

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย
Design and Development of Sugarcane Leaf Pruning Machine
and Trash Incorporator

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/*} ประสาท แสงพันธุ์ตา^{1/} มงคล ตุ่นเฮ้า^{1/} พุทธิรัตน์ จารุวัฒน์^{1/}

อนุชา เชาวโชติ^{1/} วรธนะ สมณี^{1/} รัชดา ปรัชเจริญวิชัย^{2/}

กัณฑ์กรณ เขาทอง^{3/} แดนสรวง จงสุขไว^{3/}

Tinnasit Kaisinburasak^{1/*} Prasat Sangphanta^{1/} Mongkol Tunhaw^{1/} Puttinun Jaruwat^{1/}

Anucha Chaochot^{1/} Wanthanah Somnuek^{1/} Ratchada Pratcharoenwanich^{2/}

Kunthakorn Khaothong^{3/} Dansuang Jongsukwai^{3/}

Received 11 Jan. 2025/Revised 21 Apr. 2025/Accepted 21 Apr. 2025

ABSTRACT

The pruning of sugarcane leaves is usually done before harvesting to facilitate human labor in harvesting and to increase the stalk weight. Besides, sugarcane residue incorporation is important for increasing soil fertility. There is no equipment that could operate both processes of leaf pruning and trash incorporation. The objective of this research was to design the equipment for operating both processes by applying the hydrostatic power transmission to the sugarcane leaf pruning machine and the mechanical power transmission to the spiral notched disc. A diameter of the sugarcane leaf pruning roller was 248 mm, which revealed that filling the grass trimmer line could increase diameters up to 1,054 mm, and a diameter of the spiral notched disc was 18 inches. It was tested with the DOA Khon Kaen3 sugarcane cultivar at the age of 9 months in Sikhio district, Nakhon Ratchasima province. The average soil cone index was 3.4 MPa. The soil moisture content and bulk density were 14.20% (db) and 1.64 g cm⁻³, respectively. The experiments were conducted at a forward speed of 1.95 km h⁻¹, gang angles of 36°, disk revolution speeds of 150 rpm, and roller revolution speeds of 800 rpm. The experimental results showed that the trash covering efficiency was 92.4%, the pruning of sugarcane leave efficiency was 82.2%, the effective field capacity or performance was 1.75 rai h⁻¹, and the fuel consumption was

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรอำนาจเจริญ ต.โนนโพธิ์ อ.เมือง จ.อำนาจเจริญ 37000

^{2/} Amnat Charoen Agricultural Research and Development Center, Non Pho, Mueang, Amnat Charoen 37000, Thailand

^{3/} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{3/} Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

* Corresponding author: tinnasit@hotmail.co.th

1.65 L rai⁻¹. The cost of this sugarcane leaf pruning machine and trash Incorporator was 164,000 Baht. The break-even point was 116.21 rais. The use of this machine can facilitate workers in harvesting without burning sugarcane field.

Keywords: sugarcane; sugarcane leaf pruning machine; trash incorporator

บทคัดย่อ

การสาบใบอ้อยจะทำก่อนการตัดอ้อยเพื่อให้คนงานตัดอ้อยได้สะดวก และช่วยให้น้ำหนักอ้อยที่ตัดเพิ่มขึ้น ส่วนการพรวนกลบใบอ้อยเป็นการเพิ่มแร่ธาตุในดิน อุปกรณ์สาบใบและอุปกรณ์พรวนกลบใบทำงานแยกกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสาบใบอ้อยและพรวนกลบใบอ้อยให้ทำงานพร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตขับเคลื่อนอุปกรณ์สาบใบอ้อย โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกตีสาบใบ 248 มม. เมื่อติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้าแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,054 มม. และใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกลขับเคลื่อนไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนสำหรับพรวนกลบใบอ้อย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลจานไถใบจักรแบบเกลียว 18 นิ้ว ทำการทดสอบในแปลงอ้อยปลูกอายุ 9 เดือน พันธุ์กวก.ขอนแก่น 3 ที่ อ. สีคิ้ว จ. นครราชสีมา ในสภาพความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 3.4 เมกะปาสคาล ปริมาณความชื้นในดินและความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง 14.20% (db) และ 1.64 ก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ที่ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลจานไถ 150 รอบ/นาที และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสาบใบอ้อย 800 รอบ/นาที พบว่า ประสิทธิภาพ

การพรวนกลบใบอ้อยเฉลี่ย 92.4% ประสิทธิภาพการสาบใบอ้อยเฉลี่ย 82.2% ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร 1.75 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 74.15% และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.65 ล./ไร่ เครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ ช่วยให้การใช้แรงงานคนเข้าตัดอ้อยทำได้สะดวกโดยไม่ต้องเผาใบอ้อย

คำสำคัญ: อ้อย; เครื่องสาบใบอ้อย; อุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย

บทนำ

การขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อยสดและค่าจ้างแรงงานสูง รวมถึงความรวดเร็วในการตัดอ้อย ส่งผลให้เกษตรกรใช้วิธีการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว แต่การเผาใบก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศน์ทั้งในไร่อ้อยและสิ่งแวดล้อม (กล้าณรงค์, 2546) และยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศน์ในดินและโครงสร้างของดิน ส่งผลให้รากอ้อยเจริญเติบโตไม่เต็มที่ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ในดินลดลง ทำให้ดินเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว การเผาใบอ้อยยังทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ทั้งยังเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM2.5 ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่ในระดับมีผลกระทบต่อสุขภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2568) เพื่อแก้ปัญหาจากการเผาใบอ้อย กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้แนะนำให้ใช้วิธีการสาบใบก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อย 2 เดือน เพื่อให้แรงงานคนเข้าตัดได้สะดวก การสาบใบทำให้แสงแดดส่องผ่าน อากาศระบายได้ดี ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักอ้อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น อรรถสิทธิ์และคณะ (2558) รายงานว่า ใบอ้อยที่สาบออกช่วยคลุมดินรักษาความชื้นทำให้ดินมี

ความชื้นสูงกว่าดินในแปลงอ้อยที่ไม่มีการสางใบ ส่งผลทำให้อ้อยที่มีการสางใบมีผลผลิตสูงกว่าอ้อยที่ไม่สางใบ แปลงเกษตรกรที่มีการสางใบและตัดอ้อยสดจำนวน 14 ราย ได้ผลผลิตเฉลี่ย 17.2 ตัน/ไร่ ในขณะที่แปลงไม่สางใบแต่ตัดอ้อยไฟไหม้ได้ผลผลิตเฉลี่ย 14.7 ตัน/ไร่ ใบอ้อยเมื่อมีการไถพรวน สับ และฝังกลบ จะเป็นการปรับปรุงสภาพการหมุนเวียนของน้ำและอากาศในโครงสร้างดิน และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ทั้งยังลดปัญหาการลุกลามของอ้อยไฟไหม้ได้ การพรวนดินระหว่างแถวอ้อยต่อ เป็นการเพิ่มจำนวนรากแขนงของอ้อย และส่งเสริมการเจริญเติบโตในอ้อยต่อ

