

ออกแบบและพัฒนากลไกของเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์
The Design and Mechanism Developing of Sugarcane Leaf Pruning
Machine for sugarcane planting

ตฤณลิขัฐ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/} วิชัย โภพานุกุล^{1/} อานนท์ สายคำฟู^{1/} วีระ สุขประเสริฐ^{1/}
มานพ คันทามารัตน์^{2/} มงคล ตุ่นเฮ้า^{3/}
Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Wichai Opanukul^{1/} Arnon Saikamfu^{1/} Weera Sukpraserk^{1/}
Manop Kantamarat^{2/} Mongkol Tunhaw^{3/}

ABSTRACT

The pruning of sugarcane leaves are usually done two months before harvesting in order to facilitate the human labors in harvesting and to avoid traditional burning of the sugarcane leaves. Generally, the sugarcane leaf pruning machine is used to harvest sugarcane for factory. However it can't remove sugarcane leaves for planting because the seed bud is damaged about 60 – 70%. The objective of this research is the design and mechanism developing of Sugarcane Leaf Pruning for planting. So it applies the Slider – crank mechanism for the Sugarcane Leaf Pruning Roller which can to moves in a vertical direction by tow the small tractor 22 hp. It can to remove the sugarcane leaves form the ground up to 2.35 m. The DC motor 900 W 24 V is used to be the power and controlled a rotation by the microcontroller. It's tested with the Khon Kaen 3 sugarcane cultivar which has 0.6 years old in Tha Muang district, Kanchanaburi province and 2.05 m for the average height of sugarcane. Three factors is used this testing which consist the forward speed of tractor, linear velocity of the Sugarcane Leaf Pruning Roller and direction of a rotation for the Sugarcane Leaf Pruning Roller. The forward speed of tractor is 2.09 km h⁻¹, 0.5 m s⁻¹ for a linear velocity of the Sugarcane Leaf Pruning Roller and upward

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute Department of Agriculture Ladyoa Chachujak Bangkok 10900

^{2/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

^{2/} Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center Maehia subdistrict Meuang district Chiang Mai province 50100

^{3/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ต.บ้านทุ่ม อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

^{3/} Khon Kaen Agricultural Engineering Research Center Bantum subdistrict Meuang district Khon Kaen province 40000

direction of the Sugarcane Leaf Pruning Roller are found the least damage of seed bud be 1.38%, the least damage of stalk be 1.45%, 0.84 rai per hour for the performance, 37.33 ampere per hour for an average of the power electric and 4.11 liter per rai for the minimum fuel consumption. The cost of the Sugarcane Leaf Pruning Machine is 35,000 baht, 250 baht per rai for the earnings of Sugarcane Leaf Pruning and 8 hours per day for working. So the Break Even point is 182.37 rais and 1.58 years for the payback time.

Key words: Slider–Crank Mechanism, controller of sugarcane leaf pruning roller, sugarcane leaf pruning machine

บทคัดย่อ

การสาบใบอ้อยจะทำก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อยประมาณ 2 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก โดยไม่ต้องเผาใบ ทำให้อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด อ้อยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เครื่องสาบใบอ้อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะใช้สาบใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน แต่ไม่สามารถใช้สาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกลไกการสาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำ

พันธุ์ โดยประยุกต์ใช้กลไกแบบ Slider - crank เพื่อให้ลูกตีใบสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง โดยฟ่วงทำรตแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 22 แรงม้า สามารถตีใบอ้อยที่ระยะความสูงจากพื้นดินขึ้นไปจนถึงระยะ 2.35 ม. ต้นกำลังการหมุนลูกตีใบใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 900 วัตต์ 24 โวลต์ และควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) เป็น duty เปลี่ยนรอบการหมุนของลูกตีใบตามความสูงของต้นอ้อยแบบอัตโนมัติ เมื่อทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่มีอายุ 6 เดือน ในอ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 2.05 ม. พบว่าที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรตแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม. (Low 2) ความเร็วเชิงเส้นในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีใบ หมุนตีขึ้น ตาต้นอ้อยสูญเสียอ้อยที่น้อยที่สุด 1.38% ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45% อัตราการทำงาน 0.84 ไร่/ชม. พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.33 แอมป์/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 4.11 ล./ไร่ โดยเครื่องสาบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 35,000 บาท ค่าจ้างสาบใบอ้อยด้วยเครื่องสาบใบทั่วไปคือ 250 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม/วัน ดังนั้นจากผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสาบใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 182.37 ไร่ และมีระยะเวลาคืนทุน 1.58 ปี

คำหลัก: กลไกเลื่อนข้อเหวี่ยง ตัวควบคุมการหมุนของลูกตีใบ เครื่องสาบใบอ้อย

คำนำ

ปัญหาการเผาอ้อยปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น ในฤดูกาลเก็บเกี่ยว 2553/54 มีปริมาณอ้อยเผาใบถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศมากกว่า 4 ล้านตัน หรือประมาณ 61 % ของผลผลิตทั้งหมด (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2554) ซึ่งอ้อยที่ถูกเผาใบเหล่านี้จะเสียน้ำหนัก ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ สภาพดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ มีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายในการปลูกดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่เป็นที่ต้องการของโรงงานน้ำตาลเนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อแก้ปัญหา ส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง ทางโรงงานน้ำตาลจึงตัดราคาสำหรับอ้อยเผาใบลง ตันละ 20 บาท (วิชัย และคณะ, 2554)

รัฐบาลและโรงงานน้ำตาลจึงรณรงค์ให้มีการตัดอ้อยสด และประชาสัมพันธ์ถึงข้อดีของการตัดอ้อยสด อย่างไรก็ตามเกษตรกรยังมีแนวโน้มในการตัดอ้อยเผาใบสูงกว่าการตัดอ้อยสด จากผลสำรวจแปลงอ้อยของ วิชัยและคณะ (2554) จำนวน 258 แปลงพบว่ามีการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน 88.54 % แบ่งเป็นการตัดอ้อยสด 39.54 % อ้อยเผาใบ 52.09 % และทั้งอ้อยสดกับอ้อยเผาใบ 8.37 % โดยการเก็บเกี่ยวอ้อยสดมีอัตราการทำงาน 1.41-3.35 ตัน/วัน/คน อ้อยเผาไฟมีอัตราการทำงาน 3.63-6.00 ตัน/วัน/คน ซึ่งสูงกว่าอ้อยตัดสดเป็นเท่าตัว สาเหตุเกิด

