รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย สำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

Research and Development of Sugarcane Leaf Plucking and Keeping for Small Tractor

นายวิชัย โอภานุกุล

Mr. Wichai Opanukul

ปี พ.ศ. 2558

สารบัญ **หน้า**

กิติกรรมประกาศ 2

ผู้วิจัย 2

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ 2

กิจกรรมที่ 1: ออกแบบและพัฒนากลไกการปลิด และเก็บใบอ้อย 3

กิจกรรมที่ 2: วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยแบบกึ่งอัตโนมัติ 19

บทสรุปและข้อเสนอแนะ 36

บรรณานุกรม 36

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้บริหารของกรมวิชาการเกษตร ข้าราชการ ลูกจ้างประจำ และ พนักงานราชการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ที่ได้ร่วมดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ร่วมทั้งเกษตรกรชาวไร่อ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรีและกาญจนบุรี ที่ให้แปลงปลูกอ้อยสำหรับทดสอบเครื่องต้นแบบ

คณะผู้วิจัย มีนาคม 2559

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ:	นายวิชัย	โอภานุกุล	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
หัวหน้ากิจกรรมที่ 1	นายวิชัย	โอภานุกุล	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
หัวหน้ากิจกรรมที่ 2	นายตฤณสิษฐ์	ไกรสินบุรศักดิ์	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
ผู้ร่วมวิจัย:	นายอานนท์	สายคำฟู	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายวีระ	สุขประเสริฐ	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายพินิจ	จิรคคกุล	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายดนัย	ศาลทูนพิทักษ์	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายบาลทิตย์	ทองแดง	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายมงคล	ตุ่นเฮ้า	สังกัดสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

หน่วยวัดที่ใช้เป็นหน่วย SI และอาจจะมีหน่วยอื่น ๆ ร่วมแสดงบ้างเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย

กิจกรรมที่ 1
ออกแบบและพัฒนากลไกการปลิด และเก็บใบอ้อย

ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์, วิชัย โอภานุกุล, อานนท์ สายคำฟู, วีระ สุขประเสริฐ
มงคล ตุ่นเฮ้า และ พินิจ จิรัคคกุล
คำสำคัญ: อ้อย, ใบอ้อย, เครื่องจักรกลอ้อย

บทคัดย่อ

การพัฒนากลไกเพื่อใช้ปลิดและเก็บใบอ้อย ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 900 วัตต์ เป็นตัวขับเคลื่อนการหมุนของลูกปลิดใบอ้อย แโละมีไมโครคอนโทรเลอร์ควบคุมการเปลี่ยนรอบตามความสูงของต้นอ้อย ผลการทดสอบหา duty cycle ที่เหมาะสมกับต้นอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ความสูงเฉลี่ย 205 เซนติเมตร พบว่าความสูง 0-50 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 80.56% รอบการหมุน 680 รอบต่อนาที, 50-90 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 75.56% รอบการหมุน 680 รอบต่อนาที, 90-180 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 77.78% รอบการหมุนของ 700 รอบต่อนาที และมากกว่า 180 เซนติเมตรขึ้นไปใช้ duty cycle 0% ส่วนผลการทดสอบชุดกลไกเมื่อนำไปติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ โดยใช้ความเร็วเคลื่อนที่ 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเชิงเส้นของลูกปลิดใบ 0.5 เมตรต่อวินาที ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา มีอัตราการทำงาน 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 37.33 แอมป์ต่อชั่วโมง พบว่าทำให้ตาของต้นอ้อยมีการสูญเสียเล็กน้อยเพียง 1.38% โดยข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในกิจกรรมที่ 2 ต่อไป

Abstracts

The slider – crank mechanism for the sugarcane leaf pruning roller consists of DC motor [900 w] to drive pruning roller and microcontroller to control rotation. This mechanism is tested with the Khon Kaen 3 sugarcane variety [6 months old and 205 cm stem height] to optimize duty cycle. The results indicated 80.56 % duty cycle and 680 rpm rotation at 0 – 50 cm height, 75.56% duty cycle and 680 rpm rotation at 50 – 90 cm height and 77.78% duty cycle and 700 rpm rotation at 90 – 180 cm height. Furthermore, the slider-crack mechanism is installed with tractor to estimate efficiency work. At 2.09 km/h tractor speed and 0.5 m/s a linear velocity in the counter-clockwise direction of pruning roller showed that the capacity, energy consumption and seed bud damage were 0.86 rai/h, 37.33 amp and 1.38%, respectively. The slider-crack mechanism is used to develop leaf pruning roller machine in next project.

บทนำ

ปัญหาการเผาอ้อยปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น ในฤดูการเก็บเกี่ยว 2553/54 มีปริมาณอ้อยเผาใบถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศมากกว่า 4 ล้านตัน หรือประมาณ 61% (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2554) ซึ่งอ้อยที่ถูกเผาใบเหล่านี้จะเสียน้ำหนัก ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ สภาพดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ มีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายการในการปลูกดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่เป็นที่ต้องการของโรงงานน้ำตาลเนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อแก้ปัญหาส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง ทางโรงงานน้ำตาลจึงตัดราคาสำหรับอ้อยเผาใบลงตันละ 20 บาท (วิชัย และคณะ, 2554)

รัฐบาลและโรงงานน้ำตาลจึงรณรงค์ให้มีการตัดอ้อยสด และประชาสัมพันธ์ถึงข้อดีในการตัดอ้อยสด อย่างไรก็ตามเกษตรกรยังมีแนวโน้มในการตัดอ้อยเผาใบสูงกว่าการตัดอ้อยสด จากผลสำรวจของวิชัย และคณะ (2554) 258 ตัวอย่างพบว่าการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน 88.54 % แบ่งเป็นการตัดอ้อยสด 39.54 % อ้อยเผาใบ 52.09 % และทั้งอ้อยสดกับอ้อยเผาใบ 8.36 % โดยการเก็บเกี่ยวอ้อยสดมีอัตราการทำงาน 1.41-3.35 ตัน/วัน/คน อ้อยเผาไฟมีอัตราการทำงาน 3.63-6.00 ตัน/วัน/คน ซึ่งสูงกว่าอ้อยตัดสดเป็นเท่าตัว สาเหตุเกิดจากความยากลำบากในการตัด ทำให้แรงงานที่ตัดอ้อยสดมีจำนวนน้อยลง และค่าจ้างแรงงานสูง

การทบทวนวรรณกรรม

ดังนั้นเมื่ออ้อยได้อายุเก็บเกี่ยวแล้ว กรมวิชาการเกษตร (2555) จึงแนะนำว่า ไม่ควรเผาใบ แต่ใช้วิธีการตัดสางใบก่อนที่จะตัดอ้อย 2 เดือน ซึ่งจะทำให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด ทำให้ขยายขนาดปล้อง อ้อยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น 15-20% อีกทั้งยังเป็นการช่วยกำจัดไข่และตัวอ่อนของเพลี้ยต่างๆที่เป็นศัตรูอ้อย นอกจากนี้ใบอ้อยที่ตัดสางแล้วจะคลุมดิน ทำให้เก็บความชื้นในดิน และป้องกันวัชพืชเจริญเติบโต

ในปี 2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยขึ้นโดยติดตั้งกับรถไถเดินตามดังรูปที่ 1 ใช้ลูกตีใบ 2 ลูก ติดตั้งสองฝั่งบนและล่าง โดยแกนของลูกตีใบยึดติดกับเพลา เพลาหมุนด้วยรอบคงที่ประมาณ 700 rpm ซึ่งใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามถ่ายทอดกำลังผ่านสายพาน โครงของลูกตีใบยึดเส้นลวดเพื่อใช้สำหรับตีใบอ้อย โดยลูกตีใบจะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

รูปที่ 1 เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถไถเดินตาม

เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งรถไถเดินตาม สามารถทำงานได้ 16 เมตรต่อนาที และในพื้นที่ 1 ไร่ ใช้เวลาในการสางใบ 70 นาที ต่อมาในปี 2550 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กดังรูปที่2 โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้มีดสางใบ และมีดตัดอ้อย พบว่าพื้นที่ 1 ไร่ เครื่องสางใบอ้อยใช้เวลา 1 ชั่วโมง 19 นาที ในขณะที่มีดสางใบที่ใช้แรงงานคนใช้เวลา 6 ชั่วโมง 12 นาที และมีดตัดอ้อยใช้เวลา 9 ชั่วโมง 19 นาที หลังสางใบอ้อยตรวจความเสียหายของอ้อยจากการสางใบ พบว่าอ้อยที่ใช้เครื่องสางใบติดตั้งรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมีลำอ้อยหักล้ม 18.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอ้อยที่ใช้มีดสางใบมีการหักล้ม 12.7 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำลำอ้อยที่มีการสางใบไปทดสอบความงอก พบว่า การสางใบอ้อยไม่ทำให้ตาอ้อยเสียหาย แต่อ้อยที่มีการสางใบก่อนการเก็บเกี่ยวกลับมีความงอกดีกว่าอ้อยที่ไม่มีการสางใบ คือ อ้อยที่มีการสางใบอ้อยด้วยเครื่องสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 72 เปอร์เซ็นต์ อ้อยที่มีการสางใบด้วยมีดสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 68 เปอร์เซ็นต์ และอ้อยที่ไม่มีการสางใบมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 42 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 2 เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยทั้งในภาคเอกชนสำหรับเกษตรกรที่ใช้แรงงานคนในการตัดอ้อยแบบไม่เผาใบ โดยเพิ่มลูกตีใบเป็น 4 ลูก เพื่อให้การตีใบอ้อยสะอาดขึ้น และเปลี่ยนจากเส้นลวดที่ใช้ตีใบอ้อยเป็นเอ็นตัดหญ้าแทน เพื่อลดความเสียหายจากการแตกหักของลำอ้อย ดังรูปที่ 3 อัตราการทำงาน 1.4 ไร่ต่อชั่วโมง รอบการหมุนของลูกตีใบประมาณ 800-900 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 กิโลเมตร/ชั่วโมง (low 2) (อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)

รูปที่ 3 เครื่องสางใบอ้อยที่พัฒนาโดยเอกชน

.

เครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไปนี้ปกติจะใช้สางใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน เพราะการตัดอ้อยเข้าโรงงานจะไม่สนใจเรื่องการแตกหักของลำ หรือการเสียหายของตาอ้อย แต่ต้องการความสะอาดเพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สางใบอ้อยสำหรับอ้อยทำพันธุ์ได้ เพราะตาอ้อยสูญเสียประมาณ 60-70% (อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนากลไกการปลิดและเก็บใบอ้อยที่เหมาะสม

ของเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างกลไก สำหรับจัดการใบอ้อยแห้งก่อนเก็บเกี่ยว

สมมติฐาน

คิดจากพื้นฐาน การออกแบบให้สร้างได้ง่าย ใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศ และบำรุงรักษาได้ง่าย รวมทั้งนำไปติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กได้ เพื่อใช้งานในไร่อ้อย

ระเบียบวิธีการวิจัย

1.ประเด็นวิจัย งานวิจัยในกิจกรรมที่ 1 นี้มุ่งเน้นที่จะรวบรวม ข้อมูลพื้นฐานของต้นอ้อยที่จะเก็บเกี่ยว อาทิ ความสูง ปริมาณใบอ้อยแห้งต่อพื้นที่ แรงที่ใช้ดึงใบอ้อยให้หลุดออกจากลำต้น ระยะแถวของต้น

2.สถานที่ทำการวิจัย แยกเป็น 2 ส่วนคือ สถานที่ออกแบบสร้างและทดสอบจะใช้ห้องปฏิบัติการและโรงปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรุงเทพฯ และแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรสำหรับใช้ทดสอบภาคสนาม ในจังหวัดสุพรรณบุรี และกาญจนบุรี

3.ระยะเวลาการดำเนินงาน เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2556 สิ้นสุด กันยายน 2557

4.วิธีดำเนินการ

4.1 หาข้อมูลพื้นฐานของต้นอ้อยพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก และเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาออกแบบกลไกการปลิดและเก็บ

4.2 ออกแบบ สร้าง และทดสอบกลไก แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ โดยกำหนดเกณฑ์จากตัวแปรต่างๆ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

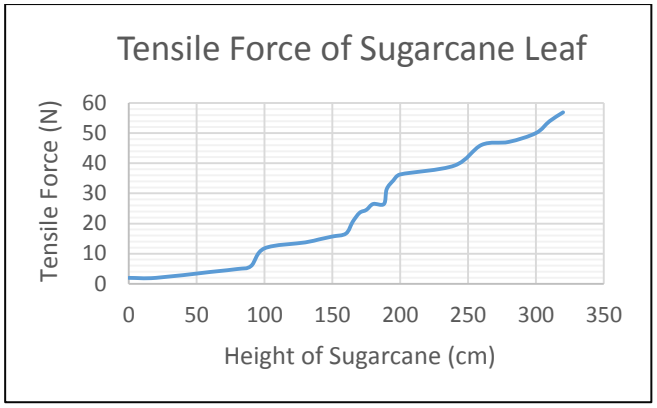
4.3 สรุปผลการวิจัย จัดทำรายงาน และเผยแพร่แก่ผู้สนใจ

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

จากการเก็บข้อมูลปริมาณใบอ้อยที่ได้จากการสางใบ และแรงดึงใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ปลูกใหม่ อายุ 10 เดือน ที่อำเภอตากฟ้า จ.นครสวรรค์ พบว่า มีความสูงเฉลี่ย 2.86 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำเฉลี่ย 3.1 เซนติเมตร เส้นรอบวงลำเฉลี่ย 9.8 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 1.5 มตร ปริมาณใบอ้อยจากการสางใบเฉลี่ย 1,335.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณใบอ้อย สรุปได้ 3 ปัจจัยคือ

1. ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมในการปลูก หมายถึง ชุดดิน การให้น้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพภูมิอากาศ
2. ปัจจัยจากเกษตรกรผู้ปลูกซึ่งก็คือวิธีการปลูก การวางท่อนพันธุ์อ้อย ระยะห่างระหว่างแถวปลูก ในกรณีใช้เครื่องปลูกจะรวมถึงความเร็วของแทรกเตอร์ที่ใช้ต่อพ่วงกับเครื่องปลูก เนื่องจากจะมีผลต่อความถี่ในการวางท่อนพันธุ์อ้อย
3. ปัจจัยจากพันธุ์อ้อย ได้แก่การแตกกอของอ้อย อ้อยปลูกใหม่ หรืออ้อยตอ

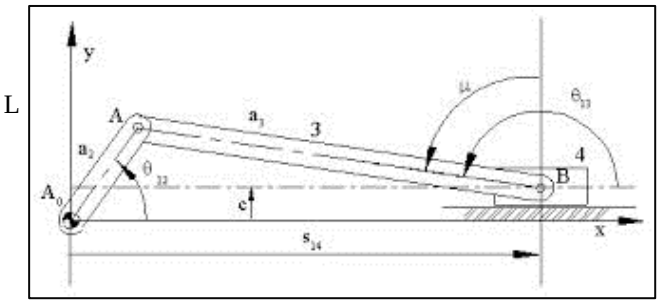


รูปที่ 4 กราฟที่ได้จากการวัดแรงดึงอ้อย

จากการวัดแรงดึงใบโดยใช้เครื่องชั่งสปริงดึงทั้งใบและกาบใบออกจะได้ผลดังรูปที่ 4 ทำให้ทราบว่าแรงดึงใบจะเพิ่มขึ้นตามความสูง และบางช่วงของความสูงจะมีการเปลี่ยนแรงดึงอย่างฉับพลัน เนื่องจากใบอ้อยบริเวณนั้นยังอ่อนกว่าใบอ้อยบริเวณช่วงที่ต่ำลงมาซึ่งแห้งกว่า สังเกตจากความชันของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไป เช่นในช่วงความสูงตั้งแต่ 90 – 100 เซนติเมตร, 160 – 200 เซนติเมตร เป็นต้น

การออกแบบกลไก

การออกแบบจะออกแบบให้ลูกตีสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งได้โดยให้มีระยะในการตีที่สูง และใช้ลูกตีเพียงลูกเดียว กลไกที่จะนำมาใช้คือ กลไกเลื่อนข้อเหวี่ยง (Slider - Crank Mechanism) ซึ่งเป็นกลไกที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 5



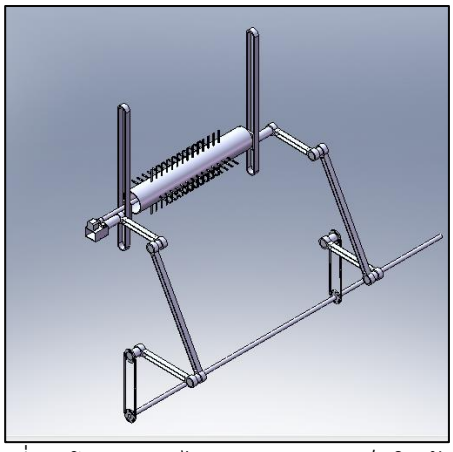
ดังรูปที่ 5 โครงสร้างกลไก แบบ Slider - Crank

สมการที่ 1 ใช้คำนวณระยะการเคลื่อนที่ของกลไกแบบ Slider – Crank

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

จากความกว้างของรถแทรกเตอร์มีค่า 108 cm และจุด c.g. (center of gravity) ของแทรกเตอร์ประกอบด้วย ระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง(ตามกว้าง) = 7.551 cm , ระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง

(ตามยาว) = 10.224 cm และระยะสูงจากพื้น = 9.125 cm โดยกำหนดระยะ R = 54 cm , L = 96 cm โดยมีจุดหมุนจากพื้นดินสูงขึ้นไป 216 cm จะได้ระยะเคลื่อนที่ X = 140 cm โดยกำหนด θ มีค่าสูงสุด 180° และติดตั้งเอ็นตีใบยาว 50 cmดังนั้นจะสามารถตีใบอ้อยสูงจากพื้นดินขึ้นไป 240 cm จากนั้นเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โมเดล กลไกการปลิดและเก็บใบอ้อย

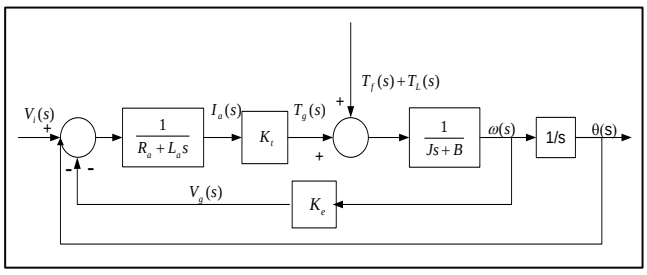
เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 2.5 x 5 cm หนา 3.2 mm ในการทำแขน โดยแขนท่อน 1 ยาว 54 cm แขนท่อน 2 ยาว 96 cm และเพิ่มแขนท่อนที่ 3 ยาว 38.6 cm เพื่อกระจายแรงลัพธ์ และลดแรงเฉือนที่สลักทำให้ใช้สลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm ได้ โดยสลักระหว่างแขนท่อน 1 และ 2 เป็น Revolute joint ส่วนสลักระหว่างแขน 2 และ 3 เป็นสลักตายตัวเชื่อมติด แขน 3 ทำมุม 135° กับแขน 2 เมื่อประกอบเป็นโครงจะได้ต้นแบบดังรูปที่ 7 โครงใช้เหล็กกล่องขนาด 5 x 5 cm ส่วนระบบถ่ายทอดกำลังจะถ่ายทอดกำลังผ่านเพลาอำนวยกำลัง (PTO) ต่อผ่านชุดห้องเกียร์ทด 1:60 ไปขับเพลาลอย ซึ่งเพลาลอยจะติดตั้งเฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 20 ฟันเป็นเฟืองขับ และถ่ายทอดไปขับเพลาที่ติดตั้งสูงขึ้นไป 216 cm โดยติดตั้งเฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 80 ฟันเป็นเฟืองตาม เพลาจะเป็นจุดหมุนไปขับแขนท่อนที่ 1 ซึ่งทั้งหมดใช้โซ่เบอร์ 50 เป็นตัวถ่ายทอดกำลัง

รูปที่ *7* การประกอบกลไกกับรถแทรกเตอร์

การเลือกจุดหมุนที่ระยะความสูง 216 cm เพื่อให้เข้ากับน้ำหนักของโครง และจุด c.g. ซึ่งจุดนี้จะทำให้จุด c.g. ทั้งระบบเลื่อนมาเป็น ระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง(ตามกว้าง) = 8.231 cm , ระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง(ตามยาว) = 12.113 cm และระยะสูงจากพื้น = 10.541 cm โดยที่แนวน้ำหนักของวัตถุยังคงอยู่ในฐาน ทำให้แทรกเตอร์ไม่ล้ม และไม่ต้องถ่วงน้ำหนัก

การออกแบบระบบควบคุม

ในส่วนการหมุนของลูกตีใบ จากการทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบว่าถ้ารอบการหมุนของลูกตีใบเร็วขึ้นจะตีใบออกได้มากขึ้นแต่ก็จะสร้างความเสียหายให้กับลำต้น และตาอ้อยได้มากขึ้นเช่นกัน จึงต้องมีการควบคุมการหมุนของลูกตีใบให้เหมาะสม ต้นกำลังที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24V 900 W ซึ่งง่ายต่อการควบคุม และตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมได้ไว ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ *9* บล๊อคไดอะแกรมมอเตอร์กระแสตรง

DC motor มี transfer function ดังสมการที่ 2

$$\omega(s) = G_v(s)V_i(s) = \frac{K_m}{\tau s+1}V_i(s) \qquad (2)$$

โดย

$\omega(s)$ คือ ความเร็วเชิงมุม output (rad s^{-1})

