



การทดสอบและประเมินผลสมรรถนะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยสำหรับอ้อยพันธุ์ แอลเค 92-11 Performance Evaluation of a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator for the LK92-11 Cultivar

ตณณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1*}, พุทธินันท์ จารูวัฒน์¹, มงคล ตุ่นเฮ้า¹, ประสาท แสงพันธุ์ตา¹, อนุชา เชาว์โชติ¹, วรธนะ สมณี¹,
รัชดา ปรัชเจริญวิชัย², กันต์ธกรณ์ เขาทอง³, แคนสรวง จงสุขไวก³

Tinnasit Kaisinburasak^{1*}, Puttinun Jaruwat¹, Mongkol Tunhaw², Prasat Sangphanta¹, Anucha Chaochot¹,
Wanthanah Somnuek¹, Ratchada Pratcharoenwanich², Kunthakorn Khaothong³, Dansuang Jongsukwai³

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรอำนาจเจริญ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 จ.อุบลราชธานี กรมวิชาการเกษตร

²Amnat Charoen Agricultural Research and Development center, Office of Agricultural and development Region 4 (Ubon Ratchathani),
Department of Agriculture

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
73140

³Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering at KamphaengSaen Kasetsart University Kamphaeng Saen district
Nakhonpathom 73140

*Corresponding author: Tel: 081-921-7601, Fax: 02-940-5583, E-mail: tinnasit@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในงานวิจัยนี้ สร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ส่วนการพรวนกลบใบอ้อยเป็นการเพิ่มธาตุในดินจากการกลบใบอ้อย รวมถึงลดปัญหาการเผาใบอ้อยในไร่ โดยออกแบบให้การสางใบและการพรวนกลบใบอ้อยสามารถทำงานพร้อมกันได้โดยมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทกสถิตขับเคลื่อนอุปกรณ์สางใบอ้อย และใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกลขับเคลื่อนไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนสำหรับพรวนกลบใบอ้อย ทำการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในพื้นที่ดินร่วน ความชื้นดินเฉลี่ย 14.46 %db ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย 1.89 g cm⁻³ และความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 1.96 MPa ปลูกอ้อยพันธุ์ แอลเค 92-11 ใน อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี เป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุ 10 เดือน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 ระดับ คือ 1.95 และ 2.45 km h⁻¹ มุมชุดจานไถ 3 ระดับคือ 36°, 40° และ 44° และความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 2 ระดับคือ 150 และ 180 rpm โดยมีความลึกในการไถเฉลี่ย 25 cm และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 rpm และประเมินผลโดยพิจารณาเลือกปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยจากแบบสอบถามระดับความสำคัญของผลการทดสอบ และระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก พบว่า ปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.95 km h⁻¹ มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 150 rpm และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 rpm ให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุด 3.837 ใช้กำลังรวม 10.12 kW มีประสิทธิภาพในการสางใบอ้อย 83.16% ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย 92.41% และมีอัตราการทำงานทางทฤษฎี 2.34 rai h⁻¹

คำสำคัญ: อ้อย เครื่องสางใบอ้อย อุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย

Abstract

The purpose of this study was to design and develop a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator to facilitate labor in harvesting and alleviate the effects of sugarcane burning on the sugarcane field and improve soil fertility. No equipment can simultaneously perform both processes of leaf stripping and trash incorporation. This research aimed to design equipment capable of performing both processes by applying the hydrostatic power

Received: May 24, 2025

Revised: July 06, 2025

Accepted: August 25, 2025

Available online: December 22, 2025

transmission to the Sugarcane Leaf Stripper and the mechanical power transmission to the spiral-notched disc tillage unit. It was tested with the LK 92-11 sugarcane cultivar at 10 months of age in Pibulmangsan district, Ubon Ratchathani province. The experiments were conducted in loam soil with a moisture content of 14.46% (db), 1.89 g cm⁻³ dry bulk density, 1.96 MPa cone penetration resistance at two forward speeds (1.95 and 2.45 km h⁻¹), three gang angles (36°, 40° and 44°), two disk revolution speeds (150 and 180 rpm), a constant tillage depth of 25 mm and a fixed roller speed of 800 rpm. The optimum operating parameters were evaluated using a weighted arithmetic mean method based on user satisfaction and perceived importance. These values were then used to calculate the user satisfaction index, with the highest value of 3.837, corresponding to a forward speed of 1.95 km h⁻¹, a gang angle of 36°, and a disc speed of 150 rpm. The experimental results showed that the machine required 10.12 kW of total power, achieved a stripping efficiency of 83.16%, a trash covering efficiency of 92.4%, and a theoretical field capacity of 2.34 rai h⁻¹.

Keywords: Sugarcane, Sugarcane Leaf Stripper, Trash Incorporator

1 บทนำ

การเผาใบอ้อยในไร่เป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในไร่อ้อยและสิ่งแวดล้อมเนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อยสด และค่าจ้างแรงงานสูง รวมถึงความรวดเร็วในการตัดอ้อย (กล้าณรงค์, 2546) การเผาใบอ้อยในไร่ส่งผลกระทบต่อสภาพโครงสร้างดิน โดยดินสูญเสียความชื้น ก้อนดินจับตัวกันแน่นและแข็ง ส่งผลให้รากอ้อยเจริญเติบโตไม่เต็มที่ นอกจากนี้ยังทำให้อินทรีย์วัตถุในดินลดน้อยลง เพราะเศษซากใบอ้อยถูกเผาทำลายไป ส่งผลให้คุณสมบัติของดินลดลงและเกิดอาการดินเสื่อมในที่สุด นอกจากนี้การเผาอินทรีย์วัตถุจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าใช้วิธีการสางใบก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อย 2 เดือนล่วงหน้า เพื่อให้แรงงานคนเข้าตัดได้สะดวก โดยมุ่งหวังแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานตัดอ้อยสด และลดปัญหาการเผาใบ นอกจากนี้ความสะอาดจากการสางใบทำให้แสงแดดส่องผ่าน อากาศระบายได้ดี ทำให้ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักอ้อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เมื่อตัดอ้อยเข้าโรงงานเกษตรกรรมรายได้สูงขึ้น นอกจากนี้ใบอ้อยที่ปกคลุมดินระหว่างร่องอ้อยจากการสางใบเมื่อมีการไถพรวนดินพร้อมการสับและฝังกลบใบอ้อยเป็นการปรับปรุงสภาพการหมุนเวียนของน้ำและอากาศในโครงสร้างดินและเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อีกทั้งการพรวนดินเพื่อกลบใบอ้อยยังสามารถลดปัญหาการลุกลามของอ้อยไฟไหม้