จากความยากลำบากในการตัด ทำให้แรงงานที่ตัดอ้อยสดมีจำนวนน้อยลง และค่าจ้างแรงงานสูง

กรมวิชาการเกษตร (2555) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าเมื่ออ้อยได้อายุเก็บเกี่ยวแล้ว ไม่ควรเผาใบ แต่ใช้วิธีการตัดสางใบก่อนที่จะตัดอ้อย 2 เดือนล่วงหน้า จะทำให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด ทำให้ขยายขนาดปล้อง อ้อยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น 15-20 % อีกทั้งยังเป็นการช่วยกำจัดวัชพืชและตัวอ่อนของเพลี้ยต่าง ๆ ที่เป็นศัตรูอ้อย นอกจากนี้ใบอ้อยที่ตัดสางแล้วจะคลุมดิน ทำให้เก็บความชื้นในดิน และป้องกันวัชพืชเจริญเติบโต ในปี พ.ศ. 2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยขึ้น โดยติดตั้งกับรถไถเดินตามใช้ลูกตีใบ 2 ลูก ติดตั้งสองฝั่งบนและล่าง โดยแกนของลูกตีใบยึดติดกับเพลลา เพลลาหมุนด้วยรอบคงที่ประมาณ 700 รอบ/นาที ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามถ่ายทอดกำลังผ่านสายพาน โครงของลูกตีใบยึดเส้นลวดเพื่อใช้สำหรับตีใบอ้อย โดยลูกตีใบจะหมุนในทิศทางติลง

เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งรถไถเดินตาม มีอัตราการทำงาน 16 ม./นาที และในพื้นที่ 1 ไร่ ใช้เวลาในการสางใบ 70 นาที ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร (2550) ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ ขนาดเล็ก (Figure 1) โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้มีดสางใบ และมีด

ตัดอ้อย พบว่าเครื่องสางใบอ้อยสามารถสางใบอ้อยได้ 1 ชม. 19 นาที/ไร่ ในขณะที่มีดสางใบที่ใช้แรงงานคนใช้เวลาสางใบอ้อย 6 ชม. 12 นาที/ไร่ และมีดตัดอ้อยสามารถสางใบอ้อยได้ในอัตรา 9 ชม. 19 นาที/ไร่ หลังสางใบอ้อยตรวจความเสียหายของอ้อยจากการสางใบ พบว่าอ้อยที่ใช้เครื่องสางใบติดตั้งรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมีลำอ้อยหักล้ม 18.4 % ส่วนอ้อยที่ใช้มีดสางใบมีการหักล้ม 12.7 % และเมื่อนำลำอ้อยที่มีการสางใบไปทดสอบความงอก พบว่า การสางใบอ้อยไม่ทำให้ตาอ้อยเสียหาย และอ้อยที่มีการสางใบก่อนการเก็บเกี่ยวมีความงอกดีกว่าอ้อยที่ไม่มีการสางใบ คือ อ้อยที่มีการสางใบอ้อยด้วยเครื่องสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 72 % อ้อยที่มีการสางใบด้วยมีดสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 68 % และอ้อยที่ไม่มีการสางใบมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 42 %

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยทั้งในส่วนภาครัฐ และภาคเอกชนสำหรับเกษตรกรที่ใช้แรงงานคนในการตัดอ้อยแบบไม่เผาใบ โดย



Figure 1 The Sugarcane Leaf Pruning Machine installed with the small tractor.

เพิ่มลูกตีใบเป็น 4 ลูก เพื่อให้การตีใบอ้อยสะอาดขึ้น และเปลี่ยนจากเส้นลวดที่ใช้ตีใบอ้อยเป็นเอ็นตัดหญ้าแทน เพื่อลดความเสียหายจากการแตกหักของลำอ้อย (Figure 2) มีอัตราการทำงาน 1.4 ไร่/ชม. รอบการหมุนของลูกตีใบประมาณ 800-900 รอบ/นาที ทิศทางการหมุนติลง ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม (low 2)

เครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไปนี้ปกติจะใช้สางใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน เพราะการตัดอ้อยเข้าโรงงานจะไม่สนใจเรื่องการแตกหักของลำ หรือการเสียหายของตาอ้อย แต่ต้องการความสะอาดเพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สางใบอ้อยสำหรับอ้อยทำพันธุ์ได้ เพราะตาอ้อยสูญเสียประมาณ 60-70 % (อรรรลสิทธิ์และคณะ, 2550) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบกลไกการสางใบอ้อยให้สามารถสางใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเพื่อปลูกทำพันธุ์ เพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ลดการเผาใบ โดยสร้างเครื่องต้นแบบติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า และทดสอบ



Figure 2 General Sugarcane Leaf Pruning Machine used in the present.

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ดูความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อยที่เกิดขึ้น ซึ่งขอบเขตงานวิจัยนี้จะทดสอบในพื้นที่ที่มีการตัดอ้อยสด และแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้าสามารถเข้าทำงานในร่องอ้อยได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ปัจจุบัน

จากการทดสอบเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณใบอ้อยที่ได้จากการสางใบ และแรงดึงใบอ้อย พันธุ์ขอนแก่น 3 ปลูกใหม่ อายุ 10 เดือน ที่ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ จำนวน 6 ไร่ ที่มีความสูงเฉลี่ย 2.86 ม. เส้นผ่านศูนย์กลางลำเฉลี่ย 3.1 ซม. เส้นรอบวงลำเฉลี่ย 9.8 ซม. ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 1.5 ม ทำการวัดแรงดึงใบโดยใช้เครื่องชั่งสปริงดึงทั้งใบและกาบใบออก และหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง และแรงดึงใบ

2. การออกแบบและกลไกเครื่องสางใบอ้อย

2.1 ส่วนกลไก

ออกแบบให้ลูกตีสสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งได้โดยให้มีระยะในการตีที่สูง และใช้ลูกตีเพียงลูกเดียว กลไกที่จะนำมาใช้คือ กลไกเลื่อนข้อเหวี่ยง (Slider - Crank Mechanism) ซึ่งเป็นกลไกที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (วุฒิชัย, 2533) โดยใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$X = R(1 - \cos\theta) + \frac{R^2}{2L} \sin^2\theta \quad (1)$$

โดยที่

X = ระยะการเคลื่อนที่ หน่วยเป็น ซม.

R = ความยาวของ linkage ที่ต่อกับจุดหมุน หน่วยเป็น ซม.

L = ความยาวของ linkage ที่ต่อกับ linkage ที่ต่อกับจุดหมุน สลักที่ต่อเป็น Revolute joint หน่วยเป็น ซม.