ธัญญาและวิชัย (2554) ได้ศึกษาสมรรถนะการไถพรวนของเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ category II ในแปลงอ้อย พบว่าการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนต้องการกำลังฉุดลากต่อหนึ่งหน่วยความลึกน้อยกว่าเครื่องมือไถงานหมุนอิสระ และการใช้งานไถใบจักรแบบเกลียวส่งผลให้การสับใบอ้อย และการคลุกเคล้าในดินทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาธุรกิจาสและคณะ (2560) ได้พัฒนาต้นแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนเพื่อพรวนกลบวัสดุอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าความเร็วการหมุนของงานไถที่ 150 รอบ/นาที และมุมงานไถ (gang angle) 40° มีประสิทธิภาพการพลิกกลบใบอ้อย 90.4-95.3% ตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถสางใบอ้อยสำหรับตัดทำพันธุ์ได้โดยใช้ลูกตีสางใบฝั่งละ 1 ลูก เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง ใบอ้อยที่ได้จากการสางใบแตกปน ไม่ฟุ้งกระจายและตกคลุมดินสม่ำเสมอ อุปกรณ์สางใบอ้อยโดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่พัฒนาขึ้น และอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน ทำให้ประสิทธิภาพการสางใบและ

พรวนกลบใบอ้อยระหว่างแนวอ้อยตอดีขึ้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์สางใบอ้อยและอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยทำงานแยกกันและยังไม่มีเมื่อนำอุปกรณ์ทั้งสองชนิดมาทำงานพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้การสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยทำได้สะดวก รวดเร็วมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยและอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนให้สามารถทำงานพร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถสางใบและพรวนกลบใบอ้อยได้ดีกับอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3

อุปกรณ์และวิธีการ

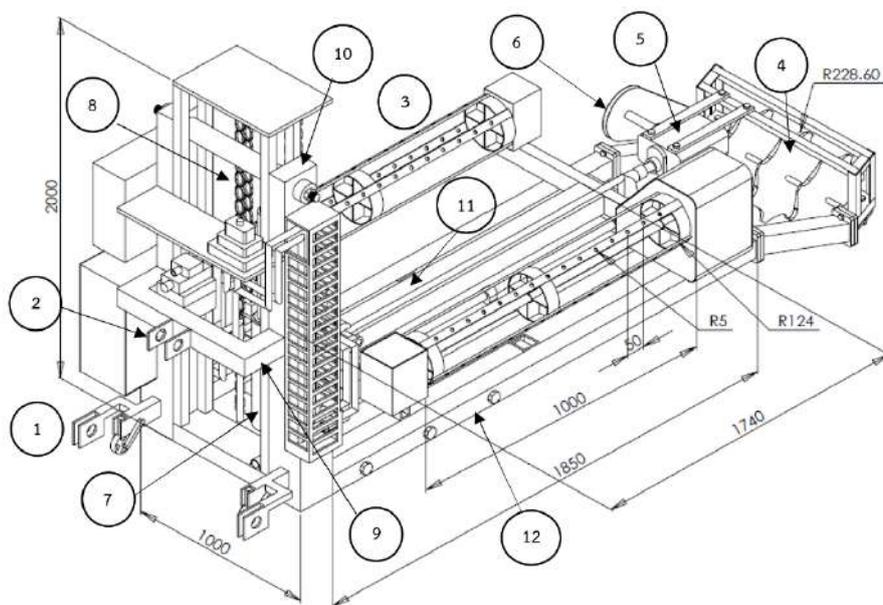
1. โครงสร้าง และลักษณะจำเพาะของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยเป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาต่อยอดจากเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิกของตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ (Figure 1) คือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ (No.1) (No.2) โครงเครื่องมืออุปกรณ์สางใบอ้อย และอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือ อุปกรณ์สางใบอ้อยประกอบด้วยลูกตีสางใบอ้อย (No.3) ทั้งหมด 2 ลูก มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 248 มม. ยาว 1,000 มม. วางในทิศทางขนานกับพื้น บริเวณพื้นที่ผิวติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้าความยาว 400 มม. ติดตั้งห่างกัน 50 มม. สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของลูกตีสางใบอ้อยเมื่อติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้า 1,054 มม. ขณะทำงานลูกตีสางใบอ้อยจะหมุนรอบแกนหมุนที่ติดตั้งอยู่บนโครงเครื่องมือ และทำให้เส้นเอ็นตัดหญ้าหมุนตีสางใบอ้อยลงมาระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางลูกตีสางใบอ้อย

ทั้ง 2 ลูก 970 มม. โดยติดตั้งสลับกันป้องกันความเสียหายจากการตีกันระหว่างการทำงาน

โครงเครื่องมือส่วนแรก (No.9) เป็นคานในแนวขวางพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง ขนาด 100 x 110 มม. ยาว 1,000 มม. ส่วนที่สอง (No.10) เป็นเสา 2 ต้นวางในแนวตั้งทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม. หนา 2 มม. สูง 2,000 มม. ประกอบเป็นจุดยึดกระบอกระบบไฮดรอลิก (No.7) และระบบส่งกำลังโดยใช้โซ่ลำเลียง (No.8) ซึ่งยึดติดกับคานในแนวตามยาว ส่วนที่สาม (No.11) เป็นคานในแนวตามความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม.

หนา 2 มม. ยาว 1,740 มม. ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดจุดหมุน และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก ส่วนที่สี่ (No.12) เป็นคานตามแนวความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม. หนา 2 มม. ยาว 1,850 มม. ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดกล่องเกียร์ทด (No.5) และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่ (No.6) สำหรับอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยที่ใช้ผลาจานไถใบจักรแบบเกลียว (spiral-notched disk) (No.4) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว จำนวน 3 ใบ โดยมีหน้ากว้างในการทำงาน 1,200 มม.