ัญญา และวิชัย (2554) ได้ศึกษาสมรรถนะการไถพรวนเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ category II ในแปลงอ้อยโดยศึกษา งานไถมาตรฐาน และงานไถใบจักรแบบเกลียว (spiral-notched disk) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ต่อหนึ่งหน่วยความลึกน้อยกว่าเครื่องมือไถงานหมุนอิสระ อีกทั้งการใช้งานไถใบจักรแบบเกลียวส่งผลทำให้การสับใบอ้อยที่ปกคลุมผิวดินและการคลุกเคล้าใบอ้อยในเนื้อดินได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ และตฤณสิษฐ์ และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถสางใบอ้อยพันธุ์ LK92-11 อุทอง 84-12 K95-84 กำแพงแสน 01-12 และพันธุ์ขอนแก่น 3 สำหรับตัดทำพันธุ์ได้ทั้งหมด โดยใช้ลูกตีสางใบฝั่งละ 1 ลูก เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง ใบอ้อยที่ได้จากการสางใบแตกป่น ไม่ฟุ้งกระจาย และตกคลุมดินสม่ำเสมอ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยที่สามารถสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยได้ในการทำงานคราวเดียวกัน โดยใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตในการขับเคลื่อนอุปกรณ์สางใบอ้อย และใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกลในการขับเคลื่อนอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ประสมค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย และวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆสำหรับเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าที่แสดงสมรรถนะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย ประกอบด้วย กำลังดูดลาก (Drawbar power) กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย (Specific Power) กำลังที่เพลานำจ่ายกำลัง (P.T.O power) กำลังรวม (Total power) ประสิทธิภาพการสางใบอ้อย (Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency) และประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย (Trash Covering Efficiency)

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 โครงสร้างและลักษณะจำเพาะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยที่ออกแบบแสดงใน Figure 1 และสร้างแสดงใน Figure 2 เป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาจากเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่ออกแบบโดย ตฤณสิษฐ์ และคณะ (2563) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือ อุปกรณ์สางใบอ้อย และอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครง

เครื่องมือ อุปกรณ์สางใบอ้อยประกอบด้วยลูกตีสางใบอ้อยทั้งหมด 2 ลูก มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 248 mm ยาว 1,000 mm วางในทิศทางขนานกับพื้นบริเวณพื้นที่ผิวติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้าความยาว 400 mm. ติดตั้งห่างกัน 50 mm สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ ขณะทำงานลูกตีสางใบอ้อยจะหมุนรอบแกนหมุนที่ติดตั้งอยู่บนโครงเครื่องมือและทำให้เส้นเอ็นตัดหญ้าหมุนตีสางใบอ้อยลงมา ระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก 970 mm โดยเส้นเอ็นตัดหญ้าที่ติดตั้งบนลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูกติดตั้งสลับกันป้องกันความเสียหายจากการตีกันระหว่างการทำงาน

โครงเครื่องมือส่วนแรก เป็นคานในแนวขวางพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง ขนาด 100 x 110 mm ยาว 1,000 mm ส่วนที่สอง เป็นเสา 2 ต้นวางในแนวตั้งทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 mm หนา 2 mm สูง 2,000 mm ประกอบเป็นจุดยึดกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก และระบบส่งกำลังโดยใช้โซ่ลำเลียงซึ่งยึดติดกับคานในแนวตามยาว ส่วนที่สามเป็นคานในแนวตามความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 mm หนา 2 mm ยาว 1,740 mm ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดจุดหมุน และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก ส่วนที่สี่เป็นคานตามแนวความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 mm หนา 2 mm ยาว 1,850 mm ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดกล่องเกียร์ทด และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่สำหรับอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยที่ใช้จานจานไถใบจักรแบบเกลียว (spiral-notched disk) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 in จำนวน 3 ใบ โดยมีหน้ากว้างในการทำงาน 1,200 mm

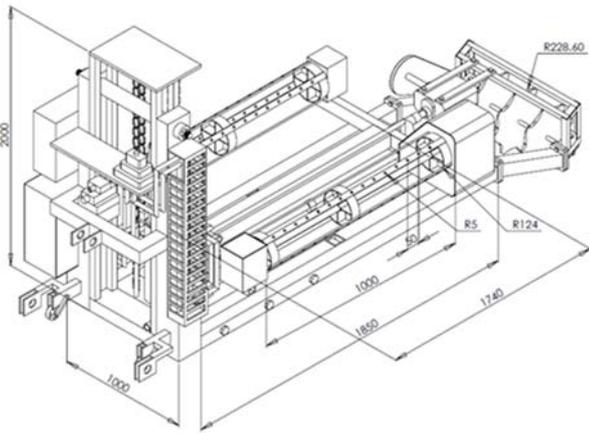


Figure 1 The isometric drawing of a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator.



Figure 2 The prototype of a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator.

2.2 หลักการทำงานของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยใช้เพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 540 rpm ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง 2 ชุด ชุดเฟืองแรกอัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิก 1 และ 2 ขนาด 55 cc rev⁻¹ ที่ความเร็วรอบ 2,160 rpm ดึงน้ำมันจากถังไฮดรอลิก ขนาด 25 liter ผ่านตัวกรองน้ำมัน มีอัตราการไหล 98 liter min⁻¹ มีวาล์วควบคุมความดันแบบปรับด้วยมือที่ 250 bar น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 และ 2 โดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ และต่อไปยังกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกซึ่งต่อกับชุดกลไกการเคลื่อนที่ของลูกตีสางใบอ้อย ทำให้ลูกตีสางใบอ้อยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งตามความสูงของต้นอ้อย ส่วนวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 2 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) ที่ออกแบบโดย ตฤณสิทธิ์ และคณะ (2563) และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc rev⁻¹ แรงบิดสูงสุด 264 N-m ซึ่งต่อกับชุดกลไกการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย น้ำมันที่ผ่านกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกจะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงานจะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศขนาด 250 kcal h⁻¹ เพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน การทำงานของระบบไฮดรอลิกแสดงใน Figure 3 ชุดเฟืองที่สองอัตราทด 1:1 ถ่ายทอดกำลังผ่านกล่องเกียร์ทดอัตราทด 39:6 และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่อัตราทด 21:38 ไปยังจานจานไถใบจักรแบบเกลียวสำหรับพรวนกลบใบอ้อย ส่วนการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีสามารถป้องกันความเร็วที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุมที่ติดตั้งด้านข้างของตัวเครื่องด้วยปุ่มหมุนแสดงใน Figure 4

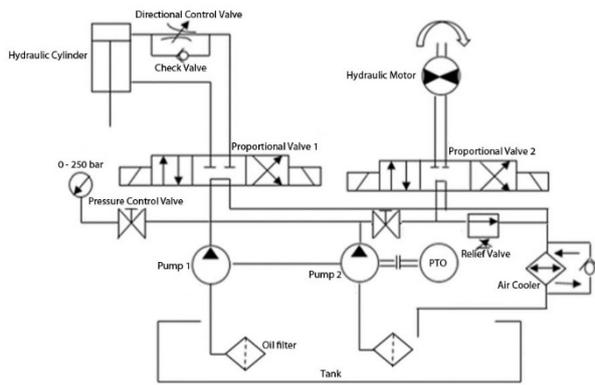
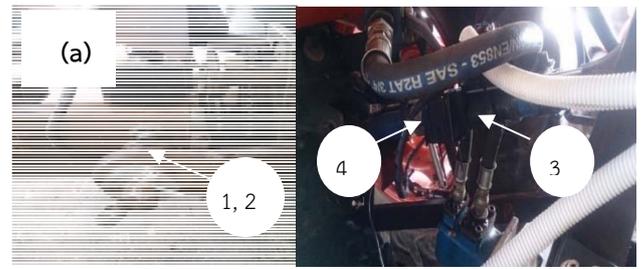


Figure 3 The schematic diagram of hydraulic system for installing on a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator.