θ = มุมระหว่าง linkage ที่ต่อกับจุดหมุน กับแนวระดับ หน่วยเป็น องศา

ในการทดสอบใช้รถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น L2201 ซึ่งมีค่าความกว้าง 108 ซม. และกำหนด geometry มาตรฐาน 1:20 เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกโดยคำนึงถึงความกว้างของร่องอ้อย ดังนั้นจะกำหนดระยะ R = 54 ซม, L = 96 ซม มีจุดหมุนจากพื้นดินสูงขึ้นไป 216 ซม. จะได้ระยะเคลื่อนที่ X = 96.07 ซม. กำหนด θ มีค่าสูงสุด 180 องศา จากนั้นเพิ่มท่อนเหล็กยาว 38.6 ซม ต่อในทิศทางตั้งฉากกับระยะเคลื่อนที่ X จะได้ระยะเคลื่อนที่รวม 135 ซม. และติดตั้งเอ็นตีใบยาว 50 ซม. จากนั้นเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ดังแสดงใน Figure 3

จากแบบจำลองที่พัฒนา ได้เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 2.5 x 5 ซม.หนา 3.2 มม. ในการทำแขน โดยแขนท่อน 1 ยาว 54 ซม. แขนท่อน 2 ยาว 96 ซม. และเพิ่มแขนท่อนที่ 3 ยาว 38.6 ซม. เพื่อกระจายแรงลัพท์ เพิ่มระยะในการเคลื่อนที่ และลดแรงเฉือนที่สลัก ทำให้ใช้สลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 ซม.ได้ โดยสลัก

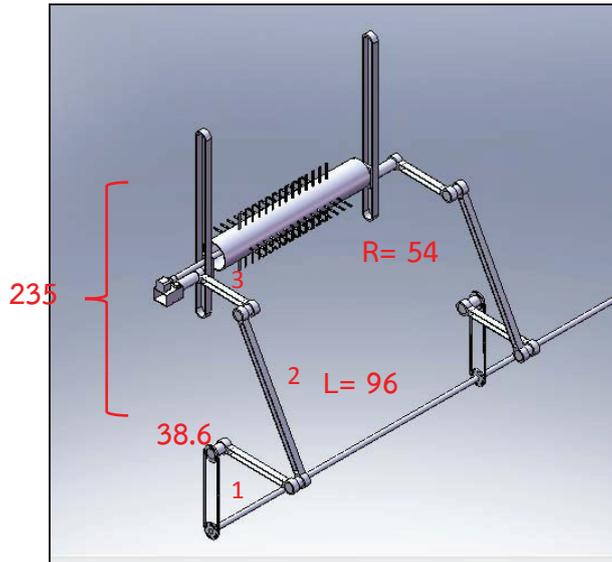


Figure 3 The model of sugarcane leaf pruning mechanism.

ระหว่างแขนท่อน 1 และ 2 เป็น Revolute joint ส่วนสลักระหว่างแขน 2 และ 3 เป็นสลักตายตัวเชื่อมติด แขน 3 ต่อในทิศทางตั้งฉากกับ slot เคลื่อนที่ในแนวตั้ง

2.2 ส่วนควบคุม

ส่วนการหมุนของลูกตีใบ จากการทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบว่าถ้ารอบการหมุนของลูกตีใบเร็วขึ้นจะตีใบออกได้มากขึ้นแต่ก็จะสร้างความเสียหายให้กับลำต้นและตาอ้อยได้มากขึ้นเช่นกัน จึงต้องมีการควบคุมการหมุนของลูกตีใบให้เหมาะสมตามความสูงของอ้อย และแรงดึงใบ ต้นกำลังที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ 900 วัตต์ ซึ่งง่ายต่อการควบคุม และตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมได้ไว Direct Current motor (DC motor) มี transfer function ดังสมการที่ 2

$$\omega(s) = Gv(s)Vi(s) = \frac{K_m}{\tau s + 1} Vi(s) \quad (2)$$

โดย

$\omega(s)$ คือ ความเร็วเชิงมุม output หน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

$Vi(s)$ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า input หน่วยเป็น โวลต์

K_m คือ ค่าคงที่มอเตอร์ ซึ่งหาได้จากการทดลอง

τs คือ ค่า time constant หน่วยเป็น วินาที

เมื่อหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธี system identification จะได้ transfer function ของ DC motor ที่ใช้ในการทดสอบดังสมการที่ 3

$$\omega(s) = \frac{2.67}{s + 1.657} Vi(s) \quad (3)$$

ในการเปลี่ยนรอบการหมุนมอเตอร์จะใช้สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) มาควบคุม DC motor โดยสั่งการทำงานแบบ Duty cycle ซึ่งคิดเป็น % ของ Full cycle จะ

สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 25 % เมื่อเทียบกับสัญญาณ on – off (สุวัฒน์, 2550) ทำการจำลองโดยสร้างสัญญาณ PWM ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ DC motor เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม Matlab มีผลตอบสนองดัง Figure 4

เพิ่มวิธีการควบคุมแบบ PI (Proportional Integral) เพื่อให้สัญญาณ out put ลู่เข้าสู่สัญญาณอ้างอิงมากที่สุด โดยมี Block diagram สำหรับ PI controller กับแบบจำลอง DC motor ดังแสดงใน Figure 5

สัญญาณความเร็วรอบ out put กับสัญญาณอ้างอิง PWM in put จากการจำลองการควบคุมมีขนาดใกล้เคียงกัน ในการควบคุมถือว่าใช้งานได้ สัญญาณ PWM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และมี Pulse Period เป็น 1 มิลลิวินาที (Figure 6) ซึ่งเพียงพอ

ที่จะทำให้ความเร็รรอบ out put ราบเรียบเมื่อทดสอบกับมอเตอร์จริง (Figure 7) โดยมี settling time (T_s) 0.533 มิลลิวินาที, peak time (T_p) 0.475 มิลลิวินาที, rise time 0.225 มิลลิวินาที, ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว 0.9 และ % overshoot 2.838 % ส่วนการเปลี่ยนรอบการหมุนจะใช้ proximity sensor เป็นตัวบอกตำแหน่งโดยส่งเป็นสัญญาณ feedback กลับไปที่ Controller เพื่อให้ Controller ส่งสัญญาณควบคุม PWM ออกมา

3. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสางใบอ้อย

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ low1 (1.39 กม./ชม) และ low2 (2.09 กม./ชม.) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของ

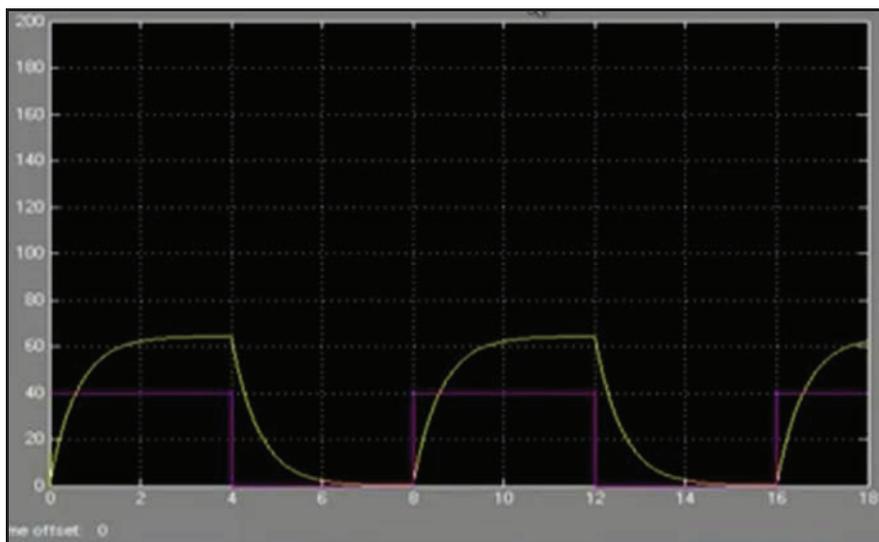


Figure 4 Steady – State response for the testing DC motor model compare with the reference signal.