No. 1 : Lower hitch points

No. 3 : Sugarcane leaf pruning roller

No. 5 : Transmission gear box

No. 7 : Hydraulic cylinder

No. 9 : First structure of prototype

No. 11 : Third structure of prototype

No. 2 : Upper hitch point

No. 4 : Spiral-notched disk plow

No. 6 : Chain-sprocket transmission system

No. 8 : Conveyor chain

No. 10 : Second structure of prototype

No. 12 : Fourth structure of prototype

Figure 1 The isometric drawing of a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

2. หลักการทำงานของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยใช้เพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ

540 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง 2 ชุด ชุดเฟืองแรกอัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิก 1 และ 2 ยี่ห้อ EATON รุ่น 25VQ ขนาด 55 มล./รอบ ที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบ/นาที ดึงน้ำมันจากถังไฮดรอลิก ขนาด

25 ล. ผ่านตัวกรองน้ำมัน มีอัตราการไหลประมาณ 98 ล./นาที่ มีวาล์วควบคุมความดันแบบปรับด้วยมือที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 และ 2 ยี่ห้อ NACHI รุ่น ESR โดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ และต่อไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งต่อกับชุดกลไกการเคลื่อนที่ของลูกตีสางใบอ้อย ทำให้ลูกตีสางใบอ้อยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งตามความสูงของต้นอ้อย ส่วนวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 2 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy controller) ตามที่ตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) ได้ออกแบบไว้ และ

ต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิก ยี่ห้อ EATON รุ่น 35M ขนาด 100 มล./รอบ แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ซึ่งต่อกับชุดกลไกการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย น้ำมันที่ผ่านกระบอกสูบไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิก จะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงานจะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. เพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน (Figure 2) ชุดเฟืองที่สองอัตราทด 1:1 ถ่ายทอดกำลังผ่านกล่องเกียร์ทดอัตราทด 39:6 และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่อัตราทด 21:38 ไปยังผลจานไถใบจักรแบบเกลียวสำหรับพรวนกลบใบอ้อย

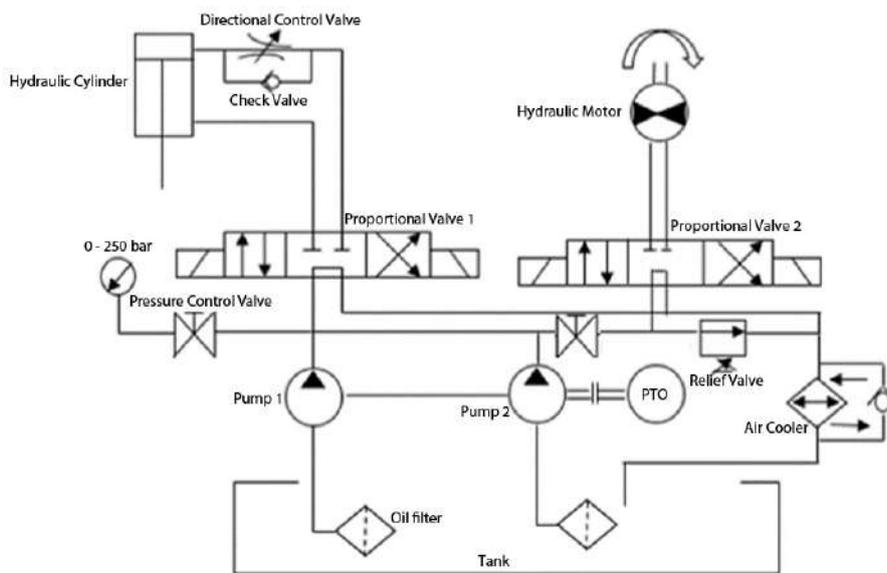


Figure 2 The schematic diagram of hydraulic system for installing on a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

3. การควบคุมการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย และความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกที่ใช้กับอุปกรณ์สางใบอ้อยเป็นรูปแบบเดียวกับเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ของตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) สามารถควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกที่รับภาระของโครงเครื่องมือส่วนที่สาม และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง

2 ลูก ซึ่งเป็นภาระคงที่ให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งโดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งรับภาระคงที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (potentiometer-volume) ต่อเข้ากับอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (valve

amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Figure 3a) ส่วนการควบคุมการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย โดยมอเตอร์ไฮดรอลิกจะขับภาระซึ่งประกอบไปด้วยชุดกลไกการตีสางใบอ้อย และใบอ้อยซึ่งเป็นภาระไม่คงที่ โดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การหมุนของลูกตีสางใบจะถูกวัดที่เพลาลูกตีสางใบโดย rotary encoder ในหน่วยรอบ/นาที ไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ตู้ควบคุม และเป็นสัญญาณป้อนกลับสำหรับตัวควบคุมแบบพีซีที่ส่งสัญญาณควบคุมผ่านบอร์ดควบคุม และอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Figure 3b)

เนื่องจากแรงดิ่งใบอ้อยแปรผันตามความสูงของต้นอ้อย (ตฤณสิทธิ์และคณะ, 2563) ดังนั้น การควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยให้เพิ่มขึ้นตามความสูง ส่วนตัวควบคุมแบบพีซีสามารถควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยให้สามารถสางใบอ้อยที่ตัดทำพันธุ์และตัดเข้าโรงงานได้ โดยมี response time เฉลี่ย 1.1 วินาที เกิดค่าพุ่งเกินขึ้น 0.83–1.54% ของค่าอ้างอิงซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยความเสียหายของตาอ้อย ลำอ้อย และความสะอาดในการสางใบ เกษตรกรตัวแทนของโรงงานน้ำตาล และนักวิชาการเกษตรยอมรับได้ (ตฤณสิทธิ์และคณะ, 2563)

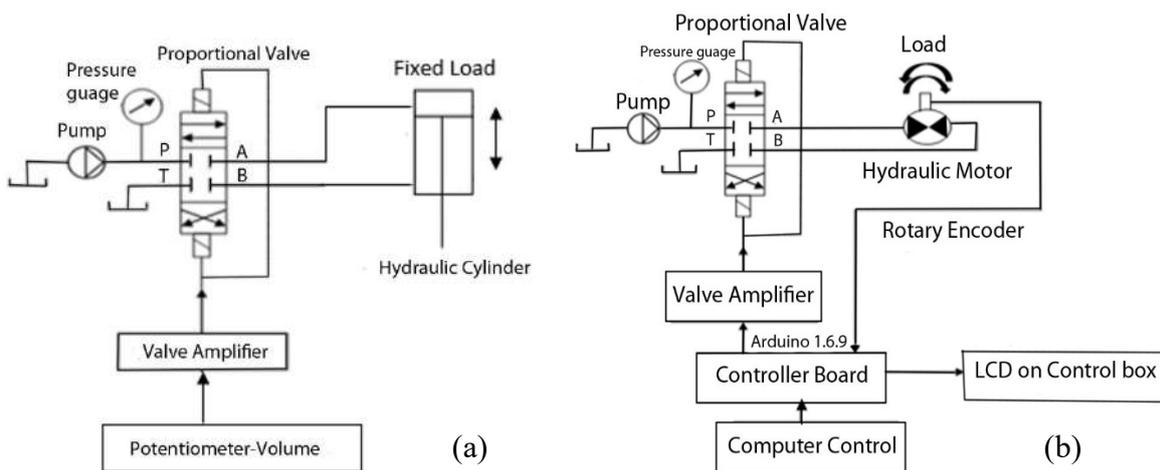


Figure 3 (a) The schematic diagram of hydraulic system for a velocity controller of hydraulic cylinder (b) The schematic diagram of hydraulic system for a velocity controller of hydraulic motor

