิตรต่อไร่

ตารางที่ 3 ผลการวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการตัดต่อขังข้าว

พื้นที่ตัวอย่าง	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)
1	0.27
2	0.19
3	0.24
4	0.30
5	0.21
ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร/ไร่)	0.24

4. ความสามารถในการคราดเก็บกองฟาง

ขณะที่เครื่องตัดต่อซังข้าวทำการตัดต่อซังข้าว จะมีส่วนของกลไกคราดเก็บกองฟางข้าว ทำการคราดเก็บฟางข้าว ให้มากองรวมกันและพลิกไว้เป็นจุด ๆ ในเวลาเดียวกัน หลังจากนั้นจึงได้นำกองฟางที่คราดเก็บไว้มาใส่รวมในผ้าตาข่าย แล้วมัดเป็นห่อ เพื่อจะได้ยกมาซังหาน้ำหนักได้ ผลจากการซังหาน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าความสามารถในการคราดเก็บกองฟางเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 66.2 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 4 ผลการซังหาน้ำหนักของกองฟางข้าวที่เก็บมาจากต่อซังข้าวที่ถูกตัด

พื้นที่ตัวอย่าง	น้ำหนักของกองฟางข้าว (กิโลกรัม)
1	64.4
2	69.5
3	64.8
4	63.6
5	68.7
น้ำหนักของกองฟางข้าวเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)	66.2

5. วิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว จะพิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานดังตารางที่ 5 เมื่อราคาขายฟางข้าว เท่ากับ 25 บาทต่อ 20 กิโลกรัม [14] ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเท่ากับ 25.29 บาทต่อลิตร [15] และอายุการใช้งานของเครื่องตัดต่อซังข้าวกำหนดไว้ที่ 3 ปี คิดเป็นค่าซากของเครื่องเท่ากับ 1,230 บาท หาจุดคุ้มทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าวได้ เท่ากับ 59.89 ไร่ต่อปี และแสดงการหาจุดคุ้มทุนในแบบกราฟได้ดังภาพที่ 9

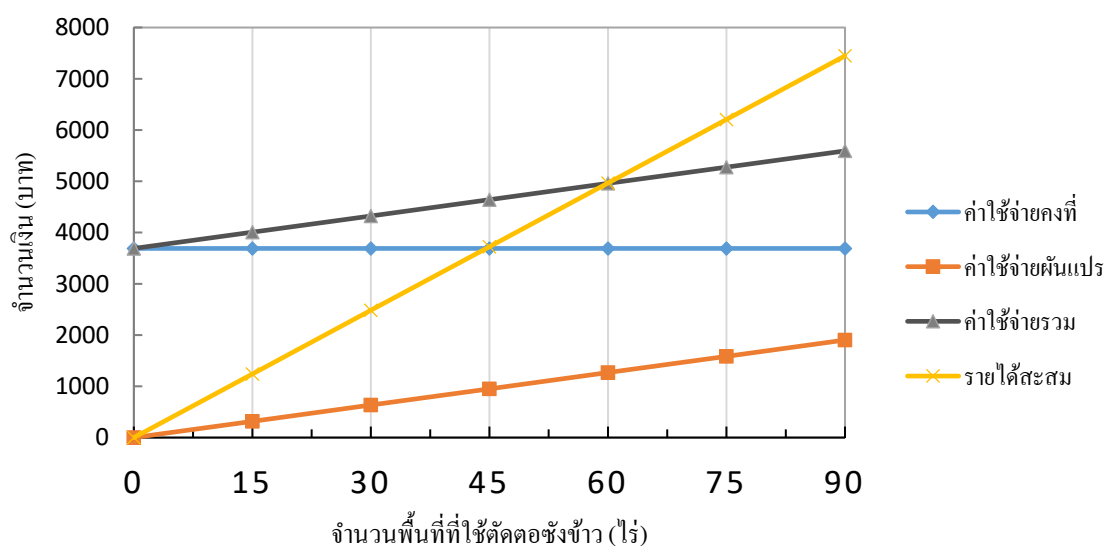
สำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว จะพิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานดังตารางที่ 6 เมื่อใช้แรงงานคนควบคุมการทำงานของเครื่องตัดต่อซังข้าวเพียง 1 คน กำหนดระยะเวลาทำงานที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน และค่าแรงงานขั้นต่ำเท่ากับ 320 บาท [16] ดังนั้น ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว จะอยู่ที่ 9.4 วัน และแสดงการหาจุดคุ้มทุนในแบบกราฟได้ดังภาพที่ 10

ตารางที่ 5 ข้อมูลอ้างอิงพื้นฐานในการหาจุดคุ้มทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว

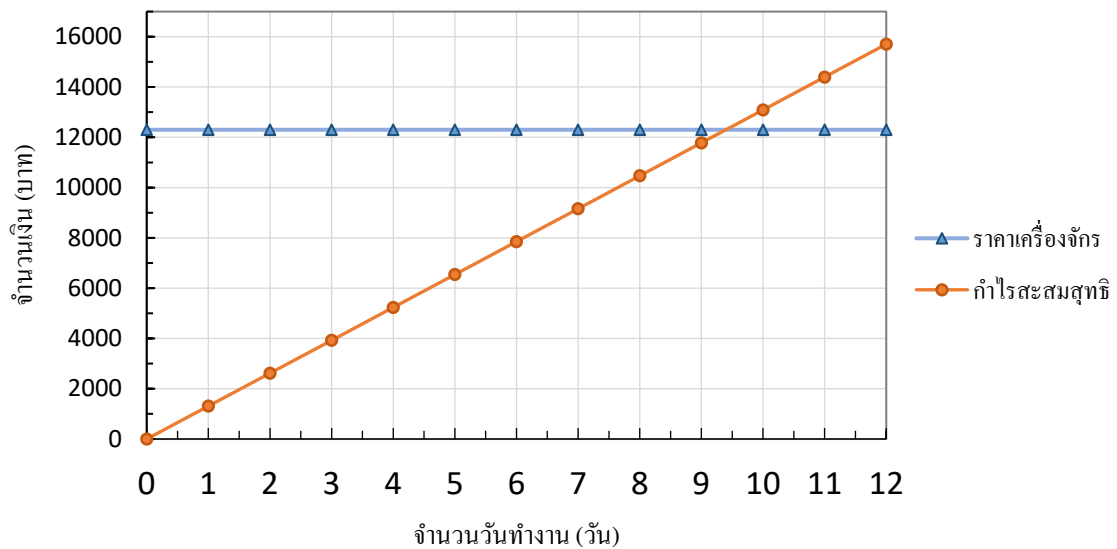
ค่าต้นทุนเครื่องจักร	
1. เครื่องตัดต่อซังข้าว (บาท)	12,300.00
2. ค่าซากของเครื่องตัดต่อซังข้าว (บาท)	1,230.00
ค่าใช้จ่ายผันแปร	
1. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/ไร่)	6.07
2. ค่าแรงงาน (บาท/ไร่)	15.07
รายได้จากราคาฟางข้าว	
1. ราคาฟางข้าว	25 บาท/20 กิโลกรัม
2. รายได้จากราคาฟางข้าว (บาท/ไร่)	82.75
3. ค่าไรสุทธิ (บาท/ไร่)	61.61

ตารางที่ 6 ข้อมูลอ้างอิงพื้นฐานในการหาจุดคุ้มทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว

ค่าต้นทุนเครื่องจักร	
1. เครื่องตัดต่อซังข้าว (บาท)	12,300.00
ค่าใช้จ่ายผันแปร	
1. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/วัน)	128.93
2. ค่าแรงงาน (บาท/วัน)	320.00
รายได้จากราคาฟางข้าว	
1. ราคาฟางข้าว	25 บาท/20 กิโลกรัม
2. รายได้จากราคาฟางข้าว (บาท/วัน)	1,757.52
3. กำไรสุทธิ (บาท/วัน)	1,308.59



ภาพที่ 9 แผนภาพแสดงจุดคุ้มทุนในการทำงานของเครื่องตัดต่อซังข้าว



ภาพที่ 10 แผนภาพแสดงระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องตัดต่อซังข้าว

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องตัดต่อซังข้าว โดยทำการทดสอบตัดต่อซังข้าวที่เหลือจากการเกี่ยวข้าวในพื้นที่นา ขั้วเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 1 สูบ ขนาด 11 แรงม้า พร้อมชุดถ่ายทอดกำลังของรถไถเดินตาม มีน้ำหนักโดยรวมเท่ากับ 509 กิโลกรัม โดยมีข้อจำกัดในการทดสอบ คือ ควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ให้ไม่ต่ำกว่า 1,000 รอบต่อนาที และใช้แรงบิดจากชุดเฟืองถ่ายทอดกำลังเป็นเกียร์ 1 เดินหน้า ให้เคลื่อนตัดต่อซังข้าวที่ระดับความเร็วเดียวตลอดการทดสอบ พบว่าความสามารถในการตัดต่อซังข้าวที่ขนาดพื้นที่ 1 ไร่ ได้เท่ากับ 91.88 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วในการทำงานเท่ากับ 22.6 นาทีต่อไร่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.24 ลิตรต่อไร่ ความสามารถในการคราดเก็บกองฟางเท่ากับ 66.2 กิโลกรัมต่อไร่ และผลกระทบจากน้ำหนักโดยรวมของเครื่องตัดต่อซังข้าวต่อพื้นดินหลังจากทำการทดสอบตัดต่อซังข้าว จะไม่ทำให้พื้นที่นาขุบตัวเป็นหลุมและต่อซังข้าวไม่ล้มเอียงลง การวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าจากราคาของเครื่องตัดต่อซังข้าวเท่ากับ 12,300 บาท กำหนดค่าซากของเครื่องเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาเครื่องตัดต่อซังข้าว และอายุการใช้งานที่ 3 ปี มีค่าใช้จ่ายผันแปรเท่ากับ 21.14 บาทต่อไร่ และรายได้จากราคาฟางข้าวเท่ากับ 82.75 บาทต่อไร่ หากจัดต้นทุนในการทำงานได้เท่ากับ 59.89 ไร่ต่อปี การทดสอบเครื่องตัดต่อซังข้าวจะใช้แรงงานคนควบคุมเครื่องจำนวน 1 คน เมื่อค่าแรงงานเท่ากับ 320 บาทต่อวัน และจำนวนเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงเท่ากับ 1 วัน จะมีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 9.4 วัน