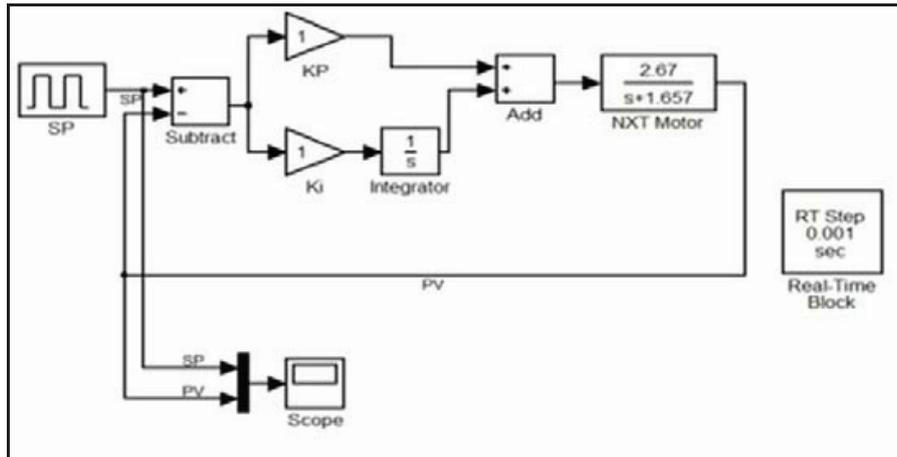


Figure 5 Block Diagram for Proportional Integral (PI) controller with DC motor model

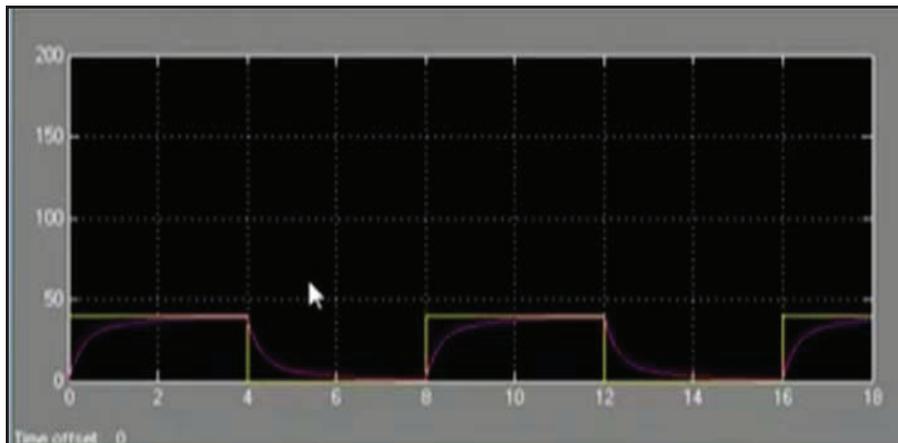


Figure 6 Steady – State response for the testing DC motor model with Proportional Integral (PI) controller

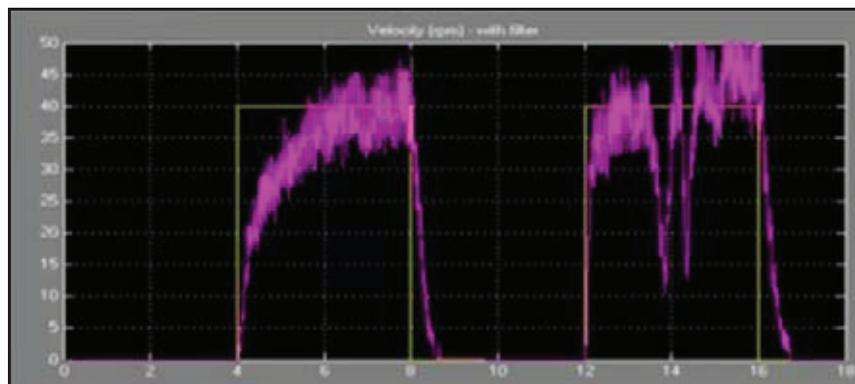


Figure 7 Steady – State response for the testing DC motor compare with reference Signal

ลูกตีใบ 3 ระดับคือ 0.3, 0.4 และ 0.5 ม./วินาที และทิศทางการหมุนของลูกตีใบ 2 ระดับคือ หมุนตีขึ้น และหมุนตีลง ทำการทดลองที่ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ขนาดแปลงทดสอบ 1.5 x 10 ตร.ม./กรรมวิธี ทดสอบกับอ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน เป็นอ้อยตอ 2 ก่อน การทดสอบจะวัดความสูงของต้นอ้อยและติดตั้ง proximity sensors เพื่อเป็นตัวบอกตำแหน่งในการเปลี่ยนรอบลูกตีใบ จากการวัดความสูงอ้อย ทั้งหมด 6 ซ้ำ อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 ม. ตำแหน่งแรกที่ติดตั้งวัดจากพื้นดินสูงขึ้นมา 50 ซม. ตำแหน่งที่ 2 90 ซม. และตำแหน่งที่ 3 180 ซม. โดยอ้างอิงจากกราฟแรงดึงใบใน Figure 3 แทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแทรกเตอร์ Kubota รุ่น L2201 ขนาด 22 แรงม้า บันทึก อัตราการทำงาน ความเสียหายของตาอ้อย และ ความเสียหายของลำ ในการทดสอบเครื่องสางใบ อ้อยในโครงการวิจัยนี้ จะให้เกษตรกรชาวไร่อ้อย ที่มีความชำนาญในการตัดอ้อยทำพันธุ์ และตัด อ้อยเข้าโรงงานจำนวน 30 รายใน อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี และนักวิชาการเกษตรของสถาบัน วิจัยพืชไร่ สุพรรณบุรี ร่วมกันพิจารณา

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่อง สางใบอ้อย

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของ เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบที่มีการทดสอบการใช้งานภาคสนาม และพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ จริงโดยกำหนดราคาเครื่องสางใบอ้อยเท่ากับ 35,000 บาท มีอายุการใช้งาน 5 ปี ใช้แรงงาน