4. ทดสอบความสามารถในการทำงาน

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยที่บ้านห้วยหิน ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ในแปลงอ้อยปลูกใหม่ อายุ 9 เดือน พันธุ์ขอนแก่น 3 ความสูงเฉลี่ย 2.5 ม. เพื่อการตัดอ้อยเข้าโรงงาน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินทรายประกอบด้วยอนุภาคดินทราย 56.2% อนุภาคดินทรายแป้ง 33.4% และอนุภาคดินเหนียว 10.4% สมบัติของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 ซม. มีความชื้นเฉลี่ย

14.20 % (db) ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินเฉลี่ย 1.64 ก./ลบ.ซม. ความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 3.4 MPa

4.1 กำหนดความเร็วการเดินทางเฉลี่ยของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับ คือ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) และ 2.45 กม./ชม. (เกียร์ Low2) มุมชุดจานไถ 3 ระดับ คือ 36° 40° และ 44° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลาญงานไถ 2 ระดับ คือ 150 และ 180 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ขอบผลาญงานไถ 12.93 และ 15.51

กม./ชม. ตามลำดับ รวม 12 กรรมวิธี และความลึกในการไถเฉลี่ย 25 ซม. ส่วนอุปกรณ์สาางไบอ้อยกำหนดเป็นค่าคงที่ได้แก่ ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางไบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางไบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสาางไบ 2.5 ม. และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางไบอ้อย 800 รอบ/นาที (ตฤณลิขฐ์และคณะ, 2563) ทดสอบ 3 ซ้ำ ขนาดแปลงทดสอบย่อย 1.5x10 ม. ใช้รถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น B2440 ขนาด 24 แรงม้า

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์วัด การวัดแรงฉุดลาก (drawbar pull) โดยการติด strain gauges แบบ wheatstone bridge บน lower link pin ทั้งสองอัน และ top link ติดตั้ง potentiometer เพื่อวัดมุมเอียงระหว่างแนวระนาบกับแนวแกน top link ติดตั้ง torque transducer 3 ตัว ตัวที่ 1 เพื่อวัดแรงบิดที่เพลลาอำนาจกำลัง ตัวที่ 2 เพื่อวัดแรงบิดที่เพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ ตัวที่ 3 เพื่อวัดแรงบิดที่เพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางไบ และติดตั้งอุปกรณ์ rotary encoder 3 ตัว ตัวที่ 1 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพลลาอำนาจกำลัง ตัวที่ 2 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ ตัวที่ 3 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางไบ สัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดเหล่านี้จะส่งผ่านไปยังโปรแกรมประมวลผล เพื่อคำนวณหา กำลังฉุดลาก กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก กำลังจากเพลลาอำนาจกำลัง และกำลังรวม ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino1.6.9 ที่บอร์ดควบคุม และแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

4.3 การทดสอบในแต่ละกรรมวิธี โดยทำการวัดค่าต่างๆ ประกอบด้วย

4.3.1 กำลังฉุดลาก (drawbar power, P_D) คือ ผลคูณของแรงฉุดลาก กับความเร็วรถแทรกเตอร์

$$P_D = F_D \times v \quad (1)$$

เมื่อ P_D = กำลังฉุดลาก (กิโลวัตต์)

v = ความเร็วรถแทรกเตอร์ (ม./วินาที)

F_D = แรงฉุดลาก คือ แรงที่เกิดจากผลรวมของแรงฉุดลากในแนวระดับที่ lower link pins กับแรงดึงในแนวระดับของ top link (กิโลนิวตัน)

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

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

เมื่อ P_{PTO} = กำลังที่เพลลาอำนาจกำลัง (กิโลวัตต์)

N_{PTO} = ความเร็วรอบของเพลลาอำนาจกำลัง (รอบ/นาที)

T_{PTO} = แรงบิดที่เพลลาอำนาจกำลัง (นิวตัน-เมตร)

4.3.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบไบอ้อย (specific power, P_{SP}) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังขับที่เพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถต่อพื้นที่หน้าตัดการไถของผาลจานใบจักรที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ พื้นที่หน้าตัดดังกล่าวคำนวณได้จากสมการที่ (3) (Abo El Ees and Wills, 1986)

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

เมื่อ P_{TCP} = กำลังขับที่เพลลาขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ (กิโลวัตต์)

A_p = พื้นที่หน้าตัดการไถของผาลจานที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (ตร.ม.)

4.3.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (motor hydraulic power, P_{Motor}) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางไบอ้อย กับความเร็วเชิงมุมของเพลลาขับเคลื่อนลูกตีสางไบอ้อย

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

เมื่อ P_{Motor} = กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (กิโลวัตต์)

N_{SLR} = ความเร็วรอบของเพลาชับลูกตีสาง
ใบอ้อย (รอบ/นาที)

T_{SLR} = แรงบิดที่เพลาชับลูกตีสางใบอ้อย
(นิวตัน-เมตร)

4.3.5 กำลังรวม (total power, P_{Total})

คือ ผลรวมของกำลังดูดลากกับกำลังที่เพลานำหน่วยกำลัง

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

เมื่อ P_{Total} = กำลังรวม (กิโลวัตต์)

4.3.6 การประเมินประสิทธิภาพการ
พรวนกลบใบอ้อยทำได้โดยการคำนวณหาร้อยละ
พื้นที่การพรวนกลบใบอ้อยจากภาพถ่าย การกลบวัสดุ
อ้อยในกรอบเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1x1 ม. คำนวณ
ด้วยสมการที่ (6) (รุจิภาสและคณะ, 2560)

Trash Covering Efficiency: C. E. (%)

$$= \frac{A_2}{A_1} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ A_1 = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถกับแนวอ้อยต่อ
(ตร.ม.)

A_2 = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถถึงแนวการพลิก
กลบใบอ้อย (ตร.ม.)

4.3.7 ประสิทธิภาพในการสางใบอ้อย

คือ การคำนวณหาร้อยละจำนวนใบอ้อยที่ได้จากการ
สางใบอ้อย โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนใบอ้อยที่
ได้จากการสางใบอ้อยกับจำนวนใบอ้อยทั้งหมด

Pruning of Sugarcane Leaves Efficiency (%)

$$= \frac{N_2}{N_1} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ N_1 = จำนวนใบอ้อยทั้งหมด (ใบ)

N_2 = จำนวนใบอ้อยที่ได้จากการสางใบอ้อย (ใบ)

4.3.8 การลื่นไถล (slip) คือ การคำนวณ

หาร้อยละของระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ขณะ
ไม่มีโหด หรืออุปกรณ์ยังไม่ถูกใช้งานบนพื้นแปลง
ทดสอบ ลบด้วยระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่

ขณะมีโหดหรือรถแทรกเตอร์เคลื่อนขณะอุปกรณ์
กำลังใช้งาน หารด้วยระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่
ขณะไม่มีโหดหรืออุปกรณ์ยังไม่ถูกใช้งาน

$$\text{Slip}(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ A = ระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่
ขณะไม่มีโหด (ม.)

B = ระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่
ขณะมีโหด (ม.)