(1),(2) = lower link pin (3) = top link (4) = potentiometer (5),(6) = torque transducer (7) = Rotary Encoder



Figure 4 the controlling of the revolution for a stripping roller on the electrical control panel.

2.3 การติดตั้งอุปกรณ์วัด

การวัดแรงฉุดลาก (Drawbar pull) ดำเนินการโดยการติดตั้ง strain gauges แบบ wheatstone bridge บน lower link pin ทั้งสองอัน (1),(2) และ top link (3) ติดตั้งตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อวัดมุมเอียงระหว่างแนวระนาบกับแนวแกน top link (4) ติดตั้ง torque transducer 3 ตัว ตัวที่ 1 และ 2 เพื่อวัดแรงบิดที่เพลลาอำนาจกำลัง และวัดแรงบิดที่เพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ (5) ตัวที่ 3 เพื่อวัดแรงบิดที่เพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางใบ (6) และติดตั้งอุปกรณ์ Rotary Encoder 3 ตัว (7) ตัวที่ 1, 2 และ 3 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพลลาอำนาจกำลัง ความเร็วรอบการหมุนของเพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ และความเร็วรอบการหมุนของเพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางใบ ตามลำดับ (Figure 5a) สัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดเหล่านี้จะส่งผ่านไปยังโปรแกรมประมวลผล เพื่อดำเนินการกำลังฉุดลาก กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก กำลังจากเพลลาอำนาจกำลัง และกำลังรวม ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino 1.6.9 ที่บอร์ดควบคุม และแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ (Figure 5b)



Figure 5 (a) Installation of the measuring equipment on a Sugarcane Leaf Stripper and Trash Incorporator.

(b) The program displays the results on the screen.

2.4 การทดสอบผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย ประกอบด้วย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์มุมชุดงานไถ (gang angle) และความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านงานไถ การทดสอบเลือกใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ Low 1 (1.95 km h^{-1}) และ Low 2 (2.45 km h^{-1}) เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์มีผลต่อกำลังฉุดลากขณะไถพลิกกลบดินโดยอุปกรณ์ไถงานชนิดใช้กำลังขับ (ศิริศักดิ์ และคณะ, 2560) มุมชุดงานไถ 3 ระดับคือ 36° , 40° และ 44° เนื่องจากมุมงานไถมีผลต่อแรงฉุดลาก โดยมุมงานไถเพิ่มขึ้นแรงฉุดลากในแนวระดับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมุมงานไถมีขนาด 30° แรงฉุดลากในระดับเริ่มคงที่ เมื่อมุมงานไถเพิ่มขึ้นจนถึง 45° ส่งผลให้แรงฉุดลากในแนวระดับลดลง แต่แรงฉุดลากในแนวระดับต่อความกว้างในการตัดดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Hettiarachi, 1997) และความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านงานไถ 2 ระดับคือ 150 และ 180 rpm เนื่องจากความเร็ว

รอบการหมุนที่ผ่านจานไถมีผลต่อการพลิกกลบดิน และกำลังที่เพลลาอำนาจกำลัง โดยความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถระหว่าง 150 ถึง 180 rpm การพลิกกลบดินดีจากการแตกตัวของก้อนดินละเอียด แต่ใช้กำลังที่เพลลาอำนาจกำลังเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถเพิ่มขึ้น (Hoki *et al.*, 1988) โดยมีความลึกในการไถกลบใบอ้อยเฉลี่ย 25 cm เนื่องจากระบบรากของอ้อยเป็นแบบรากฝอย ความลึกที่แนะนำคือ 25-30 cm เพื่อให้รากอ้อยสามารถหาอาหารได้ง่ายและเพียงพอ ช่วยในการรักษาความชื้นในดิน ควบคุมวัชพืช และปรับปรุงคุณภาพดิน (วิมล และวรรณวิภา, 2561)

ส่วนอุปกรณ์สร้างใบอ้อยกำหนดเป็นค่าคงที่เนื่องจากการสร้างใบอ้อยเพื่อตัดเข้าโรงงาน ไม่สนใจความเสียหายของตาอ้อยและลำอ้อย แตกต่างจากการสร้างใบเพื่อตัดทำพันธุ์ปลูกที่ต้องใช้ตาอ้อย และลำอ้อยในการปลูก ได้แก่ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสร้างใบ 0.5 m s^{-1} ทิศทางการหมุนของลูกตีสร้างใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสร้างใบ 2.8 m และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสร้างใบอ้อย 800 rpm (ตฤณสิทธิ์ และคณะ, 2563) การทดลองทั้งหมดมี 12 กรรมวิธี ดังแสดงใน Table 1 แต่ละกรรมวิธี ทำการทดลอง 3 ครั้ง ขนาดแปลงทดสอบ $1.5 \times 10 \text{ m}$ ต่อกรรมวิธี โดยวางแผนการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ RCBD factorial รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นรถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น B2440 ขนาด 24 hp ทำการทดลองที่บ้านท่าคือ ต.โพธิ์ศรี อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี พันธุ์อ้อยที่ทดสอบคือ แอลเค 92-11 เป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุ 10 เดือน ความสูงเฉลี่ย 2.8 m ชนิดของดินเป็นดินร่วน ประกอบด้วย อนุภาคดินทราย 40.1% อนุภาคดินทรายแป้ง 46.2% และอนุภาคดินเหนียว 13.7% สมบัติของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 cm มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 14.46 % (db) ความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินเฉลี่ย 1.89 g cm^{-3} ความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 1.96 MPa

Table 1. The factors for testing is shown by the treatments

Treatments	Forward speed (km/h)	gang angle (Degree)	Revolution of the spiral-notched disk (rev/min)
1	Low1	36	150
2	Low1	40	150
3	Low1	44	150
4	Low1	36	180
5	Low1	40	180
6	Low1	44	180
7	Low2	36	150
8	Low2	40	150
9	Low2	44	150
10	Low2	36	180
11	Low2	40	180
12	Low2	44	180

Note: The treatments is done 3 repetitions.