จำนวน 1 คน ในการขับแทรกเตอร์ ทำงาน 8 ชม./วัน ใช้วิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์เครื่องกลโดยคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break Even Point, BEP) ของ วุฒิชัย (2533)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องสางใบอ้อยที่ ใช้อยู่ปัจจุบัน

เครื่องสางใบอ้อยทั่วไป สามารถสางใบ อ้อยเฉลี่ย 1,335.5 กก./ไร่ ในการวัดแรงดึงใบ โดยใช้เครื่องชั่งสปริงดึงทั้งใบและกาบใบออก และหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง และแรง ดึงใบ พบว่าแรงดึงใบเพิ่มขึ้นตามความสูง และ บางช่วงของความสูงจะมีการเปลี่ยนแรงดึงอย่าง ฉับพลัน เนื่องจากใบอ้อยบริเวณนั้นยังอ่อนกว่า ใบอ้อยบริเวณช่วงที่ต่ำลงมาซึ่งแห้งกว่า สังเกต จากความชันของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไป เช่นใน ช่วงความสูงตั้งแต่ 90 – 100 ซม. และ 160 – 200 ซม. (Figure 8)

2. การออกแบบกลไกการสางใบอ้อย และส่วน ควบคุมการหมุนของลูกตีใบ

2.1 ผลการออกแบบกลไกการสางใบอ้อย

จากการออกแบบกำหนดระยะ $R = 54$ ซม., $L = 96$ ซม. มีจุดหมุนจากพื้นดินสูงขึ้นไป 216 ซม. จะได้ระยะเคลื่อนที่ $X = 96.07$ ซม. กำหนด θ มีค่าสูงสุด 180 องศา จากนั้นเพิ่ม ท่อนเหล็กยาว 38.6 ซม. ต่อในทิศทางตั้งฉากกับ ระยะเคลื่อนที่ X จะได้ระยะเคลื่อนที่รวม 135 ซม. และติดตั้งเอ็นตีใบยาว 50 ซม. แบบจำลอง

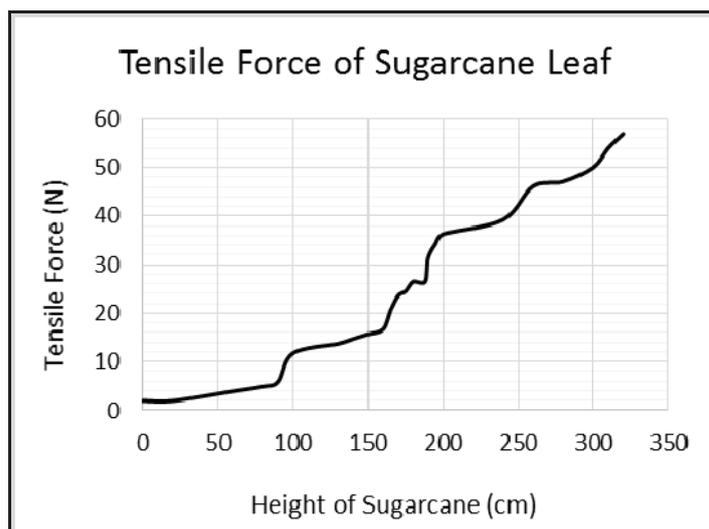


Figure 8 Relationship between the tensile force of leaf and height of sugarcane.

การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Figure 9) เมื่อประกอบเป็นโครงต้นแบบ โดยโครงของเครื่องใช้เหล็กกล่องขนาด 5 x 5 ซม. ส่วนระบบถ่ายทอดกำลังจะถ่ายทอดกำลังผ่านเพลาอำนาจกำลัง (Power Take Off, PTO) ต่อผ่านชุดห้องเกียร์ทด 1:60 ไปขับเพลาซึ่งติดตั้งในแนวตั้งสูงขึ้นไป 20 ซม. จากตำแหน่งเพลาอำนาจกำลัง โดยเพลาจะติดตั้งเฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 20 ฟันเป็นเฟืองขับ และถ่ายทอดไปขับเพลาที่ติดตั้งในแนวตั้งสูงขึ้นไป 216 ซม. จากตำแหน่งเพลาอำนาจกำลัง โดยติดตั้งเฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 80 ฟัน เป็นเฟืองตาม เพลาที่ติดตั้งสูงขึ้นไปนี้จะ เป็นจุดหมุนไปขับแขนท่อนที่ 1 ซึ่งทั้งหมดใช้โซ่เบอร์ 50 เป็นตัวถ่ายทอดกำลัง (Figure 10)

การออกแบบกลไกการสางใบอ้อยโดยใช้กลไกแบบ Slider – Crank พบว่า ลูกตีใบสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้ง และสางใบได้สูงถึง 235 ซม. แตกต่างจากเครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไป ซึ่งมีระยะในการสางเพียง 150 ซม.

ทำให้สางใบได้สะอาดกว่า การที่ลูกตีใบสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งได้นั้น ทำให้การตีใบไม่ได้ติอยู่ตรงจุดเดิม ขณะที่ลูกตีใบของเครื่องสางใบอ้อยทั่วไปไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทำให้มีการตีใบอยู่ตรงจุดเดิม ส่งผลให้ตาอ้อย และลำอ้อยเสียหายมากกว่า นอกจากนี้เครื่องที่ออกแบบใหม่ใช้ลูกตีใบ 1 ลูกต่อ 1 ฟัน ทำให้ประหยัดค่าวัสดุ

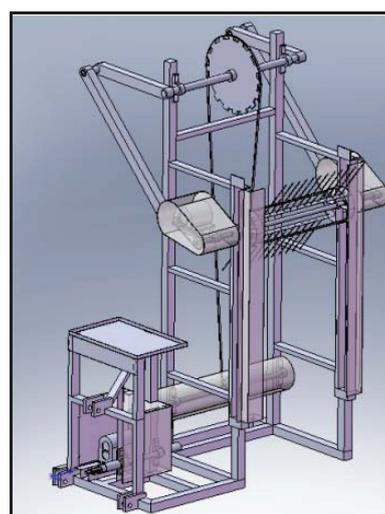


Figure 9 The model of Sugarcane Leaf Pruning Mechanism.



Figure 10 The primary sugarcane leaf pruning mechanism.