$V_i(s)$ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า input (V)

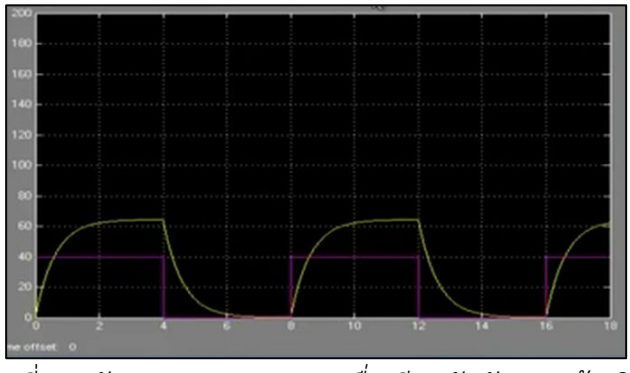
K_m คือ ค่าคงที่มอเตอร์

τs คือ ค่า time constant

เมื่อหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธี system identification จะได้ transfer function ของ dc motor ที่ใช้ในการทดสอบดังสมการที่ 3

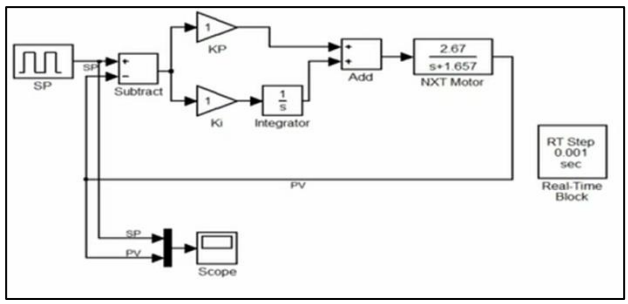
$$\omega(s) = \frac{2.67}{s+1.657} V_i(s) \qquad (3)$$

ในการเปลี่ยนรอบการหมุนมอเตอร์จะใช้สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) มาควบคุมดีซีมอเตอร์ โดยสั่งการทำงานแบบ Duty cycle ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Full cycleจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสัญญาณ on – off (สุวัฒน์, 2550) ทำการจำลองโดยสร้างสัญญาณ PWM ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ DC motor เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม Matlab มีผลตอบสนองดังภาพที่ 10

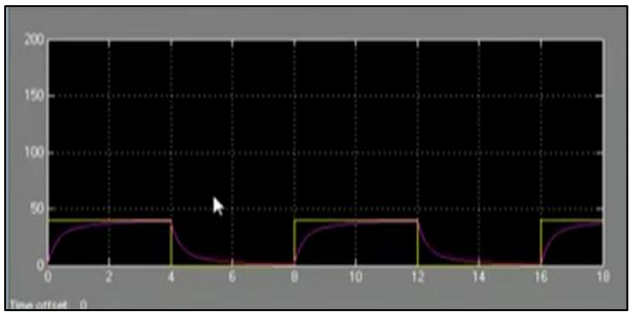


รูปที่ 10 *สัญญาณการตอบสนองเมื่อเทียบกับสัญญาณอ้างอิง*

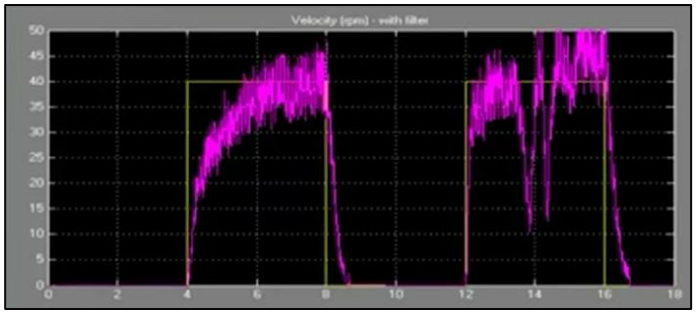
เพิ่มวิธีการควบคุมแบบ PI (Proportional Integral) เพื่อทำให้สัญญาณ out put ลู่เข้าสู่สัญญาณอ้างอิงมากที่สุด จะได้ผลตอบสนองสัญญาณควบคุมดังภาพที่ 12 โดยมี Block diagram สำหรับ PI controller กับแบบจำลอง DC motor ดังภาพที่ 11



รูปที่ 11 Block Diagram for PI controller with DC motor model



รูปที่ 12 Steady – State response for the testing DC motor model with PI controller.



รูปที่ 13 สัญญาณความเร็วรอบ out put กับสัญญาณอ้างอิง PWM in put

จากการจำลองการควบคุมมีขนาดใกล้เคียงกัน ในการควบคุมถือว่าใช้งานได้ สัญญาณ PWM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความถี่ 1 KHz และมี Pulse Period เป็น 1 ms ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ความเร็วรอบ out put ราบเรียบ เมื่อทดสอบกับมอเตอร์จริงจะได้ดังรูปที่ 13 โดยมี settling time (T_s) 0.533 ms, peak time (T_p) 0.475 ms, rise time 0.225 ms, %overshoot 2.838% และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว 0.9 ส่วนการเปลี่ยนรอบการหมุนจะใช้ proximity sensor เป็นตัวบอกตำแหน่งโดยส่งเป็นสัญญาณ feedback กลับไปที่ Controller เพื่อให้ Controller ส่งสัญญาณควบคุม PWM ออกมา

รูปที่ 14 การติดตั้ง *Proximity sensor* กำหนดระยะเลื่อนขึ้นลงของลูกปลิด

วางแผนการทดลองแบบ full factorial โดยทดสอบที่ 3 ปัจจัยคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ low1 (1.39 km hr^{-1}) และ low2 (2.09 km hr^{-1}) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 3 ระดับคือ 0.3 m s^{-1}, 0.4 m s^{-1} และ 0.5 m s^{-1} และทิศทางการหมุนของ

ลูกตีใบ 2 ระดับคือ หมุนตามเข็มนาฬิกา และหมุนทวนเข็มนาฬิกา แทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 22 แรงม้าจากนั้นบันทึกอัตราการทำงาน ความเสียหายของตาอ้อย ความเสียหายของลำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และจัดทำรายงาน โดยค่าที่เลือกใช้ในการทดสอบความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 3 ระดับคือ 0.3 m s^{-1}, 0.4 m s^{-1} และ 0.5 m s^{-1} สามารถใช้กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ low1 (1.39 km hr^{-1}) และ low2 (2.09 km hr^{-1}) ที่รอบการหมุนของลูกตีใบเท่ากัน (มากกว่าหรือเท่ากับ 680 rpm)ซึ่งทุก treatment อ้อยมีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานเข้าตัดได้สะดวก ส่วนความสะอาดจากการสางใบความหมาย คือโคนอ้อยต้องสะอาดใบแห้งควรหลุดออกจากลำทั้งหมดยกเว้นใบเขียวที่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ในกรณีที่ต้องการสางใบเมื่ออ้อยยังไม่ถึงช่วงเวลาเก็บเกี่ยว แต่ถ้าสางใบก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 1-2 เดือน จะสางใบออกทั้งหมดเพราะโรงงานน้ำตาลไม่ต้องการอ้อยยอดยาว

ผลการทดสอบกลไกในภาคสนาม

ในการทดสอบจะแบ่งพื้นที่ 5 x 3 ตารางเมตรในแต่ละ treatment และทำการทดสอบ โดยทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 15 ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยตอ 2 ก่อนการทดสอบจะวัดความสูงของต้นอ้อยและติดตั้ง proximity sensors เพื่อเป็นตัวบอกตำแหน่งในการเปลี่ยนรอบลูกตีใบ จากการวัดความสูงอ้อยทั้งหมด 6 ซ้ำ อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 m ตำแหน่งแรกที่ติดตั้งวัดจากพื้นดินสูงขึ้นมา 50 cm ตำแหน่งที่ 2 90 cm และตำแหน่งที่ 3 180 cm ตามลำดับโดยอ้างอิงจากกราฟแรงดึงใบในรูปที่ 3 จากนั้นทดลองปรับรอบการหมุนของลูกตีใบให้เหมาะสมในแต่ละช่วงความสูงพบว่า ช่วงความสูง 0-90 cm ใช้ 680 rpm, 90-180 cm ใช้ 700 rpm และความสูงตั้งแต่ 180 cm ขึ้นไปให้หยุดหมุนเพราะเป็นใบเขียว ซึ่งรอบการหมุนที่ทดลองปรับนี้จะสร้างความเสียหายกับตาอ้อย และลำต้นอ้อยน้อยที่สุดประมาณ 1.3 – 1.6% อ้อยมีความสะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานเข้าตัด แสงแดดส่องผ่าน และอากาศระบายได้ดี

รูปที่ 15 การวัดความสูงของต้นอ้อย

การทดลองมีทั้งหมด 12 treatment แต่ละ treatment ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 ถึง 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 Results of testing for the primary Sugarcane Leaf Removal Machine with Khon Kaen 3 Sugarcane variety.

Forward speed (km hr^{-1})	Linear Velocity (m s^{-1})	Direction of Removal sugarcane leaf Roller	Stalk's damage (%)	Seed bud's damage (%)
1.39(low1)	0.3	clockwise	3.17	2.43
1.39(low1)	0.3	Counter clockwise	3.02	2.07
1.39(low1)	0.4	clockwise	2.14	2.13
1.39(low1)	0.4	Counter clockwise	2.07	1.95

1.39(low1)	0.5	clockwise	1.93	1.86
1.39(low1)	0.5	Counter clockwise	1.57	1.78
2.09(low2)	0.3	clockwise	2.63	2.13
2.09(low2)	0.3	Counter clockwise	2.24	1.98
2.09(low2)	0.4	clockwise	2.03	1.82
2.09(low2)	0.4	Counter clockwise	1.85	1.77
2.09(low2)	0.5	clockwise	1.93	1.67
2.09(low2)	0.5	Counter clockwise	1.45	1.38

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km hr^{-1} (low2) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.5 m s^{-1} ทิศทางการหมุนของลูกตีใบทวนเข็มนาฬิกา ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45% และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38% แต่ที่ความเร็วแทรกเตอร์ 1.39 km hr^{-1} (low1) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.3 m s^{-1} และทิศทางการหมุนของลูกตีใบตามเข็มนาฬิกา อ้อยจะสะอาดมากที่สุด ซึ่งในการตีอ้อยทำพันธุ์นั้นถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่ ใบอ้อยแห้งหลุดออก และโคนอ้อยสะอาดถือว่าสามารถใช้ทำพันธุ์ได้

การทดสอบกลไกการปลิดและเก็บใบอ้อย เมื่อนำไปติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก และนำไปทดสอบในแปลงเกษตรกร ดังรูปที่ 16 และเมื่อคุณภาพของผลการปลิดใบ พบว่าตาต้นอ้อยไม่เสียหาย สามารถนำไปทำเป็นต้นพันธุ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 18

รูปที่ 16 การติดตั้งกับรถแทรกเตอร์

รูปที่ 17 การทดสอบในแปลงปลูกอ้อย

รูปที่ 18 ผลการปลิดใบ ตาอ้อยไม่เสียหายแสดงในภาพด้านซ้าย

ตารางที่ 2 Results of testing performance, forward speed and Fuel's Consumption.