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิง

พื้นที่ กำหนดเงื่อนไขการทดสอบตามผลในข้อ 4.1
และ 4.2 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิง
พื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้ง ขนาดแปลงทดสอบ 1.5x20 ม.
สำหรับการทดสอบความสามารถในการทำงานของ
เครื่องจักรเชิงทฤษฎี ขนาดแปลงทดสอบ 20x40 ม.
และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องกล
ตามวิธีการของวุฒิชัย (2528)

4.5 การทดสอบความสามารถในการสาง

ใบอ้อยและพรวนกลบใบอ้อยโดยใช้เครื่องสางใบอ้อย
และเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไป สำหรับ
เครื่องสางใบอ้อย ประกอบด้วยลูกตีสางใบทั้งหมด
4 ลูก ฝัองละ 2 ลูก ระบบส่งกำลังผ่านชุดเฟือง พูเล่
สายพานและตัวสายพานไปขับเคลื่อนเพลาลูกตีสางใบ ความกว้างการทำงาน 2,300 มม. ความ
สูงการทำงาน 2,500 มม. ติดตั้งเอ็นตัดหญ้าความยาว
400 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของลูกตีสางใบอ้อย
เมื่อติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้า 1,100 มม. ส่วนเครื่อง
พรวนกลบใบอ้อย ประกอบด้วยระบบส่งกำลังผ่าน
กล่องเกียร์ และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่ไปขับเคลื่อน
ผลงานไถใบจักรแบบเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
20 นิ้ว จำนวน 4 ใบ โดยมีหน้ากว้างในการทำงาน
1,300 มม. การทดสอบใช้เงื่อนไขเดียวกับเครื่องสางใบ
พร้อมพรวนกลบใบอ้อย ขนาดแปลงทดสอบ
20x40 ม. ทำ 3 ซ้ำ

4.6 การทดสอบความสามารถของตัวควบคุมพืชซีลोजิกกระทำโดยการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสาบใบอ้อย 800 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายเอ็นตัดหญ้าของลูกตีสาบใบ 44.15 ม./วินาที โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. (เกียร์ Low2) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสาบใบ 0.5 ม./วินาที ความสูงในการสาบใบ 2.5 ม. และทิศทาง การหมุนของลูกตีสาบใบหมุนตีขึ้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. กำลังขุดลาก กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก และกำลังรวม

1.1 กำลังขุดลาก เป็นกำลังที่รถแทรกเตอร์ใช้ขับเคลื่อนเครื่องต้นแบบขณะทำการสาบใบ และพรวนกลบใบอ้อยเพื่อเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้น ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลาจงานไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. รถแทรกเตอร์ต้องใช้กำลังขุดลากสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังขุดลากขณะอุปกรณ์สาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 36.84–37.75 และ 26.49–26.95% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถ ทั้งกรณีผลาจงานใบจักรพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่า ขณะที่อุปกรณ์สาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° ค่ากำลังขุดลากเพิ่มขึ้น 1.44–2.56 และ 0.50–0.59% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 40° ขณะที่อุปกรณ์สาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° ค่ากำลังขุดลาก

เพิ่มขึ้น 1.44–1.88 และ 0.79–1.26% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4a)

1.2 กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฮดรอลิกเพื่อสาบใบอ้อยและผลาจงานใบจักรเพื่อพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อย ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลาจงานไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. อุปกรณ์ต้องใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังขณะอุปกรณ์สาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 10.89–14.60 และ 13.62–14.98% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถ ทั้งกรณีผลาจงานใบจักรพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่า ขณะสาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังเพิ่มขึ้น 7.83–8.00 และ 6.87–8.62% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่การสาบใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังเพิ่มขึ้น 7.82–11.61 และ 10.49–10.02% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4b)

1.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย ค่ากำลังจำเพาะขณะอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 3.49–29.82 และ 4.24–27.71% ตามลำดับ ขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 24.42–40.45 และ 13.56–26.83% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 6.54–

18.40 และ 23.88–35.90% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4c)

1.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนลูกตีสางใบอ้อย กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่

ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกขณะอุปกรณ์สางใบอ้อยจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 39.41% จากแรงต้านใบอ้อยที่เพิ่มขึ้น