ในการสร้างเครื่องเพราะเครื่องสางใบอ้อยทั่วไปใช้ลูกตีใบ 2 ลูกต่อ 1 ฟัง และเครื่องสางใบอ้อยที่ออกแบบใหม่ทำงานครั้งเดียวต่อ 1 ร่องอ้อย ขณะที่เครื่องทั่วไปต้องทำงาน 2 ครั้งต่อ 1 ร่องอ้อย ส่งผลให้อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า

2.2 การออกแบบส่วนควบคุม

จากการออกแบบส่วนควบคุมการหมุนของลูกตีใบ โดยใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ 900 วัตต์ สามารถควบคุมการหมุนของลูกตีใบให้ได้รอบการหมุนตามต้องการ โดยการป้อนตัวเลขรอบการหมุนที่ต้องการจากโปรแกรมที่เขียนใน Micro controller แสดงใน Figure 11 โดยจะได้รอบการหมุนที่แม่นยำ แตกต่างจากลูกตีใบของเครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไป ซึ่งมีรอบการหมุนคงที่ ถ้าจะปรับเปลี่ยนรอบต้องปรับเปลี่ยนที่อัตราทด หรือ

```

//#include <LiquidCrystal.h>
#define SENSOR_PIN_1_A 6//2
#define SENSOR_PIN_1_B 5//3
#define SENSOR_PIN_1_C 7//4
#define SENSOR_PIN_2_A 3//5
#define SENSOR_PIN_2_B 2//6
#define SENSOR_PIN_2_C 4//7
#define MOTOR_PIN_1 10
#define MOTOR_PIN_2 11

#define SENSOR_PIN_L 8
#define SENSOR_PIN_R 9

/*
#define analogPin_1 A0
#define analogPin_2 A1
#define analogPin_3 A2
*/

#define TIME_ON 200 //1min
#define TIME_OFF 10

#define PWM_1 50
#define PWM_2 70
#define PWM_3 80

unsigned int count_on_L=0;
unsigned int count_on_R=0;

```

Figure 11 Changing rotation of the Sugarcane Leaf Pruning Roller.

รอบการหมุนของ PTO ซึ่งยุ่งยาก ซับซ้อน และรอบที่ได้มีค่าไม่แม่นยำ

นอกจากนี้ในส่วนของการควบคุมสามารถปรับเปลี่ยนรอบได้ตามความสูงแบบอัตโนมัติตามตำแหน่งที่ติดตั้ง Proximity sensor (Figure 12). ทำให้รอบการหมุนของลูกตีใบมีความเหมาะสมกับแรงดึงใบ และความสูงของอ้อย

ส่งผลให้ต้นอ้อยมีความสะอาด ตาอ้อยและลำอ้อย เสียหายน้อย ทำให้สามารถสางใบอ้อยเพื่อตัดสำหรับทำพันธุ์ได้ ขณะที่เครื่องสางใบอ้อยทั่วไปไม่สามารถสางใบอ้อยเพื่อตัดทำพันธุ์ได้ เนื่องจากไม่สามารถปรับเปลี่ยนรอบการหมุนตามความสูงของต้นอ้อยได้ เครื่องสางใบอ้อยที่พัฒนาใหม่นี้สามารถเปิด-ปิดรอบการหมุนของ



Figure 12 Proximity sensor's set up at the moving path of the DC motor.

ลูกตีใบโต้แบบอัตโนมัติทำให้ประหยัดพลังงาน และยืดอายุการใช้งานของลูกตีใบและมอเตอร์ไฟฟ้า

ผลการออกแบบกลไกการสางใบอ้อย และส่วนควบคุมการหมุนของลูกตีใบ เมื่อนำมาประกอบเป็นเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบแล้ว (Figure 13) ทำให้ได้เครื่องสางใบอ้อยรูปแบบใหม่ที่สามารถสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ได้ รวมถึงสามารถสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดเข้าโรงงานได้เช่นเดียวกัน ลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ลดค่าวัสดุในการสร้าง และเป็นรูปแบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติสำหรับอ้อยตามนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมงานด้าน Smart farming

3. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสางใบอ้อย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสางใบอ้อย กับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่าความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย สัมพันธ์กับค่า



Figure 13 The primary Sugarcane Leaf Pruning Machine installed with the small tractor.

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ความเร็วเชิงเส้นในแนวตั้งของลูกตีใบ และทิศทางการหมุนของลูกตีใบ ดังแสดงใน Table 1 เมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีใบหมุนตีขึ้น ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45 % และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38 % ขณะที่ความเร็วแทรกเตอร์ 1.39 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.3 ม./วินาที และทิศทางการหมุนของลูกตีใบหมุนตีลง ลำต้นอ้อยจะสะอาดมากที่สุด ซึ่งในการสางใบอ้อยทำพันธุ์นั้นถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่ ส่วนใบแห้งหลุดออก และโคนอ้อยสะอาดถือว่าสามารถใช้ทำพันธุ์ได้ (Figure 14) ความสะอาดจากการสางใบความหมายทั่วไปคือ โคนอ้อยต้องสะอาด ใบแห้งควรหลุดออกจากลำทั้งหมด แต่ในกรณีสางใบเพื่อตัดอ้อยทำพันธุ์นั้น ถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่ โดยที่ตาอ้อย และลำอ้อยไม่เสียหาย และใบแห้งหลุดออกหมด ถือว่าสะอาดเพียงพอในการตัดทำพันธุ์ได้ แต่ถ้าสางใบก่อน

เก็บเกี่ยวประมาณ 1-2 เดือน เพื่อตัดอ้อยเข้า โรงงานจะสางใบออกทั้งหมดเพราะโรงงานน้ำตาล ไม่สนใจความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย

จากนั้นทดลองปรับรอบการหมุนของลูก ตีใบให้เหมาะสมในแต่ละช่วงความสูงพบว่า ช่วง ความสูง 0-90 ซม. ใช้ 680 รอบ/นาที, 90-180 ซม. ใช้ 700 รอบ/นาที และความสูงตั้งแต่ 180 ซม. ขึ้นไปให้หยุดหมุนเพราะเป็นช่วงยอดยาว ไม่มีความจำเป็นต้องสาง เวลาใช้ปลูกรักษาพันธุ์ เกษตรกรจะต้องตัดยอดยาวทิ้งอยู่แล้ว ซึ่งรอบ การหมุนที่ทดลองปรับนี้สร้างความเสียหายกับ ตาอ้อย และลำต้นอ้อยน้อยที่สุด ประมาณ 1.3 - 1.6 % อ้อยมีความสะอาดเพียงพอสำหรับ แรงงานเข้าตัด แสงแดดส่องผ่าน และอากาศ ระบายได้ดี

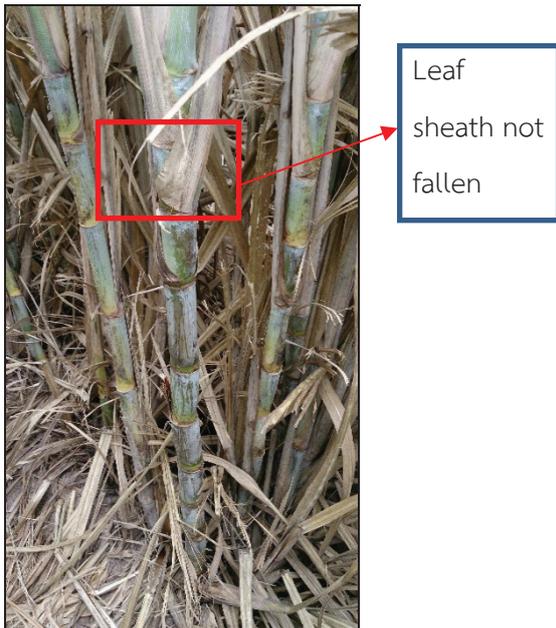


Figure 14 Cleaned sugarcane plant for next planting.