Forward speed (km hr^{-1})	Performance (rai hr^{-1})	Fuel's Consumption (L rai^{-1})
1.39(low1)	0.58	5.02
2.09(low2)	0.86	3.91

จากตารางที่ 2 พบว่าความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km hr^{-1} (low2) มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 3.91 ลิตรต่อไร่ เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 1 จะสนับสนุนข้อมูลการใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km hr^{-1} (low2) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.5 m s^{-1} และทิศทางการหมุนของลูกตีใบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งทำให้ลำต้นอ้อย และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 Results of testing duty cycle, Removal sugarcane leaf Roller speed and Electric's Power.

Height's range of sugarcane (cm)	Duty cycle (%)	Removal sugarcane leaf Roller speed (rpm)	Electric's Power (A hr^{-1})
0 - 50	80.56	680	38.6
50 - 90	75.56	680	35.6
90 – 180	77.78	700	38.8
Above 180	0	0	0

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงรอบการหมุนของลูกตีใบ กับ duty cycle ซึ่งจะส่งผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดยตำแหน่งที่ 50 cm จะเป็นจุดแรกที่ตัวควบคุมสั่งสัญญาณ PWM เป็น duty เพื่อเปลี่ยนรอบเป็น 680 rpm บริเวณนี้เป็นบริเวณโคนต้น และมีปริมาณใบอ้อยมาก (โหลดมาก) ทำให้ตัวควบคุมต้องสั่ง duty ออกไป 80.56% เพื่อให้ได้รอบที่ต้องการแม้จะมีแรงดึงใบน้อยที่สุด ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าช่วงอื่นๆคือ 38.6 A hr^{-1} ส่วนช่วงความสูงตั้งแต่ 50-180 cm ปริมาณใบจะน้อยกว่าโคนต้น แต่มีแรงดึงใบสูงกว่า duty cycle ที่สั่งจากตัวควบคุมออกมาจะเพิ่มขึ้นตามความสูงเพื่อให้ได้รอบลูกตีตามที่กำหนด ส่วนความสูงตั้งแต่ 180 cm ขึ้นไปเป็นใบเขียว ซึ่งอ้อยมีอายุ 6 เดือนยังไม่ใช่ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว จึงไม่ต้องการตีใบออก ดังนั้นตัวควบคุมจะไม่ส่งสัญญาณควบคุมออกมา พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.67 A hr^{-1} ซึ่งอยู่ใน rate current ของมอเตอร์ที่ 40A และไม่มีปัญหาสำหรับไดชาร์จของรถแทรกเตอร์ที่ชาร์จไฟได้ 70 แอมป์ การสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้าโรงงานนั้นจะไม่สนใจเรื่องความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อยต้องการเพียงความสะอาดสำหรับแรงงานคนเข้าตัด ดังนั้นในการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับกรณีตัดอ้อยเข้าโรงงานนั้นจะเลือกใช้การหมุนของลูกตีใบ 700 rpm หมุนตามเข็มนาฬิกา ความเร็วรถแทรกเตอร์ low2 (2.09 km hr^{-1}) และความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.5 m s^{-1} เพื่อความรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย โดยทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยตอ 2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แบ่งพื้นที่การทดอง 5x3 ตารางเมตร อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 m พบว่าเมื่อใช้รอบลูกตี 700 rpm จะใช้ duty cycle เฉลี่ย 79.53% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 38.12 A hr^{-1} ประสิทธิภาพการทำงาน 0.92 ไร่ต่อชั่วโมงตา ตาอ้อยสูญเสีย 7.35% อัตราการแตกหักของลำอ้อย 4.03% อัตราการใช้เชื้อเพลิง 4.04 ลิตรต่อไร่ โคนต้น และลำต้นอ้อยสะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานคนเข้าตัด

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบกลไกที่ออกแบบ และพัฒนาสำหรับใช้ปลิดและเก็บใบอ้อย เมื่อนำไปทดสอบกับบ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยตอ 2 อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 m มีอัตราการทำงานดังนี้

1. กรณีสางใบอ้อยเพื่อทำพันธุ์ เมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km hr^{-1} (low2) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.5 m s^{-1} ทิศทางการหมุนของลูกตีใบทวนเข็มนาฬิกา ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45% และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38% มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง โดยที่ช่วงความสูง 0-50 cm ใช้ duty cycle 80.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 rpm, 50-90 cm ใช้ duty cycle 75.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 rpm, 90-180 cm ใช้ duty cycle 77.78% รอบการหมุนของลูกตีใบ 700 rpm และมากกว่า 180 cmขึ้นไปใช้ duty cycle 0% ทำให้ไม่มีการหมุนของลูกตีใบ เนื่องจากเป็นใบเขียวรอการเจริญเติบโตต่อไป พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.67 A hr^{-1} และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 3.91 ลิตรต่อไร่ อ้อยมีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานเข้าตัดทำพันธุ์ หรือถ้ายังไม่ตัด แสงแดด และอากาศจะระบายได้ดีทำให้ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น

2. กรณีสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้าโรงงาน เนื่องจากไม่สนใจความเสียหายของตา และลำอ้อย ดังนั้นใช้การหมุนของลูกตีใบ 700 rpm หมุนตามเข็มนาฬิกา ความเร็วรถแทรกเตอร์ low2 (2.09 km hr^{-1}) และความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของลูกตีใบ 0.5 m s^{-1} ใช้ duty cycle เฉลี่ย 79.53% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 38.12 A hr^{-1} ประสิทธิภาพการทำงาน 0.92 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 4.04 ลิตรต่อไร่ อ้อยอายุ 6 เดือนยังไม่สามารถเก็บเกี่ยวเข้าโรงงานได้ แต่ความสะอาดจากการสางก็เพียงพอสำหรับแสงแดดส่องผ่าน อากาศระบายได้ดีทำให้ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังง่ายต่อเกษตรกรในการเข้าจัดการ และดูแลแปลง

กิจกรรมที่ 2

วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยแบบกึ่งอัตโนมัติ

Research and Development of Sugarcane-leaf Harvester

วิชัย โอภานุกุล, ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์, อานนท์ สายคำฟู, วีระ สุขประเสริฐ, บาลทิตย์ ทองแดง

คำสำคัญ: อ้อย, ใบอ้อย, เครื่องจักรกลอ้อย

บทคัดย่อ

การเผาใบอ้อยนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของไทย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) พบว่าแต่มีอ้อยไฟไหม้ถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาลเพิ่มขึ้นทุกปี ในฤดูการผลิตปี 57/58 มีจำนวน 69.05 ล้านตัน หรือคิดเป็น 65.38 % จากผลผลิตอ้อยทั้งประเทศ 105.96 ล้านตัน ด้วยเหตุดังกล่าว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จึงดำเนินการวิจัย ต้นแบบเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อใช้แก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว การใช้งานนำมาพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก วิ่งเข้าไปในร่องอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว เหมาะกับอ้อยที่มีระยะแถว 120 เซนติเมตรขึ้นไป มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ (1) โครงเครื่อง (2) ระบบส่งกำลังด้วยสายพาน (3) ลูกปลิดใบอ้อย (4) เกลียวส่งใบอ้อย (5) ห้องม้วนใบ ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 1 ไร่/ชั่วโมง ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1 ลิตร/ไร่ เครื่องมีมิติโดยรวม (กว้างxยาวxสูง) 80x150x150 เซนติเมตร น้ำหนัก 130 กิโลกรัม ราคาประมาณ 35,000 บาท

Abstracts

The sugarcane fire is the important problem in Thailand. Office of the Cane and Sugar Board (OCSB) reported that the sugarcane fire was increased every year. Annual report 2014/15, Sugarcane fire was approximately 69.05 million tons or 65.38 % of the total crop. The problem of sugarcane fire leads to invent the sugarcane-leaf harvester by Agricultural engineering research institute. Its components are transmission pulley, cutter, conveyor screw and roller chamber. The sugarcane-leaf harvester was hitched with small tractor and required the distance of each sugarcane row more than 120 cm to harvest sugarcane leaf. The results of test indicated that harvest capacity and fuel consumption of machine were 1 rai/h and 1 l/rai, respectively. Furthermore, the dimensions, weight and cost of machine were 80(W)x150(L)x150(H) cm, 130kg and 35,000 baht, respectively.

บทนำ

อ้อยเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจหลักของไทย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) รายงานผลการสำรวจประจำปี 2553/54 โดยใช้ดาวเทียมประกอบการเก็บรายละเอียดภาคพื้นดิน มีพื้นที่ปลูก 47 จังหวัด จำนวน 8.46 ล้านไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกส่งโรงงานน้ำตาลในประเทศ 47 แห่ง รวม 8.12 ล้านไร่ และพื้นที่ปลูกทำพันธุ์จำนวน 336,286 ไร่ อ้อยเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ 3 ประการ คือ ข้อที่ 1 มีการบริโภคน้ำตาลในประเทศปีละประมาณ 1.6-1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 17,000-19,000 ล้านบาท ข้อที่ 2 ส่งออกน้ำตาลจำหน่ายในตลาดโลกปีละกว่า 3 ล้านตัน นำรายได้เข้าประเทศ 20,000-30,000 ล้านบาทต่อปี ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก รองจาก บราซิล สหภาพ ยุโรป แต่บางปีจะเป็นอันดับ 4 รองจากออสเตรเลียมีสัดส่วนตลาดร้อยละ 9.5 ของโลก มีตลาดสำคัญ คือ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ข้อที่ 3 เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยจะมีรายได้จากการจำหน่าย ประมาณ 30,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 4 ของรายได้ภาคเกษตรทั้งหมด กิจกรรมการผลิตอ้อยเริ่มตั้งแต่ การเตรียมดิน การปลูก ดูแลรักษาให้น้ำให้ปุ๋ย และการเก็บเกี่ยว หรือการตัดอ้อย สถานการณ์การเก็บเกี่ยวในปัจจุบัน สอน. รายงานว่าการเผาอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในฤดูการเก็บเกี่ยว 2553/54 มีปริมาณอ้อยถูกไฟไหม้ส่งเข้าโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศมากกว่า 4 ล้านตัน หรือประมาณ 61 % ซึ่งอ้อยที่ถูกไฟไหม้เหล่านี้ จะเสียน้ำหนัก กระทบสภาพแวดล้อม สภาพดินสูญเสียความสมบูรณ์ ต้องเสียค่าใช้จ่ายการปลูกและดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น มีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และทำให้เกษตรกรผู้ปลูกรายได้ลดลง ไม่เป็นที่ต้องการของโรงงานน้ำตาลเนื่องจากจะทำให้ขบวนการทำน้ำตาลทำได้ยากขึ้น เกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในขบวนการผลิตและต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อแก้ปัญหาเพิ่มขึ้นส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง รวมทั้งทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