การทดสอบในแต่ละกรรมวิธีจะทำการวัดค่าต่างๆ ประกอบด้วย

2.4.1 กำลังฉุดลาก (Drawbar power, P_D) คือ ผลคูณของแรงฉุดลาก กับความเร็วรถแทรกเตอร์

$$P_D = F_D \times v \tag{1}$$

เมื่อ P_D = กำลังฉุดลาก (kW)
 v = ความเร็วรถแทรกเตอร์ (m s^{-1})
 F_D = แรงฉุดลาก คือ แรงที่เกิดจาก

ผลรวมของแรงฉุดลากในแนวระดับที่ Lower link pins กับแรงดึงในแนวระดับของ Top link (kN)

2.4.2 กำลังที่เพลลาอำนาจกำลัง (P.T.O power, P_{PTO}) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพลลาอำนาจกำลัง กับความเร็วเชิงมุมของเพลลาอำนาจกำลัง

$$P_{PTO} = \frac{2\pi N_{PTO} \times T_{PTO}}{60,000} \tag{2}$$

เมื่อ P_{PTO} = กำลังที่เพลลาอำนาจกำลัง (kW)
 N_{PTO} = ความเร็วรอบของเพลลาอำนาจกำลัง (rpm)
 T_{PTO} = แรงบิดที่เพลลาอำนาจกำลัง (N-m)

2.4.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย (Specific Power, P_{SP}) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังขับที่เพลาชับเคลื่อนอุปกรณ์ไถต่อพื้นที่หน้าตัดการไถของผาลงานใบจักรที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ พื้นที่หน้าตัดดังกล่าวคำนวณได้จากสมการคำนวณพื้นที่รับแรงดันที่นำเสนอโดย Abo El Ees and Wills (1986)

$$P_{SP} = \frac{P_{TCP}}{A_p} \quad (3)$$

เมื่อ P_{TCP} = กำลังขับที่เพลาชับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ (kW)
 A_p = พื้นที่หน้าตัดการไถของผาลงานที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (m^2)

2.4.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (motor hydraulic power, P_{Motor}) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพลาชับลูกตีสางใบอ้อย กับความเร็วเชิงมุมของเพลาชับลูกตีสางใบอ้อย

$$P_{Motor} = \frac{2\pi N_{SLR} \times T_{SLR}}{60,000} \quad (4)$$

เมื่อ P_{Motor} = กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (kW)
 N_{SLR} = ความเร็วรอบของเพลาชับลูกตีสางใบอ้อย (rpm)
 T_{SLR} = แรงบิดที่เพลาชับลูกตีสางใบอ้อย (N-m)

2.4.5 กำลังรวม (total power, P_{Total}) คือ ผลรวมของกำลังฉุดลากกับกำลังที่เพลารอกกำลัง

$$P_{Total} = P_D + P_{PTO} \quad (5)$$

เมื่อ P_{Total} = กำลังรวม (kW)

2.4.6 การประเมินประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยทำได้โดยการคำนวณหาร้อยละพื้นที่การพรวนกลบใบอ้อยจากภาพถ่าย การกลบวัสดุอ้อยในกรอบเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1×1 ตร.ม. คำนวณด้วยสมการที่ (6) (ศิริศักดิ์ และคณะ, 2560)

$$Trash\ Covering\ Efficiency: C. E. (\%) = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ A_1 = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถกับแนวอ้อยต่อ (m^2)

A_2 = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถถึงแนวการพลิกกลบใบอ้อย (m^2)

2.4.7 ประสิทธิภาพในการสางใบอ้อย คือ การคำนวณหาร้อยละจำนวนใบอ้อยที่ได้จากการสางใบอ้อย โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนใบอ้อยที่ได้จากการสางใบอ้อยกับจำนวนใบอ้อยทั้งหมด

$$Stripping\ of\ Sugarcane\ Leaf\ Efficiency(\%) = \frac{N_2}{N_1} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ N_1 = จำนวนใบอ้อยทั้งหมด (ใบ)
 N_2 = จำนวนใบอ้อยที่ได้จากการสางใบอ้อย (ใบ)

2.4.8 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี (theoretical field capacity, TFC) หาได้จากสมการที่ 8

$$TFC = W_t \times V_t \times 2.25 \quad (8)$$

เมื่อ TFC = ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ($rai\ h^{-1}$)

W_t = หน้ากว้างในการทำงานทางทฤษฎี (หน้ากว้างในการทำงานของเครื่องจักรในการทดสอบนี้คือ 1.5 m) (m)

V_t = ความเร็วเฉลี่ยในการทำงาน ($m\ s^{-1}$) มีค่าเท่ากับ $\left(\frac{S}{T_t}\right)$ โดยที่

S = ระยะทางในการทำงาน (m) (ในการทดสอบนี้ความยาวของแปลงทดสอบในแต่ละกรรมวิธีคือ 10 m)

T_t = เวลาที่ใช้ในการทำงาน (s) โดยที่ไม่รวมเวลาสูญเสียที่ใช้ในการกลับรถ การนำเข้า และใส่ผลผลิต การเติมน้ำมัน การซ่อมแซม และปรับแต่งเครื่อง

ระหว่างการทดสอบคณะผู้วิจัยได้คัดเลือกเกษตรกรชาวไร่ อ้อยจำนวน 30 คน ที่มีประสบการณ์ในการทำไร่อ้อยและใช้เครื่องจักรกลเกษตรมากกว่า 10 ปี ในพื้นที่ อ.พิบูลมังสาหาร และใกล้เคียง รวมถึงนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตร จำนวน 15 คน ที่มีประสบการณ์ในการทำงานวิจัยเรื่องอ้อยมากกว่า 5 ปีร่วมทำการทดสอบ และตอบแบบสอบถามหลังการทดสอบเกี่ยวกับระดับความสำคัญของผลการทดสอบ และระดับความพึงพอใจต่อผลการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์หากรรมวิธีที่เหมาะสมในการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Arithmetic Mean Method) จากสมการที่ 9

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก } (\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (9)$$

เมื่อ w_i = ระดับความสำคัญของค่าทดสอบแต่ละค่าที่ได้จากการทำแบบสอบถามของเกษตรกร และนักวิชาการเกษตร

X_i = ระดับความพอใจของค่าทดสอบแต่ละค่าที่ได้จากการทำแบบสอบถามของเกษตรกร และนักวิชาการเกษตร

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

3.1.1 กำลังฉุดลาก (Drawbar power)

เป็นกำลังที่รถแทรกเตอร์ใช้ขับเคลื่อนเครื่องต้นแบบขณะทำการสางใบ และพรวนกลบใบอ้อยเพื่อเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้น ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 150 และ 180 rpm ที่ความเร็ว 2.45 km h⁻¹ รถแทรกเตอร์ต้องใช้กำลังฉุดลากสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 km h⁻¹ กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 km h⁻¹ เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 km h⁻¹ ค่ากำลังฉุดลากขณะอุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยจะเพิ่มขึ้น 30.12 – 30.84% และ 32.03 – 35.63% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถ (gang angle) ทั้งกรณีผ่านจานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 rpm พบว่า ขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° ค่ากำลังฉุดลากเพิ่มขึ้น 0.94 – 2.19% และ 1.25 – 2.28% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° ค่ากำลังฉุดลากเพิ่มขึ้น 1.23 – 1.92% และ 0.86 – 1.69% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 6a) โดยขนาดมุมชุดจานไถไม่ส่งผลทำให้กำลังฉุดลากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความเร็วการเดินทางเดียวกัน แต่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ที่เร็วกว่าจะส่งผลทำให้กำลังฉุดลากเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ ศิริศักดิ์ และคณะ (2561) และ Hettiarachi, (1997)

3.1.2 กำลังที่เพลอาำนวยกำลัง (P.T.O. power)

เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฮดรอลิกเพื่อสางใบอ้อยและผาลจานใบจักรเพื่อหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อย ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 150 และ 180 rpm ที่ความเร็ว 2.45 km h⁻¹ อุปกรณ์ต้องใช้กำลังที่เพลอาำนวยกำลังสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 km h⁻¹ กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 km h⁻¹ เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 km h⁻¹ ค่ากำลังที่เพลอาำนวยกำลังขณะอุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยจะเพิ่มขึ้น 13.26 – 21.00% และ 9.61 – 20.76% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถทั้งกรณีผ่านจานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 rpm พบว่า ขนาดมุมจานไถส่งผลทำให้กำลังที่เพลอาำนวยกำลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความเร็วการเดินทางเดียวกัน ขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพลอาำนวยกำลังเพิ่มขึ้น 10.81 – 15.43% และ 6.99 – 14.79% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40°

อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพลอาำนวยกำลังเพิ่มขึ้น 9.21 – 12.00% และ 8.32 – 11.23% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 6b) อีกทั้งผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าการไถพรวนพลิกกลบดินที่ความเร็วรอบการหมุนผาลจานไถ 150 และ 180 rpm ปริมาณการใช้กำลังขับเคลื่อนที่เพลอาำนวยกำลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับ ศิริศักดิ์ และคณะ (2561) และ Hoki et al., (1988)

3.1.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย (Specific Power)

ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 150 และ 180 rpm ที่ความเร็ว 2.45 km h⁻¹ อุปกรณ์ต้องใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 km h⁻¹ กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 km h⁻¹ เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 km h⁻¹ ค่ากำลังจำเพาะขณะอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยจะเพิ่มขึ้น 3.70 – 22.33% และ 10.00 – 26.81% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถทั้งกรณีผ่านจานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 rpm พบว่า ขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 19.75 – 34.52% และ 17.00 – 32.73% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 6.19 – 11.50% และ 17.95 – 19.86% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 6c) ค่ากำลังจำเพาะที่เพลอาำนวยกำลังมีขนาดลดลงเมื่ออุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถที่โตมากขึ้น สาเหตุมาจากปริมาตรดินในการพรวนกลบเพิ่มขึ้นเมื่ออุปกรณ์ไถพรวนดินด้วยมุมชุดจานไถที่โตขึ้น ความเร็วรอบการหมุนของผาลจานไถที่ช้ากว่าและความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ที่เร็วกว่าจะส่งผลทำให้ปริมาตรดินต่อรอบการไถของจานไถมีปริมาณมากซึ่งส่งผลทำให้ค่ากำลังจำเพาะที่เพลอาำนวยกำลังลดลง และสอดคล้องกับ ศิริศักดิ์ และคณะ (2560)

3.1.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (Motor hydraulic power)

เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนลูกตีสางใบอ้อย กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 km h⁻¹ เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 km h⁻¹ ค่ากำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกขณะอุปกรณ์สางใบอ้อยจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 36.04% จากแรงต้านใบอ้อยที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจากภาระโหลด (ปริมาณใบอ้อย) ที่เข้ามาบริเวณลูกตีสางใบเพิ่มขึ้น

3.1.5 กำลังรวม (Total power)

เป็นผลรวมของกำลังฉุดลากกับกำลังที่เพลอาำนวยกำลัง ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผ่านจานไถ 150 และ 180 rpm ที่ความเร็ว 2.45 km h⁻¹ ค่ากำลังรวมสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 km

h^{-1} กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 km h^{-1} เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 km h^{-1} ค่ากำลังรวมจะเพิ่มขึ้น $17.86 - 23.81\%$ และ $15.63 - 25.40\%$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถทั้งกรณีฟันจานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 rpm พบว่า ขนาดมุมจานไถส่งผลทำให้กำลังรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความเร็วการเดินทางเดียวกัน ขณะที่อุปกรณ์สามใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° ค่ากำลังรวมเพิ่มขึ้น $8.16 - 11.25\%$ และ $4.32 - 10.13\%$ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์สามใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° ค่ากำลังรวมเพิ่มขึ้น $6.62 - 8.89\%$ และ $6.08 - 8.98\%$ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 6d) อีกทั้งผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าการไถพรวนพลิกกลบดินที่ความเร็วรอบการหมุนผลจานไถ 150 และ 180 rpm ปริมาณการใช้กำลังรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

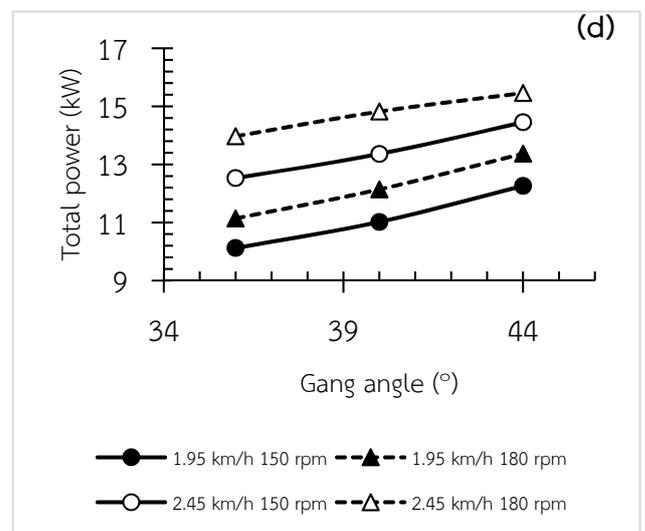
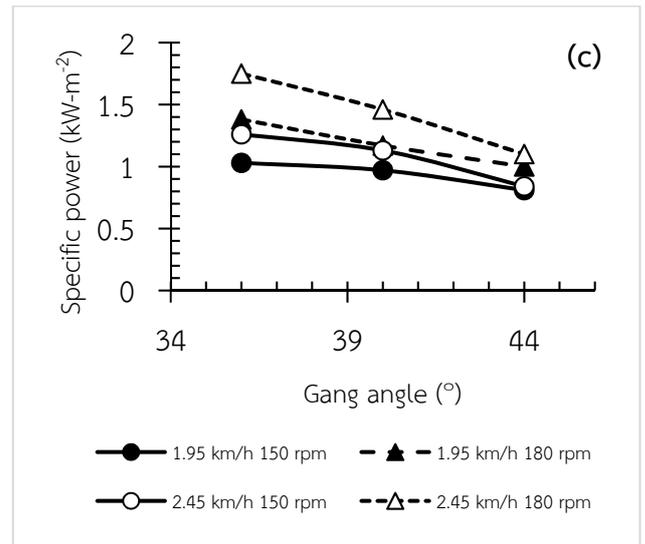
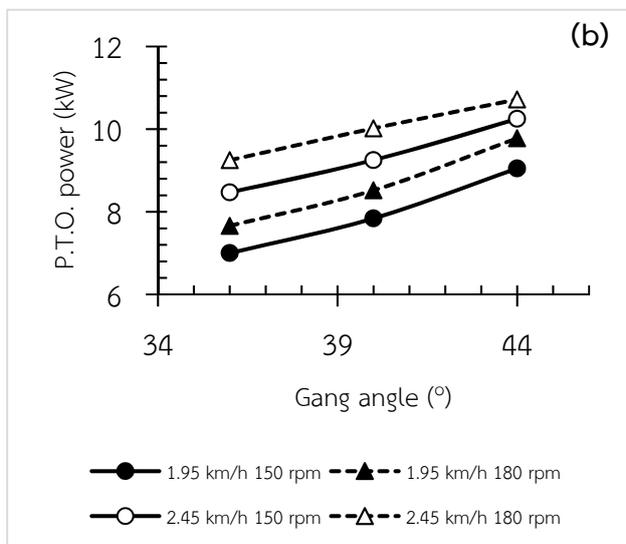
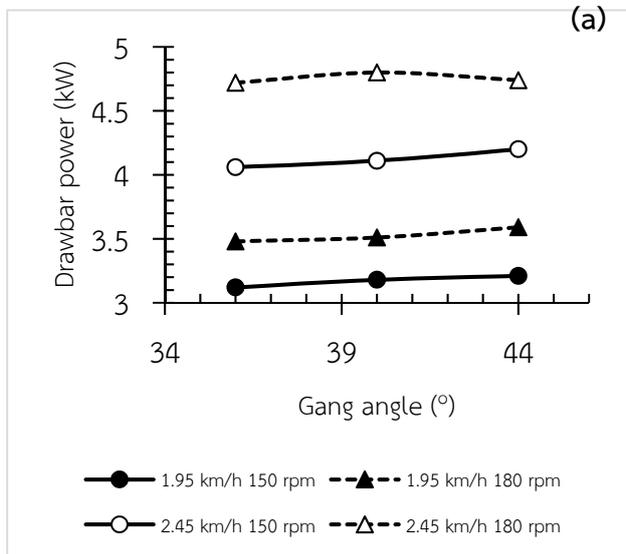