ขณะที่ค่าประสิทธิภาพการทำงานเชิง พื้นที่ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิง ทฤษฎี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร จริง อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาสูญเสียรวม ที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับ พบว่าความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม มี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง 0.84 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 83.17% และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 4.11 ล./ไร่ โดยมีเวลาในการทำงานจริง 2,142.86 วินาที และเวลาที่ใช้ในการกลับรถ 361.18 วินาที (Table 2) ไม่ต้องสูญเสียเวลา ปรับแต่งเครื่อง และสูญเสียเวลาอื่น ๆ ทำให้ เวลาสูญเสียรวมเท่ากับเวลาที่ใช้ในการกลับรถ ผลการทดลองจะสอดคล้องกับข้อมูลการใช้ ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม. ความเร็วเชิง เส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 ม./วินาที และทิศทางการหมุนของลูกตีหมุนขึ้น ทำให้ลำต้นอ้อย และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด

นอกจากนี้รอบการหมุนของลูกตีใบ กับ duty cycle ส่งผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดย ตำแหน่งที่ 50 ซม. เป็นบริเวณโคนต้น และมี ปริมาณใบอ้อยมาก ซึ่งเป็นจุดแรกที่ตัวควบคุมสั่ง สัญญาณ PWM เพื่อเปลี่ยนรอบเป็น 680 รอบ/ นาที ทำให้ตัวควบคุมต้องสั่ง duty cycle ออก ไป 80.56 % เพื่อให้ได้รอบที่ต้องการแม้จะมีแรง ดึงใบน้อยที่สุด ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า ช่วงอื่นๆ คือ 38.6 แอมป์/ชม. ส่วนช่วงความสูง ตั้งแต่ 50-180 ซม. ปริมาณใบจะน้อยกว่าโคน ต้น แต่มีแรงดึงใบสูงกว่า duty cycle ที่สั่งจาก

Table 1 Efficiency testing for the primary sugarcane leaf pruning machine with Khon Kaen 3 sugarcane cultivar

| Forward speed (km h ⁻¹) | Linear Velocity (m s ⁻¹) | Direction of the Sugarcane Leaf Pruning Roller | Stalk's damage (%) | Seed bud's damage (%) |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1.39(low1) | 0.3 | downward | 3.17 | 2.43 |
| 1.39(low1) | 0.3 | upward | 3.02 | 2.07 |
| 1.39(low1) | 0.4 | downward | 2.14 | 2.13 |
| 1.39(low1) | 0.4 | upward | 2.07 | 1.95 |
| 1.39(low1) | 0.5 | downward | 1.93 | 1.86 |
| 1.39(low1) | 0.5 | upward | 1.57 | 1.78 |
| 2.09(low2) | 0.3 | downward | 2.63 | 2.13 |
| 2.09(low2) | 0.3 | upward | 2.24 | 1.98 |
| 2.09(low2) | 0.4 | downward | 2.03 | 1.82 |
| 2.09(low2) | 0.4 | upward | 1.85 | 1.77 |
| 2.09(low2) | 0.5 | downward | 1.93 | 1.67 |
| 2.09(low2) | 0.5 | upward | 1.45 | 1.38 |

Table 2 Efficiency testing performance, forward speed and fuel consumption of primary sugarcane leaf pruning machine

| Forward speed (km h ⁻¹) | Effective field capacity (rai h ⁻¹) | Theoretical field capacity (rai h ⁻¹) | Field efficiency (%) | fuel consumption (L rai ⁻¹) | Time's working (s) | Time lost for turning (s) | Total time's losing (s) |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1.39(low1) | 0.55 | 0.65 | 84.62 | 5.20 | 3,272.73 | 428.39 | 428.39 |
| 2.09(low2) | 0.84 | 1.01 | 83.17 | 4.11 | 2,142.86 | 361.18 | 361.18 |

ตัวควบคุมออกมาจะเพิ่มขึ้นตามความสูงเพื่อให้ได้รอบลูกตีตามที่กำหนด ส่วนความสูงตั้งแต่ 180 ซม. ขึ้นไปให้หยุดหมุนเพราะเป็นช่วงยอดยาว ไม่มีความจำเป็นต้องสาง เพราะยอดยาวขึ้นไปเกษตรกรไม่ใช้ปลูกทำพันธุ์ ดังนั้นตัวควบคุมจะไม่ส่งสัญญาณควบคุมออกมา พลังงาน ไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.33 แอมป์/ชม. ซึ่งอยู่ในอัตราการไหลของกระแสไฟของมอเตอร์ที่ 40 แอมป์ และ

ไม่มีปัญหาสำหรับไดชาร์จของรถแทรกเตอร์ที่ชาร์จไฟได้ 70 แอมป์ (Table 3)

4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบใช้วิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องกลโดยคำนวณหาจุดคุ้มทุน ดังนี้

Table 3 Efficacy of duty cycle, speed of the sugarcane leaf pruning roller and electric power

| Height's range of sugarcane (cm) | Duty cycle (%) | Speed of the Sugarcane Leaf Pruning Roller (rpm) | Electric's Power (A h ⁻¹) |
|----------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 0 - 50 | 80.56 | 680 | 38.6 |
| 50 - 90 | 75.56 | 680 | 35.6 |
| 90 - 180 | 77.78 | 700 | 37.8 |
| Above 180 | 0 | 0 | 0 |

4.1 ราคาในการสร้างเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ (MC) = 35,000 บาท

4.2 ค่าเสื่อมราคา (D) คำนวณจาก
มูลค่าซาก (S) = (MC-S)/year บาท
= 10% ของราคาเครื่อง
= $\frac{10 \times 35,000}{100}$

= 3,500 บาท

ดังนั้นค่าเสื่อมราคา (D) = $\frac{(35,000 - 3,500)}{5}$

= 6,300 บาท/ปี

4.3 ค่าเสียโอกาส (R) คำนวณจาก

เมื่อ I คือ อัตราดอกเบี้ย = 10% ต่อปี

ดังนั้นค่าเสียโอกาส (R) = $0.1 \times (35,000 + 3,500) / 2$ บาท/ปี

= 1,925 บาท/ปี

4.4 ค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) คำนวณจาก = D+R บาท

= 6,300 + 1,925

ดังนั้นค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) = 8,225 บาท/ปี

4.5 ค่าจ้างแรงงานทั้งหมด 1 คน สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องสางใบอ้อยสำหรับสางใบอ้อยทั่วไปคือ 500 บาท/วัน ช่วงเวลาในการสางใบอ้อยประมาณ 100 วัน/ปี

$$\begin{aligned} \text{จะต้องเสียค่าจ้างแรงงาน} &= 500 \times 100 \\ &= 50,000 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