การทบทวนวรรณกรรม

สุรพล และคณะ (2536) รายงานว่าการเผาใบอ้อยทำให้มีผลกระทบตามมา คือ ต้องใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชมากขึ้น เนื่องจากไม่มีใบอ้อยคลุมดินและเกิดการตกค้างของสารเคมีกำจัดวัชพืชสูงขึ้น และทำให้ สูญเสียน้ำหนักมากกว่าอ้อยตัดสด และทำให้ปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นการเผาใบอ้อยทำให้อ้อยตอตายมากกว่าอ้อยตัดสด และอ้อยตอที่รอดจะมีลำแคระแกร็นใบเหลือง ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการให้น้ำอ้อยตอเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีใบอ้อยคลุมดินช่วยรักษาความชื้น การเผาใบอ้อยทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกลุ่มหมอกควัน ก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ทำให้เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของคนและสัตว์ ดังตัวอย่างในประเทศออสเตรเลียที่มีการเผาใบอ้อยมาเป็นระยะเวลา 80 ปี ประชากรภายในประเทศเป็นมะเร็งโรคผิวหนังมากกว่าชาติอื่น ๆ ซึ่งภายหลังได้ตรวจสอบพบชั้นบรรยากาศเกิดเป็นช่องขนาดใหญ่ ทำให้แสงคอสมิกส่องลงมาได้ง่าย (สอน.) 2553

การเผาอ้อยทำเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง จากรายงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551) พบเหตุขัดข้องในระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการเผาอ้อยนั้นก่อให้เกิดควันไฟ ซึ่งมีไอน้ำระเหยขึ้นไปพร้อมกันกระแสไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำส่งให้เกิดการขัดข้องในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ทำให้เกิดไฟฟ้าตกไฟฟ้าดับ ก่อให้เกิดความเสียหายกับภาคเศรษฐกิจ จากสถิติพบว่าในภาคเหนือ เกิดเหตุขัดข้องในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเนื่องจากการเผาอ้อยมากที่สุดในพื้นที่ จังหวัดนครสวรรค์ พิษณุโลก กำแพงเพชร และอุตรดิตถ์ ช่วงปี 2549-2550 มีเหตุขัดข้อง 37 ครั้ง และเฉพาะในจังหวัดนครสวรรค์เกิดเหตุถึง 21 ครั้ง

จากสภาวะโลกร้อน ทำให้ประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้กำหนดนโยบายและมาตรการในลักษณะต่างๆ เพื่อป้องกันมิให้มีการทำลายสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดมาตรการกีดกันการค้าน้ำตาลในตลาดโลก และหลายประเทศได้รณรงค์ลดการเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว เช่น ในภาคกลางตอนใต้ของบราซิลจะเลิกการเผาอ้อยภายในปี 2574 ในขณะที่รัฐนิวเซาท์เวลส์ของออสเตรเลีย จะเลิกการเผาอ้อยในฤดูการผลิตปี 2551/2552 นอกจากนี้ สหภาพยุโรปเรียกร้องให้มีการนำเข้าน้ำตาลที่ผลิตจากอ้อยสดภายในปี 2553 ซึ่งมาตรการห้ามการเผาอ้อยมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นมาตรการกีดกันทางการค้าน้ำตาลในอนาคต (สอน.) 2553

จากปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาจะเห็นว่าการเผาอ้อย ดังแสดงในรูปที่ 1 ก่อนเก็บเกี่ยวส่งผลกระทบต่อสังคมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการเก็บผลผลิตจำหน่ายขึ้นอยู่กับฤดูกาลหีบอ้อยที่โรงงานน้ำตาลกำหนด จะมีการหีบอ้อยในช่วงสั้นๆ ประมาณ 2-3 เดือนเท่านั้น ทำให้การเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่หลายล้านไร่ ในช่วงเวลาไม่กี่เดือนจึงต้องใช้แรงงานมหาศาล ทำให้ประสบปัญหาขาดแคลนแรงงาน และมีต้นทุนการเก็บเกี่ยวสูงขึ้นทุกปี จึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาทั้งในส่วนของภาครัฐและภาคเอกชนโดยนำเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยมือสองจากต่างประเทศเข้ามาใช้ทดแทน รวมถึงมีการวิจัยพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยภายในประเทศมาประมาณ 10 ปีแล้ว (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

ดังนั้น วิชัย และคณะ (2555) จึงได้ศึกษาสภาพการเก็บเกี่ยวอ้อยของไทย ในฤดูการเก็บเกี่ยว 2553/54 จำนวน 258 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นภาคกลาง 101 ตัวอย่าง ภาคเหนือ 80 ตัวอย่าง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 77 ตัวอย่าง พบว่าสภาพทั่วไปของการปลูกอ้อย เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกขนาด 1-30 ไร่จำนวน 40.32 % ขนาด 31-70ไร่ 28.46 % ขนาด 71-100 ไร่ 18.97 % และมากกว่า 100 ไร่ 12.25 % เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ แรงงานคนเก็บเกี่ยว 88.54 % ใช้เครื่องเก็บเกี่ยว 5.14 % การเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน เป็นการตัดอ้อยเผาไฟมากกว่าคิดเป็น 52.09 % แสดงในรูปที่ 2 และตัดอ้อยสด 39.54 % ดังแสดงในรูปที่ 3 ตัดอ้อยสดผสมกับอ้อยเผาไฟ 8.36 % การเก็บเกี่ยวอ้อยสดมีอัตราการทำงาน 1.41-3.35 ตัน/วัน/คน อ้อยเผาไฟมีอัตราการทำงาน 3.63-6.00 ตัน/วัน/คน ซึ่งสูงกว่าอ้อยสดเป็นเท่าตัว การใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวอ้อยสดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความยากลำบาก และค่าจ้างแรงงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 1 การเผาอ้อย

รูปที่ 2 การเก็บเกี่ยวอ้อยเผาไฟ

รูปที่ 3 การเก็บเกี่ยวอ้อยสด

เมื่อมองในมุมของการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเกษตรกรหรือโรงงานน้ำตาลนิยมใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตัดเป็นท่อน ลักษณะการทำงานจะตัดโคนและยอดก่อนจึงตัดลำอ้อยเป็นท่อน และพ่นลงสู่รถบรรทุกและขนส่งไปโรงงานน้ำตาล เป็นของบริษัทต่างประเทศ 2 ยี่ห้อ คือ AUSTOFT และCAMECO และภายในประเทศของบริษัทไทยรุ่งเรือง แบ่งเป็น 3 ขนาด ตามกำลังเครื่องยนต์ได้แก่ ขนาดเล็กยี่ห้อไทยรุ่งเรือง เครื่องยนต์ 175 แรงม้า ระยะระหว่างแถวอ้อยที่เหมาะสม 1-1.20 เมตร ขนาดกลางยี่ห้อ AUSTOFT เครื่องยนต์ 240 แรงม้า ระยะระหว่างแถวอ้อยที่เหมาะสม 1-1.20 เมตร ขนาดใหญ่ยี่ห้อ AUSTOFT และ CAMECO เครื่องยนต์ 325-350 แรงม้า ระยะระหว่างแถวอ้อยที่เหมาะสมต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจริงในแปลงของเกษตรกรทั้งหมด 19 เครื่อง พบว่าเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย 9 เครื่อง จาก 19 เครื่อง มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ต่ำกว่า 50 % ซึ่งหมายความว่าการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในไทยเกิดความสูญเสียมาก เนื่องจากพื้นที่ปลูกอ้อยไม่เหมาะสม มีขนาดสั้น รูปร่างเว้าแหว่ง ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นมาก ประสิทธิภาพของเครื่อง 30 % หมายถึง เวลาเก็บเกี่ยวจริง 30 % เวลาสูญเสียที่ไม่ได้งาน เช่น

เวลากลับเลี้ยว 70 % เวลาที่สูญเสียที่ไม่ได้งานนี้ เครื่องยนต์ยังทำงานอยู่ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงโดยที่ไม่ได้ผลผลิต เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยโดยทั่วไปจะใช้น้ำมันวันละ 200-300 ลิตร/คัน

สันธาน และคณะ (2555) ได้ศึกษาและพัฒนาแนวทางการจัดรูปที่ดินให้เหมาะสมต่อการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย พบว่าพื้นที่เพาะปลูกอ้อยส่วนใหญ่เป็นแปลงขนาดเล็ก ไม่เหมาะต่อการนำเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยซึ่งมีขนาดใหญ่ ราคาแพงเข้าไปใช้งานและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่เหล่านี้ มีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่เพียง 30-50% เท่านั้น จากการศึกษาพบว่าถ้าจะให้ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่มากกว่า 80 % จะต้องทำการจัดรูปแปลงให้มีขนาดไม่น้อยกว่า 500 ไร่ และมีแถวอ้อยยาวตั้งแต่ 500 เมตรขึ้นไป ซึ่งในปัจจุบันมีเกษตรกรน้อยกว่า 5% ที่ดำเนินการได้ และ ปัญหาของการใช้เครื่องซึ่งเจ้าของเครื่องทราบดี หากสภาพแปลงอ้อยที่ไม่เอื้อให้เครื่องทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ต้นทุนการใช้จึงสูงเกินกว่าที่ควร จากข้อมูลของบริษัทรับจ้างตัดอ้อยในจังหวัดสุโขทัย ซึ่งมี 20 เครื่อง พบว่า การสูญเสียค่าน้ำมันเชื้อเพลิงตามข้อกำหนดของเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยเมื่อเครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยประมาณ 1 ลิตรต่อตันอ้อย แต่จากสภาพแปลงอ้อยที่เป็นอยู่ทำให้ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงถึง 2-2.5 ลิตรต่อตันอ้อย

รูปที่ 4 เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตัดสดเป็นท่อน

ชนินทร์ (2555) ได้ศึกษาอัตราการป้อนและความเร็วของการอัดที่มีต่อสมรรถนะของชุดอัดเม็ดใบอ้อยแบบลูกกลิ้งบดอัดบนแผ่นจาน โดยนำใบอ้อยมาลดขนาดด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิล รูตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร และนำไปผสมกับ แป้งมันสำปะหลัง น้ำ ในอัตราส่วน 1.5: 0.75 : 2.5 โดยน้ำหนัก ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราการป้อน 3 ระดับ (125 150 และ 175 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ความเร็วการอัด 4 ระดับ (140 165 190 และ 215 รอบต่อนาที) ผลการทดสอบพบว่า อัตราการป้อนที่เหมาะสมคือ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความเร็วของการอัด 165 รอบต่อนาที ชุดอัดมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 139.05 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พลังงานจำเพาะ 5.68 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ความหนาแน่นจริงเชื้อเพลิงอัดเม็ด 711.84 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความแข็งแรงเม็ดเชื้อเพลิง 799.00 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มี ความยาวเม็ด และ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 24.7 และ 6.1 มิลลิเมตร ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2,896.25 แคลอรีต่อกรัม