เนื่องจากการคำนวณเชื้อเพลิงและค่าแรงงานเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร มีค่าไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของต้นทุนในการทำงานของเครื่องตัดต่อซังข้าว คือ ถ้าค่าใช้จ่ายผันแปรเพิ่มขึ้นจะทำให้รายได้สะสมลดลง จึงทำให้จุดคุ้มทุนมีค่าสูงขึ้นหรือต้องเพิ่มขนาดพื้นที่ในการตัดต่อซังข้าวให้มากกว่า 59.89 ไร่ต่อปี และถ้าจากการขายฟางข้าวจะลดลงตามกัน จะส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนต้องเพิ่มมากขึ้นกว่า 9.4 วัน สำหรับการตัดต่อซังข้าวโดยการใช้แรงงานคนมาตัดเพียงอย่างเดียว นั้น ยังไม่ได้มีการเก็บข้อมูลว่าสามารถตัดต่อซังข้าวต่อไร่ได้ปริมาณ น้ำหนักเท่าใดหรือใช้เวลาในการตัดเท่าไร จึงยังไม่สามารถจะทำการเปรียบเทียบได้ว่า การใช้เครื่องตัดมาแทนคนตัดนั้นจะมีข้อแตกต่างกันอย่างไร



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนรถไถเดินตามและเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการออกแบบเครื่องตัดต่อซังข้าว

เอกสารอ้างอิง

1. Kawila P. Stubble and rice straw materials to improve and nutrients in the soil. National Research Council of Thailand(NRCT); 2005. Report No.:T163771. Thai.
2. Lertkrai W. Nutrient circulation and increase of organic matter in soil from crop residues in agricultural plots by means of stump extraction. Pattani: Land Reform Area Development Bureau; 2013. Thai.
3. Fai Thet Y. Planting rice in stubble style. Smart Farmer & Smart Officer[Internet]. [cited 2019 May 2]. Available form: http://www.thaismartfarmer.net/index.php/userservice/p_know_detail/show/105
4. Ganfai.com [internet]. Chiangmai: JARERNTRIBHOP Limited Partnership; 2017 [cited 2019 May 2]. Available form: <https://www.ganfai.com/>
5. Energy for Environment Foundation (EforE). 10 years, the energy for environment foundation and the next step. Energy and Environment Foundation 2011; 1: 27-9. Thai.
6. Chaussinand A, Scartezzini JL, Nik V. Straw bale : A waste from agriculture, a new construction material for sustainable building. Energy Procedia 2015;78:297-302.Thai.
7. Siamkubota.co.th [Internet]. Pathum Thani: SIAM KUBOTA; 2010 [cited 2019 May 2]. Available form: <http://www.siamkubota.co.th/agriculture/index/6>
8. Ministry of Industry. Announcement of the Thai Industrial Standards Institute [Internet]. Bangkok: 2017 [cited 2019 May 2]. Available form: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2562/E/185/T_0077.PDF
9. Budynas RG, Nisbett JK. Shigley's Mechanical Engineering Design. 9thed. New York: McGraw-Hill; 2011.
10. Bureerat S. Mechanic of machinery. 1sted. Khon kaen: Khon Kaen University Press; 2011.
11. Sornnil B, Kuasomboon P. Tabellenbuch Metall. 6thed. Bangkok: King mongkut's university of technology north Bangkok; 2010.
12. Taylor JR. An introduction to Error Analysis. 2nded. California: University Science Books; 1997.
13. Cafferky ME, Wentworth J. Breakeven Analysis: The definitive guide to cost-volume-profit analysis. 2nded. New York: Business Expert Press; 2014
14. Nanagarden.com [Internet]. Maha Sarakham: Thanda Shop; 2018 [cited 2018 Dec 2]. Available form: <https://www.nanagarden.com/tag/Straw>
15. Bangchak.co.th [Internet]. Bangkok: Bangchak Corporation Public Company Limited; 2018 [cited 2019 May 2]. Available form: <https://www.bangchak.co.th/th/OilPrice/>
16. Ratchakitcha.soc.go.th [Internet]. Bangkok: Wage board announcement; 2018 [cited 2019 May 2]. Available form: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/>