Figure 6 (a) Drawbar power at the conditions of 36° , 40° and 44°

(b) P.T.O power at the conditions of 36° , 40° and 44°

(c) Specific power at the conditions of 36° , 40° and 44°

(d) Total power at the conditions of 36° , 40° and 44°

3.1.6 ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย (Trash Covering Efficiency)

ที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง $92.41 - 96.85\%$ สำหรับกรณีมุมชุดจานไถ 40° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง $93.82 - 94.31\%$ และที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 44° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง $94.16 - 94.88\%$ (Figure 7a) โดยประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยมีค่าไม่ถึง 100% สาเหตุเกิดจากการออกแบบฟันจานไถจำนวน 3 ใบ ให้ไถกลบวัสดุอ้อยระหว่างร่องปลูกอ้อยทำให้แนวการพลิกกลบใบอ้อยไม่ถึงแนวอ้อยต่อ นอกจากนี้ที่ศรีสะเกษ และ

คณะ (2560) กล่าวว่า ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยน้อยกว่า 90% จะไม่สามารถบรรเทาปัญหาการลุกลามของไฟในไร่อ้อย ดังนั้นประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยควรสูงกว่า 90% โดยทุกกรรมวิธีมีค่ามากกว่า 90%

3.1.7 ประสิทธิภาพการสางใบอ้อย (Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency)

ที่ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 m s^{-1} ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสางใบ 2.5 m ความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 rpm ประสิทธิภาพการสางใบอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 82.25 – 84.65% เนื่องจากใบบริเวณยอดลำอ้อยที่มีความสูงเกิน 2.8 m (ปริมาณใบประมาณ 15 - 20%) ไม่ได้ถูกเครื่องสางลงมา แต่ความสะอาดเพียงพอให้แรงงานคนเข้าตัด (Figure 7b) และจากการทดสอบ พบว่า มากกว่า 80% แรงงานคนเข้าตัดอ้อยได้สะดวก โดยทุกกรรมวิธีมีค่ามากกว่า 80%

3.1.8 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี (Theoretical field capacity)

ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถแทรกเตอร์ เมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ 1.95 km h^{-1} พบว่า มีอัตราการผลิตไร่ต่อชั่วโมงน้อยและมีค่าเป็นบวกส่งผลให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์ลดลงจากการสิ้นเปลืองของล้อแทรกเตอร์ส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านของดินที่กระทำต่อชุดไถมีค่ามากกว่าแรงต้านของดินที่ล้อแทรกเตอร์ และเมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.45 km h^{-1} เปอร์เซ็นต์การผลิตไร่ต่อชั่วโมงกลับจากการใช้ไถงานที่มีกำลังขับ ส่งผลให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นขณะทำงานส่วนใบอ้อยซึ่งเป็นภาระ (Load) ของอุปกรณ์สางใบอ้อยจะอยู่ด้านข้างของรถแทรกเตอร์ และอ้อยบางส่วนที่แตกออกจะถูกการ์ดป้องกันต้นอ้อยซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ดันออก จึงไม่ส่งผลต่อความเร็วของรถแทรกเตอร์ และไม่ส่งผลต่ออัตราการทำงานทางทฤษฎีของเครื่อง

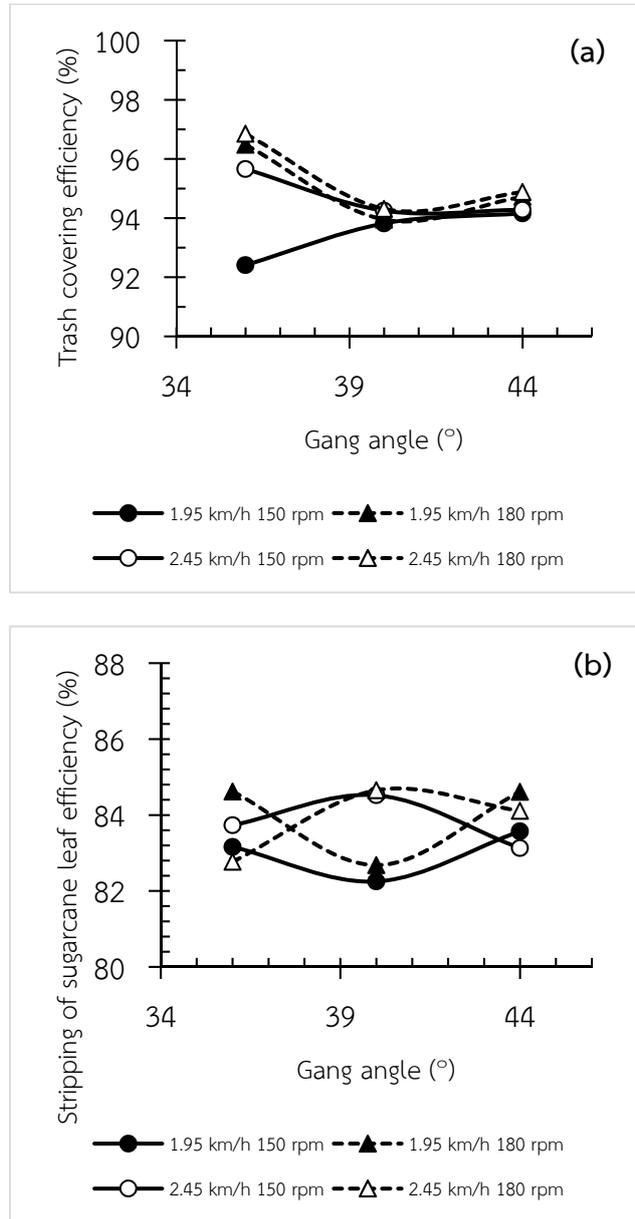


Figure 7 (a) Trash covering efficiency at the conditions of 36°, 40° and 44°

(b) Stripping of sugarcane leaves efficiency at the conditions of 36°, 40° and 44°

ผลการทดสอบทุกกรรมวิธีแสดงใน Table 2

Table 2. Results of testing Drawbar power, P.T.O power, Total power, Specific Power, Motor hydraulic power, Trash Covering Efficiency, Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency and Theoretical field capacity.