ข้อมูลจากกรมพลังงานทดแทน (2550) จากการสำรวจชีวมวลใบอ้อยในประเทศไทย พบว่า ปริมาณชีวมวลใบอ้อยที่ถูกทิ้งไว้ในไร่อ้อย ประมาณปีละ 16.8 ล้านตัน ปัจจุบันโรงงานน้ำตาลมีความต้องการใบอ้อยเป็นจำนวนมากเพื่อใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงรวมในกระบวนการผลิตน้ำตาลและผลิตกระแสไฟฟ้า ใบอ้อยที่ใช้ต้องผ่านการลดขนาดประมาณ 2- 5 เซนติเมตร หรือ ในรูปผลิตภัณฑ์อัดเม็ดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานไอน้ำ สำหรับใบอ้อยหากนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว การนำใบอ้อยมาลดขนาดและเพิ่มความหนาแน่นโดยการอัดเม็ดเป็นการแปรสภาพวัสดุให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน อีกทั้ง เพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ได้นานขึ้น

อรรถสิทธิ์ และคณะ 2549 รายงานการประชุมวิชาการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งชาติ ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 17-19 สิงหาคม 2549 ณ โรงแรมเบเวอร์ลี่ ฮิลล์ ปาร์ค จังหวัดนครสวรรค์ ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยให้การเก็บเกี่ยวอ้อยสดได้รวมเร็วขึ้นโดยพัฒนา มีดสางใบ สำหรับการสางใบอ้อยก่อนการตัดอ้อย ทำให้เกิดความสะดวกในการตัดอ้อย สามารถทำงานได้ 14-16 ลำต่อนาที หรือ 3-4 เมตรต่อนาที มีดสางใบอ้อยใช้เพื่อประโยชน์ในการสางใบอ้อยก่อนที่แรงงานจะเข้าไปตัดอ้อย ทำให้สามารถตัดอ้อยได้รวดเร็วขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงการทำงานของมีดสางใบอ้อย

และพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยติดรถไถเดินตาม เพื่อช่วยลดปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว แสดงในรูปที่ 6 ความสามารถในการทำงาน 1.1 ชั่วโมงต่อไร่ โดยมีหลักการทำงานมีระบบปลิดใบอ้อยให้ร่วงหล่นมาคลุมดินขณะนี้ได้มีการขยายผลงานวิจัยสู่เกษตรกรชาวไร่อ้อยแล้ว และโรงงานน้ำตาลหลายแห่ง

รูปที่ 6 เครื่องสางใบอ้อย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย เพื่อแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว และลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยแรงงานคน

ของเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องจักรกล สำหรับจัดการใบอ้อยแห้งก่อนเก็บเกี่ยว

สมมติฐาน

คิดจากพื้นฐานในกรณีการผลิตอ้อยทางเศรษฐศาสตร์ หากมีเครื่องจักรกลที่ใช้จัดการอ้อยแห้งก่อนเก็บเกี่ยว จะทำให้ไม่ต้องเผาอ้อย ซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร ประมาณ 200 บาท/ไร่ และในส่วนที่ไม่เป็นตัวเงินนั้นจะคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่ดี และยั่งยืนสำหรับปลูกอ้อยในระยะยาว

ระเบียบวิธีการวิจัย

1.ประเด็นวิจัย งานวิจัยในกิจกรรมที่ 2 นี้มุ่งเน้นที่จะรวบรวม ข้อมูลพื้นฐานของต้นอ้อยที่จะเก็บเกี่ยว อาทิ ความสูง ปริมาณใบอ้อยแห้งต่อพื้นที่ แรงที่ใช้ดึงใบอ้อยให้หลุดออกจากลำต้น ระยะแถวของต้นอ้อย และระบบกลไกที่ได้กิจกรรมที่ 1 อาทิ ขนาดความโตของลูกปลิดใบอ้อยที่เหมาะสม จำนวนเส้นของสายพานที่ใช้ขับเคลื่อนลูกปลิด หน้าตัดของเส้นเอ็นที่ใช้ เพื่อนำมาสร้างเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย

2.สถานที่ทำการวิจัย แยกเป็น 2 ส่วนคือ สถานที่ออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องต้นแบบจะใช้ห้องปฏิบัติการและโรงปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรุงเทพฯ และแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรสำหรับใช้ทดสอบเครื่องภาคสนาม ในจังหวัดสุพรรณบุรี และกาญจนบุรี

3.ระยะเวลาการดำเนินงาน เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2557 สิ้นสุด กันยายน 2558

4.วิธีดำเนินการ

4.1 นำระบบกลไกที่ได้จากกิจกรรมที่ 1 มาติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า และดำเนินการทดสอบในโรงปฏิบัติการ และแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรโดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็ว 1, 2 และ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.2 นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย โดยกำหนดเกณฑ์จากตัวแปรต่างๆ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อให้เครื่องจักรมีความเหมาะสมและคุ้มค่าต่อการใช้งาน ได้แก่ (1) ความสามารถในการทำงาน (2) ความเร็วการเคลื่อนที่ในแปลงอ้อย ((3) ปริมาณใบอ้อยที่ปลิดได้ (4) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (5) ความเสียหายของต้นอ้อยหลังใช้เครื่องปลิด (ต้นอ้อยล้ม)

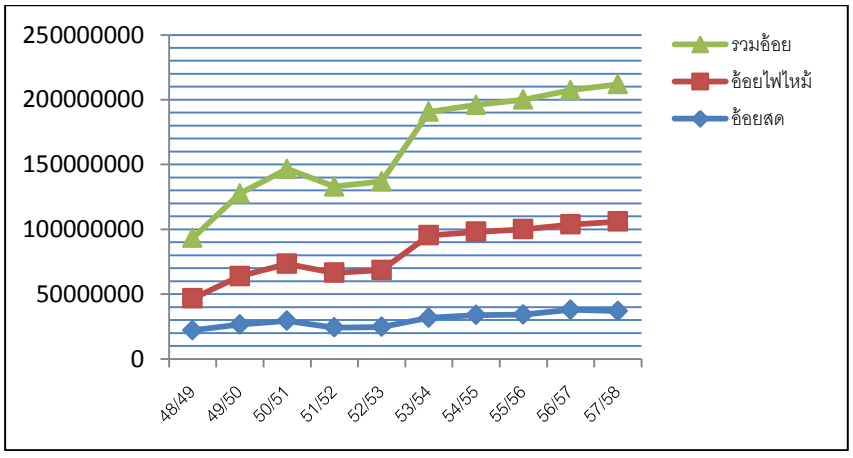
4.3 วิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อาทิ ระยะเวลาคืนทุน อัตราผลตอบแทนการลงทุน วิเคราะห์จุดคุ้มทุน และอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน

4.4 สรุปผลการวิจัย จัดทำรายงาน และเผยแพร่แก่ผู้สนใจ

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

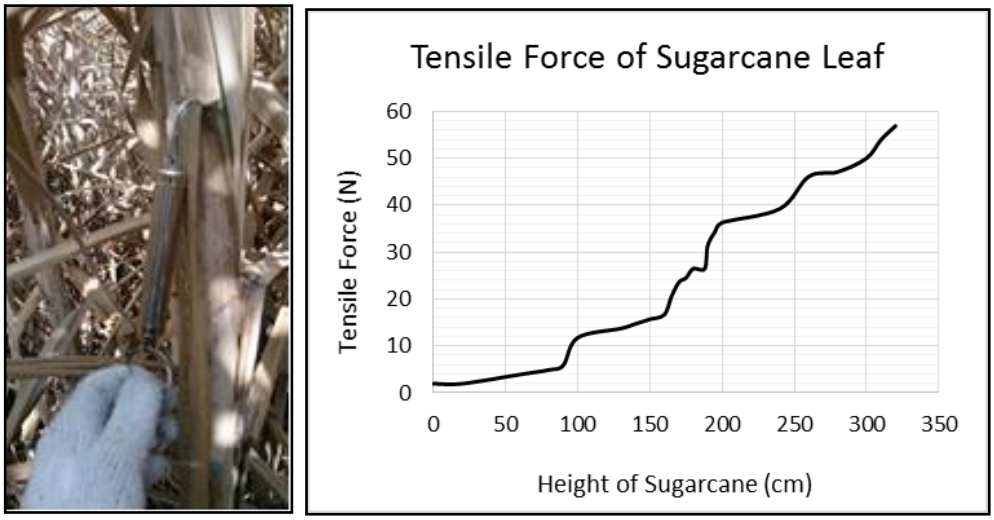
1.การสำรวจเอกสารและสภาพแปลงอ้อย

สาเหตุที่ต้องวิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยนั้น เพื่อจะนำไปแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว และลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยแรงงานคน จากข้อมูลของ สอน. พบว่ามีอ้อยไฟไหม้ถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาลเพิ่มขึ้นทุกปี ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาตั้งแต่ฤดูการผลิตปี 47/48 มีจำนวน 22.707 ล้านตัน หรือคิดเป็น 47.48 เปอร์เซนต์ ของผลผลิตทั้งประเทศ และในฤดูการผลิตปี 57/58 มี จำนวน 69.05 ล้านตัน หรือคิดเป็น 65.38 เปอร์เซนต์ จากผลผลิตอ้อยทั้งประเทศรวม 105.96 ล้านตัน ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งมีเนื่องจากมีปัญหาขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยว ซึ่งเมื่อเทียบเวลาการตัดอ้อยสด 1 ต้น จะตัดอ้อยไฟไหม้ได้ 3 ต้น ทำให้แรงงานนิยมตัดอ้อยไฟไหม้เนื่องจากมีรายได้ต่อวันสูงกว่า และการทดลองนี้ได้นำผลจากการทดลองที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย (1) ผลการสำรวจแปลงอ้อย และ (2)ระบบกลไกลูกปลิดใบอ้อย ดังแสดงในรูปที่ 8 มารวมกับผลการทดลองที่ 2 ทำให้ได้ต้นแบบเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย



รูปที่ 7 แสดงปริมาณอ้อยไฟไหม้ที่ถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาล

รูปที่ 8 การสำรวจข้อมูลก่อนออกแบบเครื่อง
อ้อยในแปลงเกษตรกรพันธุ์ขอนแก่น 3
อายุปลูก 8 เดือน มีปริมาณใบอ้อยแห้ง 950 – 1450 กิโลกรัม/ไร่