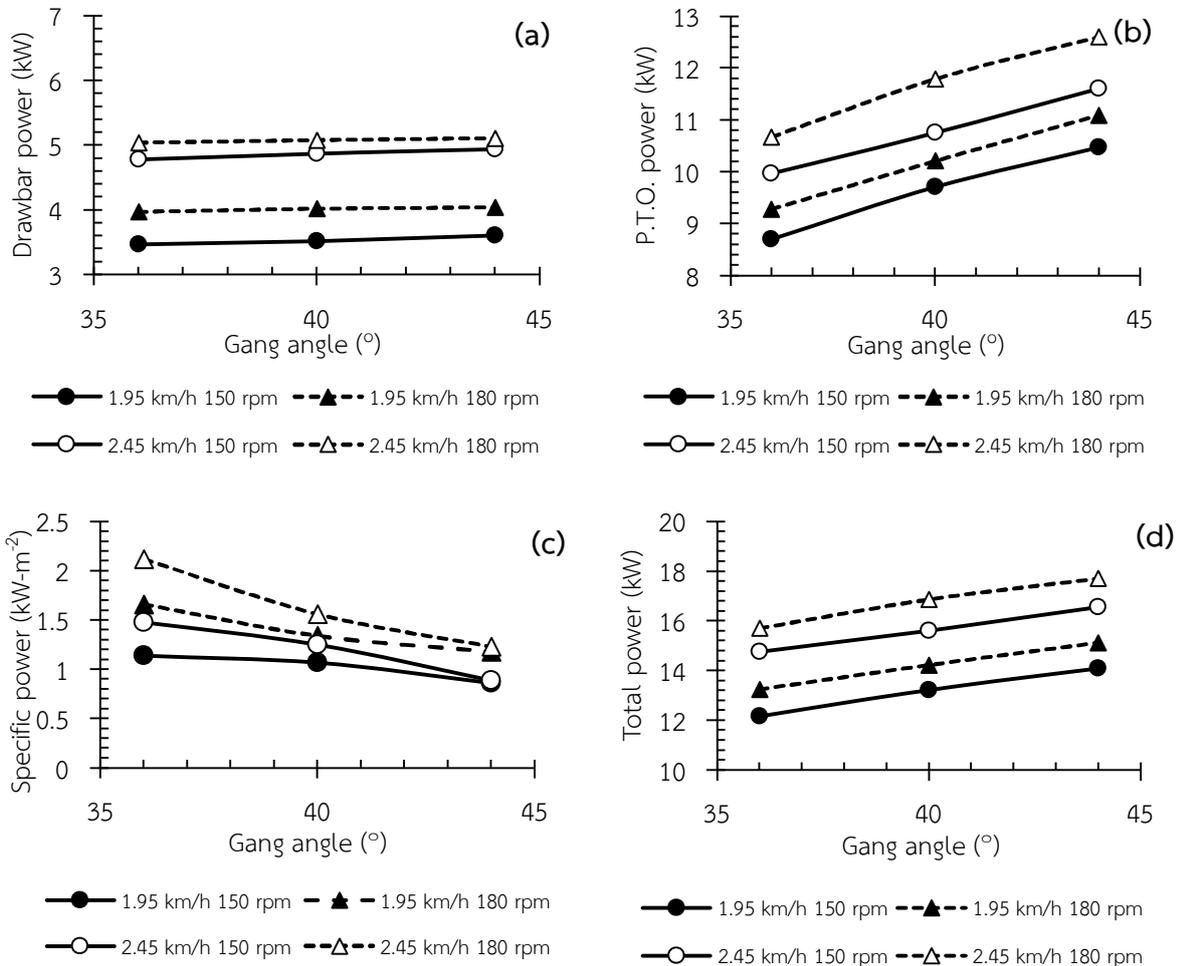


Figure 4 (a) Drawbar power at the conditions of 36°, 40° and 44°
 (b) P.T.O power at the conditions of 36°, 40° and 44°
 (c) Specific power at the conditions of 36°, 40° and 44°
 (d) Total power at the conditions of 36°, 40° and 44°

1.5 กำลังรวม เป็นผลรวมของกำลังชุดลากกับกำลังที่เพลานำหน่วยกำลัง ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลงานไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. ค่ากำลังรวมสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว

1.95 กม./ชม. ค่ากำลังรวมจะเพิ่มขึ้น 17.54–21.20 และ 17.05–18.57% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถทั้งกรณีผลงานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่าขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° ค่ากำลังรวม

เพิ่มขึ้น 5.95–6.42 และ 4.98–6.32% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์สร้างใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° ค่ากำลังรวมเพิ่มขึ้น 5.90–8.71 และ 7.38–7.40% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4d)

กำลังรวม เป็นกำลังทั้งหมดที่รถแทรกเตอร์ต้องใช้ขณะที่เครื่องทำการสร้างใบและพรวนกลบใบอ้อย โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจจานไถเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความเร็วรถแทรกเตอร์มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจจานไถส่งผลกระทบต่อกำลังรวมที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ผลกระทบของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยประกอบด้วย กลุ่มที่ 1. ความเร็วแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. มุมชุดจานไถ เพิ่มขึ้นจาก 36° จนถึง 44° ที่ใบจักร

พรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุนเดียวกัน พบว่า กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจจานไถเพิ่มขึ้นจาก 150 จนถึง 180 รอบ/นาที ที่มุมชุดจานไถเดียวกัน กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ โดยมุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุน 150 รอบ/นาที ใช้กำลังรวมต่ำสุด 12.17 กิโลวัตต์ กลุ่มที่ 2 ความเร็วแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. มุมชุดจานไถเพิ่มขึ้นจาก 36° จนถึง 44° ที่ใบจักรพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุนเดียวกัน พบว่า กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจจานไถเพิ่มขึ้นจาก 150 จนถึง 180 รอบ/นาที ที่มุมชุดจานไถเดียวกัน กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ โดยมุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุน 150 รอบ/นาที ใช้กำลังรวมต่ำสุด 14.75 กิโลวัตต์ (Table 1)

Table 1 The relationship of a forward speed, gang angle and revolution of the spiral-notched disk influent the total power

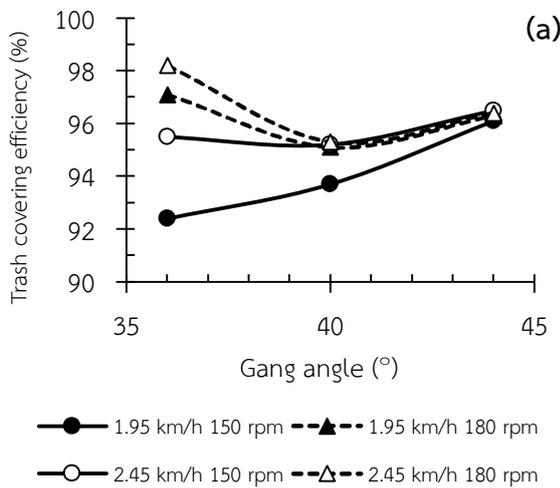
| Gang angle (G) | Revolution of the spiral-notched disk (L) | | G-MEAN | DIFF |
|---------------------------|---|--------------|--------|----------|
| | L1 = 150 rpm | L2 = 180 rpm | | |
| Forward speed = 1.95 km/h | | | | |
| G1 = 36° | 12.17 c | 13.25 c | 12.71 | -1.080** |
| G2 = 40° | 13.23 b | 14.23 b | 13.73 | -1.000** |
| G3 = 44° | 14.08 a | 15.13 a | 14.60 | -1.050** |
| Forward speed = 2.45 km/h | | | | |
| G1 = 36° | 14.75 c | 15.71 c | 15.23 | -0.960** |
| G2 = 40° | 15.62 b | 16.87 b | 16.25 | -1.250** |
| G3 = 44° | 16.55 a | 17.71 a | 17.13 | -1.160** |
| L-MEAN | 14.40 | 15.48 | 14.94 | |

Means in a column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD

Note: *, ** = significant at 5%, 1% level

2. ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย การสางใบอ้อย และการสั่นไถล

2.1 ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย ที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 92.4–98.2% สำหรับกรณีมุมชุดจานไถ 40° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 93.7–95.3% และที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 44° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 96.1–96.5% (Figure 5a)



2.2 ประสิทธิภาพการสางใบอ้อย ที่ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสางใบ 2.5 ม. ความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที และความเร็วจีงเส้นที่ปลายเอ็นตัดหญ้าของลูกตีสางใบ 44.15 ม./วินาที ประสิทธิภาพการสางใบอ้อยในไร่อยู่ในช่วง 81.3–85.7% เนื่องจากใบบริเวณยอดลำอ้อยที่มีความสูงเกิน 2.5 ม. ประมาณ 15-20% ไม่ได้ถูกเครื่องสางลงมา แต่มีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานคนเข้าตัด (Figure 5b)

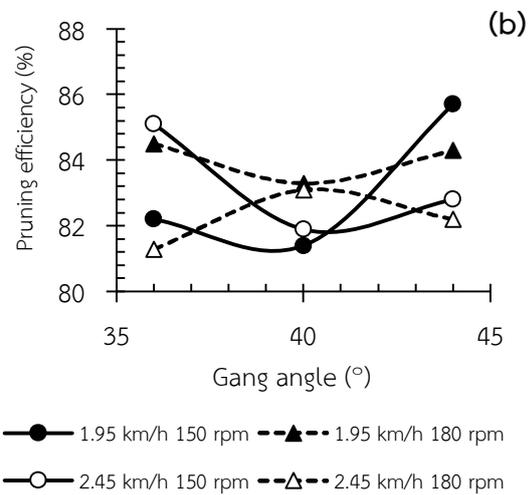


Figure 5 (a) Trash covering efficiency at the conditions of 36°, 40° and 44°

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

2.3 การสั่นไถล การสั่นไถลลดลงทุกกรณีเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 1.95 กม./ชม. เป็น 2.45 กม./ชม. และที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. มีค่าลบซึ่งหมายความว่าเมื่อเครื่องสางใบและไถพรวนกลบวัสดุอ้อยจะก่อให้เกิดแรงผลักดันไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ส่งผลให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเห็นได้ว่ามุมชุดจานไถ 40° ความเร็วเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วรอบเดียวกันมีการสั่นไถลที่มีค่าบวกต่ำสุด และมีการสั่นไถลที่มีค่าลบสูงสุด