Treat ment	Drawbar power (kW)	P.T.O. power (kW)	Total power (kW)	Specific Power (kW-m ⁻²)	Motor hydraulic power (kW)	Trash Covering Efficiency (%)	Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency (%)	Theoretical field capacity (rai h ⁻¹)
1	3.12	7.00	10.12	1.03	2.68	92.41	83.16	2.34
2	3.18	7.84	11.02	0.97	2.72	93.82	82.25	2.32
3	3.21	9.05	12.26	0.81	2.87	94.16	83.57	2.31
4	3.48	7.66	11.14	1.38	2.77	96.48	84.62	2.35
5	3.51	8.52	12.14	1.17	2.92	93.95	82.68	2.34
6	3.59	9.78	13.37	1.00	2.94	94.72	84.61	2.34
7	4.06	8.47	12.53	1.26	3.66	95.66	83.73	2.81
8	4.11	9.25	13.36	1.13	3.85	94.25	84.52	2.82
9	4.20	10.25	14.45	0.84	3.98	94.28	83.13	2.80
10	4.72	9.25	13.97	1.75	3.64	96.85	82.77	2.82
11	4.80	10.02	14.82	1.46	3.87	94.31	84.65	2.83
12	4.74	10.72	15.46	1.10	3.99	94.88	84.11	2.83

Note: The results of the experiment are an average of 3 replicates.

3.2 ผลการหาปัจจัยทดสอบที่เหมาะสม (optimum) สำหรับการ การสางใบและพรวนกลบใบอ้อยโดยเครื่องสางใบพร้อม พรวนกลบใบอ้อย

ระดับความสำคัญของผลการทดสอบ และระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบทั้งหมด 4 ค่า ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย ประสิทธิภาพในการสางใบอ้อย กำลังรวม หรืออัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการทำงานทางทฤษฎี โดยระดับความสำคัญของผลการทดสอบจะให้ผู้ร่วมทดสอบตอบแบบสอบถามภายหลังการทดสอบเกี่ยวกับค่าทดสอบใดมีความสำคัญเรียงลำดับสูงสุด-ต่ำสุด สำหรับการสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย ส่วนระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบ ผู้วิจัยแบ่งระดับของค่าทดสอบแต่ละค่าเป็น 4 ระดับ ภายหลังการทดสอบให้ผู้ร่วมทดสอบตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจของผลทดสอบแต่ละค่าเรียงลำดับจากหมายเลข 1-4 (น้อยที่สุด-มากที่สุด) สำหรับค่ากำลังรวม ผู้วิจัยทำการวัดค่ากำลังรวมที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 4 ระดับ แล้ววัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ด้วยกระบอกตวง จากนั้นเทียบเป็นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อไร่ เพื่อให้ผู้ร่วมทดสอบเข้าใจง่ายขึ้น ผลการตอบแบบสอบถามแสดงใน Table 3

Table 3: The level of satisfaction and significance for the results of testing.

Test results	Level	Level of satisfaction	Level of significance (%)
Trash Covering Efficiency	> 90 (%)	4	25.28
	90 - 88 (%)	3	
	88 - 85 (%)	2	
Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency	< 85 (%)	1	28.32
	> 80 (%)	4	
	80 - 75 (%)	3	
Total power or Fuel consumption	75 - 70 (%)	2	30..14
	< 70 (%)	1	
	< 11.0 (kW) or < 1.50 (liter/rai)	4	
	12.5 – 11.0 (kW) or 1.75 – 1.50 (liter/rai)	3	
	15.0 – 12.5 (kW) or 2.0 – 1.75 (liter/rai)	2	
Theoretical field capacity	> 15.0 (kW) or > 2.0 (liter/rai)	1	16.26
	> 2.5 (rai h ⁻¹)	4	
	2.5 – 2.3 (rai h ⁻¹)	3	
	2.3 – 2.0 (rai h ⁻¹)	2	
< 2.0 (rai h ⁻¹)	1		

เมื่อนำผลการทดสอบจาก Table 2 มาเปรียบเทียบกับระดับความพึงพอใจจาก Table 3 แล้วหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ 9 จะได้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักแสดงใน Table 4

Note: 4 = very good, 3 = good, 2 = medium and 1 = not good

Table 4 Weighted Arithmetic Mean of Experiments

Treatment	Trash Covering Efficiency		Stripping of Sugarcane Leaf Efficiency		Total power		Theoretical field capacity		Weighted Arithmetic Mean
	(%)	level	(%)	level	(kW)	level	(rai h ⁻¹)	level	
1	92.41	4	83.16	4	10.12	4	2.34	3	3.837
2	93.82	4	82.25	4	11.02	3	2.32	3	3.536
3	94.16	4	83.57	4	12.26	3	2.31	3	3.536
4	96.48	4	84.62	4	11.14	3	2.35	3	3.536
5	93.95	4	82.68	4	12.14	3	2.34	3	3.536
6	94.72	4	84.61	4	13.37	2	2.34	3	3.235
7	95.66	4	83.73	4	12.53	2	2.81	4	3.397
8	94.25	4	84.52	4	13.36	2	2.82	4	3.397
9	94.28	4	83.13	4	14.45	2	2.80	4	3.397
10	96.85	4	82.77	4	13.97	2	2.82	4	3.397
11	94.31	4	84.65	4	14.82	2	2.83	4	3.397
12	94.88	4	84.11	4	15.46	1	2.83	4	3.096

จาก Table 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักในกรรมวิธีที่ 1 ให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุด 3.837 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.95 km h⁻¹ (เกียร์ Low1) มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผานจานไถ 150 rpm ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีแสงใบ 0.5 m s⁻¹ ทิศทางการหมุนของลูกตีแสงใบหมุนตีขึ้นและความเร็วรอบการหมุนของลูกตีแสงใบอ้อย 800 rpm เป็นปัจจัยทดสอบที่เหมาะสม (optimum) และมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดสำหรับการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยโดยเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในแปลงทดสอบ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีมีประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยมากกว่า 90% และประสิทธิภาพการสางใบอ้อยมากกว่า 80% ถ้าพิจารณากำลังรวมที่แปรผันตามอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผานจานไถ ส่งผลกระทบต่อกำลังรวมทั้งระดับความเชื่อมั่น 99% โดยกรรมวิธีที่ 1 ใช้กำลังรวมต่ำสุด 10.12 kW เช่นกัน