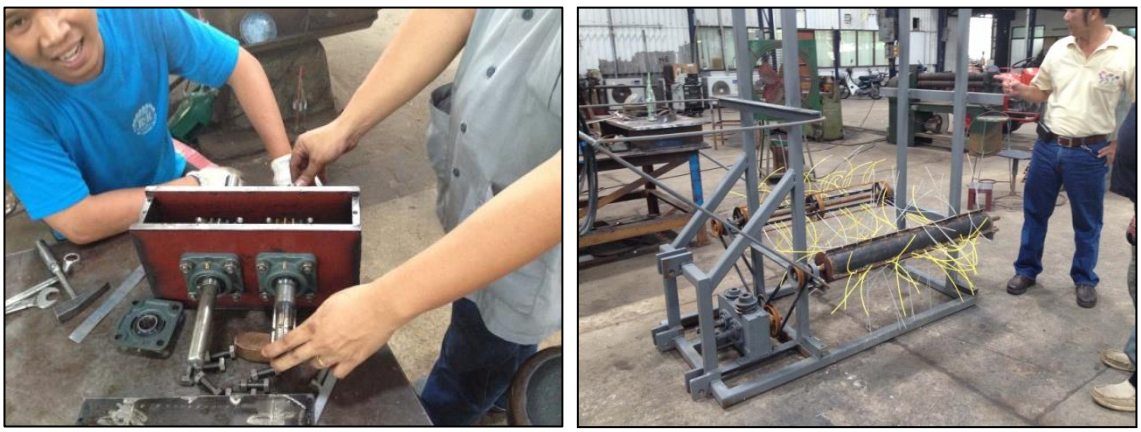


รูปที่ 9 แสดงกราฟแรงที่ใช้ดึงใบอ้อย ออกจากลำต้น

จากการวัดแรงดึงใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุปลูก 8 เดือน โดยใช้เครื่องชั่งสปริงดึงทั้งใบและกาบใบออก ทำให้ทราบว่าแรงดึงใบจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของต้น โดยบริเวณโคนต้นจะใช้แรงดึงน้อยกว่าด้านยอดต้นอ้อย เนื่องจากใบอ้อยมีสีเขียวจะเจริญเติบโตที่หลัง ใบอ้อยที่แห้งแล้วที่อยู่ต่ำลงมา ทำให้ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 9

2. ผลการออกแบบ สร้าง และทดสอบ

นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นอ้อย ได้แก่ความสูง ความโตของต้น แรงที่ดึงให้ใบอ้อยหลุดจากลำต้น และน้ำหนักใบอ้อย ซึ่งจะแปรผันตามพันธุ์ มาออกแบบและสร้างเครื่อง ในโรงปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม เริ่มจากการหารูปร่างและความเร็วรอบของลูกปลิดใบอ้อยที่เหมาะสม โดยได้ออกแบบเป็นทรงกระบอกปิดที่ด้านหัวและท้าย มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร มีครีบเหล็กความสูง 1 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นใบพัดและจับยึดเส้นเอ็นปลิดใบอ้อยความยาว 30 เซนติเมตร เชื่อมต่อผิวทรงกระบอกจำนวน 4 ใบ ติดตั้งอยู่บนโครงเหล็กสี่เหลี่ยมขนาด 30x30 มิลลิเมตร และสร้างห้องเกียร์เพื่อส่งถ่ายกำลังให้แก่ลูกปลิด สำหรับรับกำลังจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์โดยใช้เฟืองตรง ขนาดโมดูล 4 จำนวน 80 ฟัน 2 ตัว ปลายเพลารองรับด้วยแบริ่งขนาด 1 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 10 แล้วนำไปติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า และดำเนินการทดสอบในโรงปฏิบัติการและแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรโดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็ว 1, 2 และ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 10 ห้องเกียร์ที่สร้างขึ้น และการติดตั้งลูกปลิดใบกับโครง

รูปที่ 11 การสร้างห้องม้วนใบอ้อย

ส่วนรูปที่ 11 เป็นการสร้างห้องม้วนใบอ้อย ซึ่งมีส่วนประกอบคือ (1) รางรับใบอ้อยทำจากเหล็กแผ่นความหนา 1.2 มิลลิเมตร (2) เกลียวส่งใบอ้อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร มีใบเกลียวความสูง 5 เซนติเมตร ระยะฟิต 21 เซนติเมตร หมุนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที และ (3) ห้องม้วนใบอ้อย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ภายในมีใบพัดทำมุมเอียง 20 องศา จำนวน 1 ใบ หมุนด้วยความเร็ว 80 รอบต่อนาทีทำหน้าที่ม้วนใบอ้อย เมื่อสร้างเสร็จแล้วได้ดำเนินการทดสอบในโรงปฏิบัติงานของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยนำใบอ้อยมาวางไว้บนราง ทำให้ใบอ้อยถูกเกลียวลำเลียงพัดส่งเข้าห้องม้วนใบอ้อย มีลักษณะเป็นเส้นยาวต่อเนื่องกัน ดังแสดงในรูปที่ 12 จึงดำเนินประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันและนำไปทดสอบในแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรที่ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาจญบุรี โดยอ้อยมีอายุปลูก 8 เดือน พันธุ์ขอนแก่น 3 ระยะห่างระหว่างร่อง 140 เซนติเมตร โดยใช้ความเร็วลูกปลิด 700 รอบต่อนาที พบว่าสามารถปลิดใบอ้อยออกจากลำต้นได้ แต่มีใบอ้อยแห้งบางส่วนพันที่ปลายของลูกปลิดต้องหยุดการปฏิบัติงาน ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 และนำกลับมาปรับปรุงในส่วนของลูกปลิดใบอ้อย ในส่วนของความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์นั้น สามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเพียง 2 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่านั้น เนื่องจากใบอ้อยบดบังทัศนะวิสัยผู้ควบคุมรถ

รูปที่ 12 การสร้าง และทดสอบในโรงปฏิบัติการ

รูปที่ 13 เครื่องที่สร้าง และนำไปทดสอบภาคสนาม ครั้งที่ 1

รูปที่ 14 ใบอ้อยติดขัดกับลูกปลิด

รูปที่ 15 ทดสอบภาคสนาม ครั้งที่ 2

รูปที่ 16 เครื่องที่ผ่านการปรับแก้แล้ว

รูปที่ 15 เป็นการเปรียบเทียบสภาพเครื่องภายหลังปรับปรุงแล้วได้นำไปทดสอบการทำงาน พบว่าใช้การได้ดีจึงนำมาปรับแก้ดังแสดงในรูปที่ 16 โดยตัดส่วนคานด้านหลังที่รองรับปลายเพลาลูกปลิดอ้อยออก และเพิ่มสายพานระบบส่งกำลังให้ลูกปลิดเป็น 2 เส้น พร้อมมีตัวตึงสายพาน และลดความยาวลูกปลิดเหลือ 40 เซนติเมตร และนำไปทดสอบในแปลงเกษตรกรที่อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี อ้อยมีอายุ 9 เดือน พันธุ์ลำปาง แสดงในรูปที่ 17 ในพื้นที่ 1 ไร่ พบว่าเครื่องทำงานได้ดี จึงวางแผนที่จะทดสอบสมรรถะโดยดำเนินการที่ อำเภอห้วยกระเจา ได้แปลงของเกษตรกรเป็นอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 9 เดือน แสดงในรูปที่ 18 และจัดวางแปลงทดสอบ ออกเป็น 3 แปลง พื้นที่แปลงละ 1 ไร่

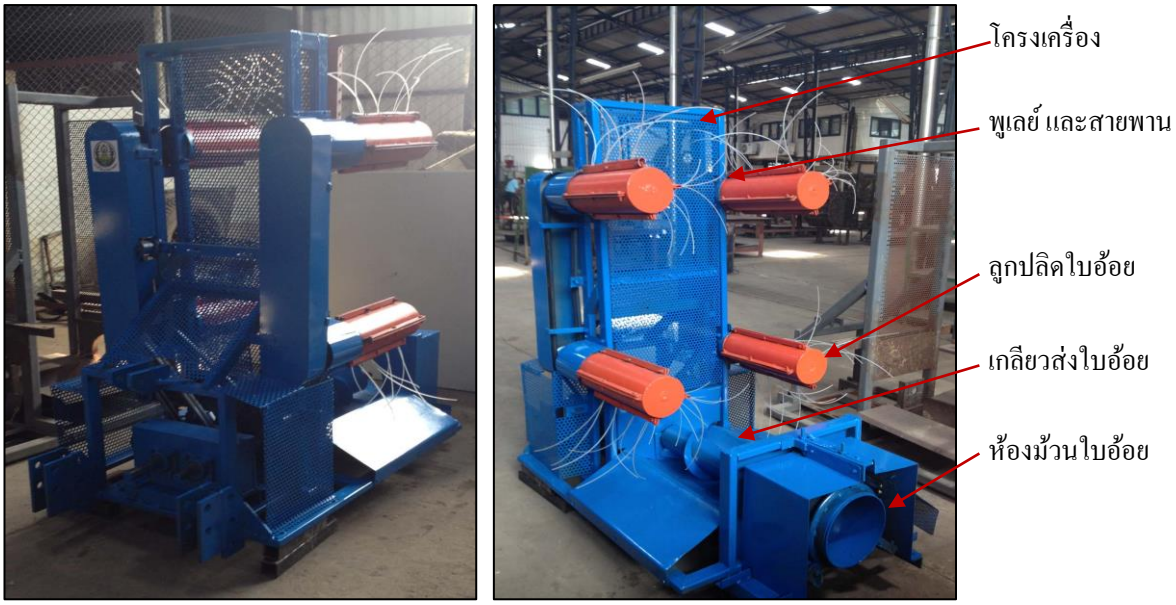
รูปที่ 17 การทดสอบที่อำเภอห้วยกระเจา

รูปที่ 18 สภาพแปลงอ้อยที่ปลิดใบออกแล้ว

2.นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อย โดยกำหนดเกณฑ์จากตัวแปรต่างๆ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อให้เครื่องจักรมีความเหมาะสมและคุ้มค่าต่อการใช้งาน ได้แก่ (1) ความสามารถในการทำงาน (2) ความเร็วการเคลื่อนที่ในแปลงอ้อย (3) ปริมาณใบอ้อยที่ปลิดได้ (4)การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และ(5) ความเสียหายของต้นอ้อยหลังใช้เครื่องปลิด (ต้นอ้อยล้ม) ขณะทดสอบใช้ความเร็วลูกปลิด 500 รอบต่อนาที และต้องหาพื้นที่ทดสอบเพิ่มเนื่องจากเกษตรกรต้องการเก็บอ้อยไว้ใช้ทำพันธุ์จึงหาพื้นที่ทดสอบใหม่ในอำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งผลการทดสอบจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแปลงเกษตรดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ

แปลงที่	สถานที่	พันธุ์	พื้นที่ (ไร่)	น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)	ต้นอ้อยล้ม (%)	อัตราการทำงาน (ไร่/ชั่วโมง)	ความเร็ว (ม/วินาที)	ประสิทธิภาพการปลิด %
1	อ.ห้วยกระเจา	ขอนแก่น 3	1	0.8	1.0	0.9	0.35	90
2	อ.ห้วยกระเจา	ขอนแก่น 3	1	1.4	0.5	1.3	0.5	75
3	อ. อู่ทอง	อู่ทอง 4	1	0.9	0.7	1.1	0.4	76
เฉลี่ย				1.03	0.73	1.1	0.4	80.3