จากผลการทดสอบในข้อ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่า ขนาดมุมชุดจานไถส่งผลทำให้กำลังฉุดลากแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความเร็วการเดินทางเดียวกัน แต่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ที่เร็วกว่าส่งผลทำให้กำลังฉุดลากเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังจำเพาะที่เพลลาอำนาจกำลังมีขนาดลดลงเมื่อมุมชุดจานไถที่โตมากขึ้น สาเหตุมาจากปริมาตรดินในการพรวนกลบเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่ากำลังจำเพาะที่เพลลาอำนาจกำลังลดลง และสอดคล้องกับรัฐจิภาสและคณะ

(2560) ส่วนค่ากำลังรวมเป็นผลรวมของกำลังขุดลาก กับกำลังที่เพลล่าอานวยกำลัง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ความเร็วรอบหมุนของพลาจันไถ และความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น รวมถึงอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมขุดจันไถที่โตมากขึ้น นอกจากนี้ค่ากำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกเพิ่มขึ้นเมื่อ ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก ภาระโหลดที่เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการพรวนกลบ ไร่อ้อยและประสิทธิภาพการสางไร่อ้อยควรสูงกว่า 90% (รุจิภาสและคณะ, 2560) ผลการประเมิน ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยทุกกรรมวิธี สูงกว่า 90% และประสิทธิภาพการสางไร่อ้อยจาก

การทดสอบมากกว่า 80% (Figure 6) ทุกกรรมวิธี ดังนั้น กรรมวิธีที่ 1 ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) มุมขุดจันไถ 36° ความเร็ว รอบการหมุนที่พลาจันไถ 150 รอบ/นาที ความเร็ว เชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุน ตีขึ้น และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที มีค่ากำลังรวมต่ำสุด 12.17 กิโลวัตต์ ที่มีประสิทธิภาพการพรวนกลบไร่อ้อย 92.4% และมี ประสิทธิภาพการสางไร่อ้อย 82.2% เป็นเงื่อนไขที่ เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด



(a)



(b)

Figure 6 (a) Sugarcane residue incorporation before harvesting
(b) Cleaned sugarcane plant for next harvesting

3. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลือง โดย ความสามารถในการทำงานขึ้นอยู่กับความเร็วของรถ แทรกเตอร์ เมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. พบว่า มีอัตราการสิ้นเปลืองเล็กน้อยและมีค่าเป็นบวก ส่งผลให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์ลดลงเนื่องจาก

การสิ้นเปลืองของล้อแทรกเตอร์ส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านของดินที่กระทำต่อชุดล้อมีค่ามากกว่าแรงต้านของดินที่ล้อแทรกเตอร์ (Table 2) ส่วนไร่อ้อยซึ่งเป็น ภาระโหลดของอุปกรณ์สางไร่อ้อยจะอยู่ด้านข้างของ รถแทรกเตอร์ และลำต้นอ้อยจะถูกการัดป้องกันซึ่ง ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ดันออก จึงไม่ ส่งผลต่อความเร็วของรถแทรกเตอร์ และไม่ส่งผลต่อ ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

Table 2 Results of testing performance, fuel consumption and slip

| Effective field capacity (rai h ⁻¹) | Theoretical field capacity (rai h ⁻¹) | Field efficiency (%) | Fuel consumption (L rai ⁻¹) | Slip (%) |
|---|---|----------------------|---|----------|
| 1.75 | 2.36 | 74.15 | 1.65 | 0.22 |

ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย และประสิทธิภาพการสาบใบอ้อยจากการใช้งานเครื่องต้นแบบกับเครื่องสาบใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไปไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ข้อเด่นของเครื่องต้นแบบคือความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริงสูงกว่าเครื่องทั่วไป 0.88 ไร่/ชม. เนื่องจากเครื่องทั่วไปต้อง

ทำงาน 2 ครั้ง ในการสาบ และพรวนกลบใบอ้อย ส่งผลให้อัตรากาใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องต้นแบบนี้ต่ำกว่า 4.2 ล./ไร่ (Table 3) เครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท และค่าจ้างสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย 450 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ (Figure 7)

Table 3 Test result of trash covering efficiency, pruning of sugarcane leaves efficiency, fuel consumption and effective field capacity using the prototype as compared to the machine

| Comparison | Trash covering efficiency (%) | Pruning of sugarcane leave efficiency (%) | Fuel consumption (L rai ⁻¹) | Effective field capacity (rai h ⁻¹) |
|------------|-------------------------------|---|---|---|
| prototype | 92.4 | 82.2 | 1.65 | 1.75 |
| machine | 94.7 | 81.4 | 5.85 | 0.87 |
| T-test | 3.07 ^{ns} | 0.60 ^{ns} | 17.74* | 11.52 ^{ns} |

Note: * = significant at 5% level, NS = not significant

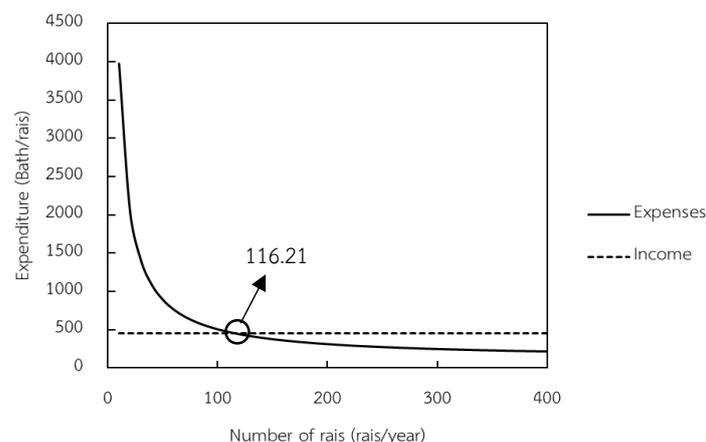


Figure 7 The break-even point of a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