4.6 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง คิดจากการทำงาน 8 ชม./วัน มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 4.11 ลิ./ไร่ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง 0.84 ไร่/ชม. ช่วงเวลาในการสางใบอ้อยประมาณ 100 วัน/ปี และน้ำมันดีเซลลิตรละ 29.85 บาท (ราคาน้ำมันดีเซลเมื่อวันที่ 26 ต.ค. 2556)

$$\begin{aligned} \text{จะต้องเสียค่าน้ำมัน/ปี} &= 0.84 \times 4.11 \times 8 \times 100 \times 29.85 \\ &= 82,443.31 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

4.7 ค่าบำรุงรักษาคิดจาก 1.2% ของราคาซื้อ / ชั่วโมงการทำงาน/วัน

$$\begin{aligned} &= (0.012 \times 35,000) / 8 \text{ บาท/วัน} \\ &= 52.5 \times 100 \\ &= 5,250 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าน้ำมันเชื้อเพลิง} &= 5,250 + 82,443.31 \\ &= 87,693.31 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.8 \text{ ค่าใช้จ่ายแปรผันรวม (VC)} &= 50,000 + 87,693.31 \\ &= 137,693.31 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.9 \text{ ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (AC)} &= FC + VC \\ &= 8,225 + 137,693.31 \\ &= 145,918.31 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4.10 \text{ ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (VC}_u\text{)} &= VC / \text{อัตราการทำงาน/ปี} \\ \text{อัตราการทำงานต่อปี} &= 8 \times 0.84 \times 100 \\ &= 672 \text{ ไร่/ปี} \\ \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (VC}_u\text{)} &= 137,693.31 / 672 \\ &= 204.90 \text{ บาท/ไร่} \end{aligned}$$

4.11 รายได้ทั้งปี ประกอบด้วยค่าจ้างช่างใบอ้อยเพื่อตัดอ้อยทำพันธุ์ด้วยเครื่องสางใบ คือ 250 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง 0.84 ไร่/ชม. ช่วงเวลาในการสางใบอ้อยประมาณ 100 วัน/ปี ดังนั้นรายได้ทั้งปี

$$= 250 \times 0.84 \times 8 \times 100$$

$$= 168,000 \text{ บาท/ปี}$$

4.12 ผลกำไรต่อปีกับการใช้เครื่องจักร

$$= \text{รายได้ทั้งปี} - \text{ค่าใช้จ่ายรวม}$$

$$= 168,000 - 145,918.31$$

$$= 22,081.68 \text{ บาท/ปี}$$

4.13 หาจุดคุ้มทุนสำหรับการใช้เครื่อง

$$= FC / (SP_u - VC_u)$$

$$= 8,225 / (250 - 204.90)$$

$$= 182.37 \text{ ไร่}$$

4.14 ระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่อง

$$= MC/P$$

$$= 35,000 / 22,081.688$$

$$= 1.58 \text{ ปี}$$

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 182.37 ไร่ และมีระยะเวลาคืนทุน 1.58 ปี ถ้าเกษตรกรนำเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบไปใช้งานจะได้ผลกำไรตอบแทนในปีที่สาม

สรุปผลการทดลอง

เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบสามารถสางใบอ้อยได้ทั้งในกรณีสางใบอ้อยเพื่อทำพันธุ์ และสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้าโรงงาน เมื่อทำการสางใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ที่เป็นอ้อยต่อ 2 มีความสูงเฉลี่ย 2.05 ม. มีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้

1. กรณีสางใบอ้อยเพื่อทำพันธุ์ ใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กม/ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีใบหมุนตีขึ้น ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด (1.45%) ตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด (1.38%) มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด 0.84 ไร่/ชม. โดยช่วงความสูง

0-180 ซม. ใช้ duty cycle สูงสุด 80.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 รอบ/นาที ถ้าช่วงความสูงมากกว่า 180 ซม. ขึ้นไปใช้ duty cycle เป็น 0% ทำให้ไม่มีการหมุนของลูกตีใบ เพราะเป็นช่วงยอดยาว พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.67 แอมป์/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 4.11 ลิ./ไร่ อ้อยมีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานเข้าตัดทำพันธุ์

2. เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีราคา 35,000 บาท ค่าจ้างสางใบอ้อยด้วยเครื่องสางใบทั่วไปคือ 250 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน ดังนั้นจากผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 182.37 ไร่ และมีระยะเวลาคืนทุน 1.58 ปี

เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ เป็นเครื่องสางใบอ้อยที่สามารถควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของลูกตีใบได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ สามารถนำไปใช้สางใบอ้อยเพื่อลดความเสียหายของตาอ้อยและลำอ้อย ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับการตัดอ้อยทำพันธุ์ได้ และลดค่าจ้างแรงงานในการตัดอ้อย ดังนั้นเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบสามารถแก้ปัญหาเรื่องแรงงานคนในการตัดอ้อยทำพันธุ์เกษตรกร ผู้ประกอบการ และหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง สามารถนำเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบไปใช้สางใบได้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2555. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. *เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัย*

พืชไร่ กรมวิชาการเกษตร 14(2) : 27-33.

วิชัย โภภานุกุล สันธาร์ นาควัฒน์านุกูล ชัชชัย ชัยสัตตปกรณณ์ คทาวิรุจ จงสุขไวย มงคล ตุ่นเข้า บาลทิตย์ ทองแดง และदनัย ศารทูลพิทักษ์. 2554. ศึกษาสภาพพื้นที่เพาะปลูกและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย. *สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร*. 10(5) : 9-14.

วุฒิชัย กปิลกาญจน์, 2533. *พลศาสตร์เครื่องจักรกล*. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 362 หน้า. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร. 2549. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. *เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร* 3(2) : 4-8.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร. 2550. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. *เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร* 4(7) : 12-15.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2554. ผลกระทบของอ้อยไฟไหม้ต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลไทย. *วารสารสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย* 15(1): 47-50.

สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. 2550. *วิศวกรรมการควบคุมอัตโนมัติ*. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพฯ. 375 หน้า.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, ชุมพล คำสิงห์, นริศร ขจรผล, สุกวี นันตะสุนันท์ และสนิท สมเหมาะ. 2550. *การแก้ปัญหาการเผาไหม้อ้อย*

ก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการสางใบอ้อย. หน้า 145-151. ใน: รายงาน ผลการวิจัยประจำปี 2550. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร สุพรรณบุรี.