4 สรุป

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย เป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาจากเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่ออกแบบโดย ตฤณสิษฐ์ และคณะ (2563) ทำการออกแบบเพิ่มเติมสำหรับอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย ประกอบด้วยคานสำหรับยึดกล่องเกียร์ทด และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่ที่ใช้ผานจานไถใบจักรแบบเกลียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 in จำนวน 3 ใบ มีหน้ากว้างในการทำงาน 1,200 mm สามารถสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในการทำงานครั้งเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำการทดสอบกับอ้อยพันธุ์ แอลเค

92-11 สำหรับตัดเข้าโรงงาน การทดลองทำในพื้นที่ดินร่วนประกอบด้วย อนุภาคดินทราย 40.1% อนุภาคดินทรายแป้ง 46.2% และอนุภาคดินเหนียว 13.7% สมบัติของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 cm มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 14.46 % (db) ความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินเฉลี่ย 1.89 g cm⁻³ ความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 1.96 MPa พบว่า ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผานจานไถ ส่งผลกระทบต่อกำลังรวม (ผลรวมของกำลังดูดลากกับกำลังที่เพลอาอานวยกำลัง) ที่แปรผันตามอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบหมุนของผานจานไถ และความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น รวมถึงอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถที่โตมากขึ้น สำหรับประสิทธิภาพการสางใบอ้อย สามารถสางใบเพื่อให้แรงงานคนเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ส่วนประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยสามารถสับและฝังกกลบใบอ้อยเพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและบรรเทาปัญหาการลู่กลามของไฟในไร่อ้อย นอกจากนี้พบว่าความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 km h⁻¹ (เกียร์ Low1) มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผานจานไถ 150 rpm ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีแสงใบ 0.5 m s⁻¹ ทิศทางการหมุนของลูกตีแสงใบหมุนตีขึ้นและความเร็วรอบการหมุนของลูกตีแสงใบอ้อย 800 rpm เป็นปัจจัยทดสอบที่เหมาะสม (optimum) และมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดสำหรับเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย โดยใช้กำลัง 10.12 kW มีประสิทธิภาพในการสางใบอ้อย 83.16% ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย 92.41% และมีอัตราการทำงานทางทฤษฎี 2.34 rai h⁻¹ โดยเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยมีข้อเด่นคือสามารถสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในการ

ทำงานครั้งเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสางใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไปที่ต้องทำงาน 2 ครั้ง ครั้งแรกทำการสางใบอ้อย ครั้งที่สองทำการพรวนกลบใบอ้อย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ก่อนการใช้แรงงานคนเข้าตัด มีความสะดวก เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และบรรเทาปัญหาการลุกลามของไฟในไร่อ้อยได้

5 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบการทำงานของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยแบบภาคสนาม ซึ่งพบปัญหาและอุปสรรคในการทดสอบ เช่น ขนาดความยาวของตัวเครื่องมากเกินไปส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในกลับรถเพื่อทำงานในร่องอ้อย เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่พัฒนามาจากเครื่องสางใบอ้อยตัวเดิม นอกจากนี้ได้ทดสอบเฉพาะอ้อยพันธุ์ แอลเค 92-11 และในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี เท่านั้น จึงควรมีการศึกษาสภาพพื้นที่แปลงอื่น และพันธุ์อ้อยอื่นเพิ่มเติม โดยควรมีการศึกษาและพัฒนาลูกตีสางใบให้มีขนาดสั้นลง เพื่อลดขนาดเครื่องและเพิ่มความสามารถในการทำงาน รวมถึงการทดสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราการทำงานจริงเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ และการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องสางใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไปเพื่อความสะดวกของงานวิจัยต่อไป ส่วนการพิจารณาปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยโดยเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากแบบสอบถามเกษตรกร และนักวิชาการเกษตรในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี จึงเหมาะกับการใช้พิจารณาปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสางใบและพรวนกลบใบอ้อยในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งมีลักษณะของดินใกล้เคียงกัน ไม่สามารถนำไปพิจารณาในพื้นที่ที่ลักษณะดินมีความแตกต่างกันได้ สำหรับอ้อยพันธุ์ แอลเค 92-11 สามารถนำไปพิจารณาใช้กับอ้อยพันธุ์อู่ทอง 84-12 และกำแพงแสน 01-12 ได้ เนื่องจากแรงดึงใบอ้อยที่ใกล้เคียงกัน (ตฤณสิษฐ์ และคณะ, 2563) ส่งผลให้ใช้กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกและกำลังรวมไม่แตกต่างกัน

6 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา และ รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดสอบอุปกรณ์ไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน และเป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ ชำราชการ และลูกจ้าง กรมวิชาการเกษตรทุกท่าน ที่ได้ร่วมมือในการสร้างและทดสอบเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยจนงานวิจัยคล่อง

7 เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มืองดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม. สำนักวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: https://www.ldd.go.th/manual_stump/stump.pdf เข้าถึงเมื่อ: 5 มกราคม 2568.
- กรมวิชาการเกษตร. 2547. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 332 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2546. อ้อยไฟไหม้: ผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. วารสารอ้อยและน้ำตาลไทย. 10(2), 61-63.
- ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์, ดนัย ศาลทูลพิทักษ์, อนุชา เขาวีโชติ, มงคล ตุ่นเฮ้า, พุทธินันท์ จารุวัฒน์, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, มานพ คันธามารัตน์, รัชดา ปรีชเจริญวินัย, จิระวิทย์ ไกรสินบุรศักดิ์, กนต์ธรณ์ เขาทอง. 2563. ออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก. วารสารวิชาการเกษตร. 38(1), 33-49.
- ธัญญา นิยมภา และวิชัย หมอชาติ. 2554. การพัฒนาเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554, 1 – 6. ชลบุรี: 31 มี.ค. - 1 เม.ย. 2554, ชลบุรี.
- วิมล ภูทองไชย, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2561. การจัดการเศษซากใบอ้อยที่ส่งผลกระทบต่อกร่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจน. วารสารแก่นเกษตร. 46(ฉบับพิเศษ 1), 25-29.
- ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล รุจิภาส คงกล้า, ประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2561. อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนสำหรับการจัดการอ้อยตอ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49(4), 327-330.
- ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล รุจิภาส คงกล้า, ประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2560. การพรวนกลบใบอ้อยในไร่หลังการเก็บเกี่ยวด้วยไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48(3), 23-26.
- Abo El Ees, N.A.E.H, B.M.D. Wills. 1986. An analysis of the geometric and soil working parameters of a curved vertical disc. Journal of Agricultural Engineering Research. 35, 277-286.
- Hettiaratchi, D. R. P. 1997. Prediction of soil forces acting on concave agricultural discs. Journal of Agricultural Engineering Research. 68, 51-62.
- Hoki, M., T. H. Burkhardt, R. H. Wilkinson, T. Tanoue. 1988. Study of PTO driven powered disc tiller. Transaction of ASAE. 31(5), 1355-1360.