4. ความสามารถของตัวควบคุมพีชซีลอจิก

ผลตอบสนองความเร็วรอบการหมุนของ ลูกดีสางใบของอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3 กับเวลา ขณะที่ลูกดีสางใบหมุนตีใบอ้อยลงมา เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ input setpoint พบว่า ความเร็วรอบ เริ่มหมุนจาก 0 รอบ/นาที จนถึง 800 รอบ/นาที ใช้ ช่วงเวลา response time 1.2 วินาที ช่วงเวลา delay

time 0.6 วินาที ช่วงเวลา rise time 0.8 วินาที และ ช่วงเวลา setting time 1.0 วินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (overshoot) ขึ้น (Figure 8) เนื่องจากระบบควบคุม การหมุนของลูกดีสางใบอ้อยออกแบบให้ง่ายต่อการ ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการหมุน โดยป้อนความเร็ว รอบที่ต้องการผ่านบอร์ดควบคุม

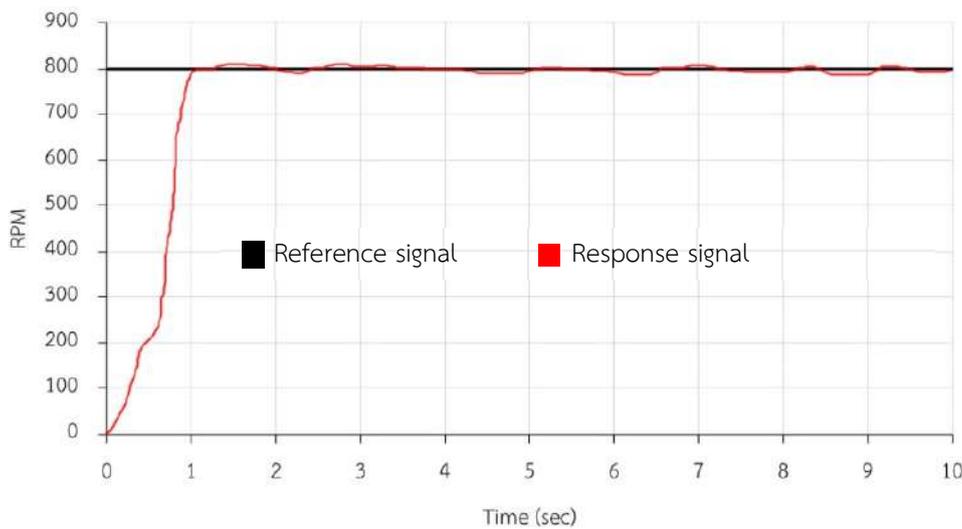


Figure 8 Response of Khon Kaen3 sugarcane cultivar for the revolution of the rollers compared with the reference signal

จากภาระโหลด (ปริมาณใบ และแรงดึงใบ) ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อรอบการหมุนของลูกดีสางใบ แต่ตัวควบคุมจะพยายามควบคุมรอบการหมุนให้ เท่ากับค่าความเร็ว input setpoint ดังนั้น ค่าความ ผิดพลาด เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง สางใบที่มีข้ออยู่ทั่วไปที่ไม่มีตัวควบคุม โดยผลตอบสนอง ที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง (steady-state) ได้รวดเร็ว ไม่ เกิดค่าพุ่งเกิน และค่าความผิดพลาดน้อยส่งผลให้ ประสิทธิภาพในการสางใบของเครื่องสางใบเพิ่มสูงขึ้น ความสะอาดในการสางใบสำหรับตัดอ้อยเข้า โรงงานสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสางใบที่มีข้อ อยู่ทั่วไป

สรุปผลการทดลอง

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย สามารถ สางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในการทำงานครั้งเดียว ทำการทดสอบกับอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3 สำหรับ ตัดเข้าโรงงาน ที่ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลาจานไถ 150 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ขอบผลาจานไถ 12.93 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดี สางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกดีสางใบ หมุนตีขึ้น ความเร็วรอบการหมุนของลูกดีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที และความเร็วเชิงเส้นที่ปลายเอ็น

ตัดหญ้าของลูกตีสาบใบ 44.15 ม./วินาที มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยเฉลี่ย 92.4% ประสิทธิภาพการสาบใบอ้อยเฉลี่ย 82.2% ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง 1.75 ไร่/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.65 ล./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสาบใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไป มีความสามารถในการทำงานสูงกว่า 0.88 ไร่/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่า 4.2 ล./ไร่ ควบคุมการหมุนของลูกตีสาบใบแบบพีชซี เครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท ค่าจ้างสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย 450 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ สามารถใช้ก่อนการใช้แรงงานคนเข้าตัดอ้อย มีความสะดวกและช่วยลดการเผาใบอ้อยได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา และ รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนถึงภาควิศวกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดสอบอุปกรณ์ไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน และเป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ ข้าราชการและลูกจ้าง กรมวิชาการเกษตรทุกท่าน ที่ได้ร่วมมือในการสร้างและทดสอบเครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยจนงานวิจัยลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2568. มาตรการรับมือสถานการณ์ไฟป่าหมอกควัน และฝุ่นละออง ปี 2568. แหล่งข้อมูล: <https://www.pcd.go.th/airandsound/มาตรการรับมือ>

- สถานการณ์ไฟป่า-หมอกควัน-และฝุ่นละออง-ปี-2568. สืบค้น: 10 มกราคม 2568.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มืองดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม. แหล่งข้อมูล: https://www.ldd.go.th/manual_stump/stump.pdf. สืบค้น: 5 มกราคม 2568.
- กรมวิชาการเกษตร. 2547. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 332 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2546. อ้อยไฟไหม้: ผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. วารสารอ้อยและน้ำตาลไทย. 10(2): 61-63.
- ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์ ดนัย ศาลทูลพิทักษ์ อนุชา เขาวีโชติ มงคล ตุ่นเฮ้า พุทธธินันท์ จารุวัฒน์ ปรีชา อานันท์รัตนกุล อนุชิต ฉ่ำสิงห์ รัชดา ปรัชเจริญวิชัย จิระวิวัฒน์ ไกรสินบุรศักดิ์ และกันต์ธกรณ์ เขาทอง. 2563. ออกแบบและพัฒนาเครื่องสาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิค. วารสารวิชาการเกษตร. 38(1): 33-49.
- ธัญญา นิยมภา และวิชัย หมอชาติ. 2554. การพัฒนาเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. หน้า 1-6. ใน: รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554. 31 มี.ค.-1 เม.ย. 2554 จังหวัดชลบุรี.
- วุฒิชัย กปิลกาญจน์. 2528. กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 377 หน้า.
- รุจิภาส คงกล้า ศิริศักดิ์ เขิดเกียรติพล และประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2560. การพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่หลังการเก็บเกี่ยวด้วยไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48(3พิเศษ): 23-26.
- อรรถสิทธิ์ บุญธรรม ช่ออ้อย กาฬกิติ และนันทนา โพธิ์สุข. 2558. การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยโดยการสาบใบในไร่เกษตรกร. หน้า 1-18. ใน: รายงานเรื่องเต็มผลการทดลองสิ้นสุด 2558. กรมวิชาการเกษตร.
- Abo El Ees, N.A.E.H and 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(4): 277-286.