ภาพที่ 19 เครื่องต้นแบบ ด้านหน้า (ซ้าย) และด้านหลัง (ขวา)

เครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยต้นแบบ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 19 ได้แก่ (1) โครงเครื่อง (2) พูเลย์และสายพานส่งกำลัง (3) ลูกปลิดใบอ้อย (4) เกลียวส่งใบอ้อย (5) ห้องม้วนใบอ้อย

หลักการทำงาน มีขั้นตอนดังนี้ (1) นำไปติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กด้วย จุดพ่วงแบบ 3 จุด พร้อมต่อชุดส่งกำลังจากเพลา PTO ของรถแทรกเตอร์กับเฟืองสปาย์ของเครื่องปลิดใบอ้อย และปรับแขนจุดพ่วงให้ตัวเครื่องให้ได้ระดับ (2) และปรับรอบลูกปลิด 500 รอบ/นาที (3) ขับรถแทรกเตอร์เข้าแปลงอ้อยโดยใช้ความเร็วที่ผู้ควบคุมขับรถได้โดยปลอดภัย ควรสวมแว่นตาและอุปกรณ์ป้องกันฝุ่นขณะปฏิบัติงาน เหมาะกับอ้อยระยะ 120 เซนติเมตรขึ้นไป

สมรรถนะจะขึ้นอยู่กับสภาพแปลงอ้อย อาทิ วัชพืช อ้อยปลูก หรืออ้อยตอ พันธุ์อ้อย ความราบเรียบของพื้นที่ปลูก และรถแทรกเตอร์ที่ใช้เป็นแบบขับเคลื่อน 2 ล้อหรือ 4 ล้อ ผลการทดสอบมีข้อมูลดังนี้ (1) เครื่องมีประสิทธิภาพการปลิดใบอ้อยแห้งออกจากต้น 75 - 90 % (2) ความสามารถในการทำงาน 0.9 - 1.3 ไร่/ชั่วโมง (3) ความเร็วรถแทรกเตอร์ 0.35 – 0.5 เมตร/วินาที (1.26-1.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ขึ้นอยู่กับสภาพแปลงว่ามีใบอ้อยมากหรือน้อย (4) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.8-1.4 ลิตร/ไร่ (5) ความเสียหายของต้นอ้อยหลังใช้เครื่องปลิด (ต้นอ้อยล้ม) 0.5-1.0 % (6) ความเร็วลูกปลิดใบ 500 รอบ/นาที (7) เส้นเอ็นที่ใช้กับลูกปลิดแบบกลมขนาด 3 มม. มีความทนทานมากกว่าแบบสี่เหลี่ยม (8) พื้นที่ทดสอบมีปริมาณใบอ้อยแห้ง 950-1,450 กิโลกรัม/ไร่ เครื่องมีมิติโดยรวม (กว้างxยาวxสูง) 80x150x150 เซนติเมตร น้ำหนัก 130 กิโลกรัม

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การหาความคุ้มค่าของการใช้เครื่องจักร โดยคิดจากรายได้ของเกษตรกรที่ไม่ต้องเผาใบอ้อย ซึ่งจะทำให้ถูกหักเงิน ตันละ 20 บาท พื้นที่ 1 ไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 10 ตัน/ไร่ ทำให้มีรายได้ 200 บาท/ไร่ และมีช่วงเวลาการทำงานของเครื่องจักรในแต่ละปี ประมาณ 4 เดือน

(1) ต้นทุนคงที่ โดยคิดในกรณี เมื่อซื้อไปรับจ้างและมีรถแทรกเตอร์ต้นกำลังอยู่แล้ว หากไปกู้เงินมาซื้อเครื่องราคา 35,000 บาท คิดดอกเบี้ย ร้อยละ 7 รวมเป็นเงินทั้งหมด (35,000+2,450) =37,450 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี เมื่อคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงมีต้นทุน (37,450 /5) เท่ากับ 7,490 บาทต่อปี ในแต่ละปีใช้งาน 4 เดือน (ฤดูตัดอ้อย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึง มีนาคม) ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ใน 1 ปี จะใช้ (4เดือนx26วันx8ชั่วโมง) เท่ากับ 832 ชั่วโมง หรือปลิดใบอ้อยได้ (1ไร่ต่อชั่วโมงx832ชั่วโมง) เท่ากับ 832 ไร่ สามารถคิดต้นทุนคงที่ได้ (7,490 บาทต่อปี/832 ไร่ต่อปี) เท่ากับ 9.0 บาทต่อไร่

(2) ต้นทุนแปรผัน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลคิดที่ 30 บาทต่อไร่ ดังนั้นต้นทุนโดยรวมจะอยู่ที่ (9.0 บาทต่อไร่+ 30 บาทต่อไร่) เท่ากับ 40 บาทต่อไร่

(3) การคิดจุดคุ้มทุน หากนำไปรับจ้าง 200 บาท/ไร่ หักค่าน้ำมัน 40 บาท/ไร่ จะได้เงิน 160 บาท/ไร่ ใน 1 ปี ทำงานได้ 832 ไร่ จะคิดเป็นเงิน 160 บาทx832ไร่ เท่ากับ 133,120 บาท หรือคิดง่าย ๆ นำรายได้ต่อวันคือ (160 บาท x 8 ชั่วโมง) ใน 1วัน จะได้เงิน เท่ากับ 1,280 บาท นำไปหารเงินที่กู้มาซื้อเครื่อง 37,450 บาท/1,280 บาท **จะทำงานเพียง 30 วันเท่านั้นก็จะคุ้มทุน**

แต่อย่างไรก็ตามการประเมินนี้เป็นเพียงการคำนวณให้เห็นเป็นแนวทางเท่านี้ ในทางปฏิบัติจุดคุ้มทุนจะขึ้นอยู่สภาพการณ์แวดล้อมการใช้เครื่องจักร

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การเผาใบอ้อยนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของไทย จึงดำเนินการวิจัยเครื่องปลิดและเก็บใบอ้อยแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว การใช้งานนำมาพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก วิ่งเข้าไปในร่องอ้อยเหมาะกับอ้อยที่มีระยะแถว 120 เซนติเมตรขึ้นไป มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ (1) โครงเครื่อง (2) ระบบส่งกำลังด้วยสายพาน (3) ลูกปลิดใบอ้อย (4) เกลียวส่งใบอ้อย (5) ห้องม้วนใบ ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 1 ไร่/ชั่วโมง ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1 ลิตร/ไร่ เครื่องมีมิติโดยรวม (กว้างxยาวxสูง) 80x150x150 เซนติเมตร น้ำหนัก 130 กิโลกรัม ราคาประมาณ 35,000 บาท

การหาจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องจักร คิดในกรณีกู้เงิน ดอกเบี้ยร้อยละ 7 หากนำไปรับจ้าง 200 บาท/ไร่ หักต้นทุนแปรผัน 40 บาท/ไร่ จะได้เงิน 160 บาท/ไร่ ใน 1 ปี ทำงานได้ 832 ไร่ คิดเป็นเงิน 160 บาทx832ไร่ เท่ากับ 133,120 บาท หรือคิดง่าย ๆ นำรายได้ต่อวันคือ (160 บาท x 8 ชั่วโมง) เท่ากับ 1,280 บาท นำไปหารเงินที่กู้มาซื้อเครื่อง 37,450 บาท/1,280 บาท จะทำงานเพียง 30 วันเท่านั้น

บทสรุปและเสนอแนะ

การเผาใบอ้อยนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของไทย จึงดำเนินการวิจัยเครื่องจักรเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว โดยรูปแบบของกลไกที่ใช้มีทั้งแบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้สำหรับปลิดใบอ้อยเพื่อทำเป็นต้นพันธุ์ หรือแบบใช้กลไกอย่างเดียว เมื่อนำมาใช้งานโดยพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กวิ่งเข้าไปในร่องอ้อย เหมาะกับอ้อยที่มีระยะแถว 120 เซนติเมตรขึ้นไป มีส่วนประกอบ ได้แก่ (1) โครงเครื่อง (2) ระบบส่งกำลังด้วยสายพาน (3) ลูกปลิดใบอ้อย (4) เกลียวส่งใบอ้อย (5) ห้องม้วนใบ ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 1 ไร่/ชั่วโมง ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1 ลิตร/ไร่ มิติโดยรวม (กว้างxยาวxสูง) 80x150x150 เซนติเมตร น้ำหนัก 130 กิโลกรัม ราคาประมาณ 35,000 บาท

การหาจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องจักร คิดในกรณีกู้เงิน และนำไปรับจ้าง 200 บาท/ไร่ ใน 1 ปี ทำงานได้ 832 ไร่ คิดเป็นเงิน 160 บาทx832ไร่ เท่ากับ 133,120 บาท หรือคิดง่าย ๆ นำรายได้ต่อวันคือ (160 บาท x 8 ชั่วโมง) เท่ากับ 1,280 บาท นำไปหารเงินที่กู้มาซื้อเครื่อง 37,450 บาท/1,280 บาท จะทำงานเพียง 30 วันเท่านั้น

บรรณานุกรม

เอกสารอ้างอิงกิจกรรมที่ 1

กรมวิชาการเกษตร. 2555. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร 14(2), 27-33.

วิชัย โอภานุกูล สันธาร นาควัฒนานุกูล ชัชชัย ชัยสัตตปกรณ์ คทาวุธ จงสุขไว มงคล ตุ่นเฮ้า บาลทิตย์ ทองแดง และดนัย ศารทูลพิทักษ์. 2554. ศึกษาสภาพพื้นที่เพาะปลูกและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร. 2549. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. เอกสารเผยแพร่กรมวิชาการเกษตร 3(2), 4-8.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร. 2550. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. วารสารวิชาการกรมวิชาการเกษตร 5(7), 12-15.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย. 2554. ผลกระทบของอ้อยไฟไหม้ต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลไทย.วารสารสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย 15(1), 47-50.

สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. 2550. วิศวกรรมการควบคุมอัตโนมัติ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, ชุมพล คำสิงห์, นริศร ขจรผล, สุกรี นันตะสุคนธ์ และสนิท สมเหมาะ. 2550. การแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการสางใบอ้อย. ฐานข้อมูลงานวิจัยอ้อย.กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร.

เอกสารอ้างอิงกิจกรรมที่ 2

กรมวิชาการเกษตร. 2555. *แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย*. เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร 14(2) : 27-33.

กรมพลังงานทดแทน.2550.การประเมินศักยภาพชีวมวลอ้อย. สืบค้นจาก: http://www.energy.go.th (มิ.ย. 55)

บริษัทมิตรผล วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล. 2551.ข้อแนะนำในการตัดอ้อย. 4 หน้า.

ชนินทร์ อุปถัมภ์ และสมโภชน์ สุดาจันทร์.2555.เอกสารการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.ครั้งที่13 วันที่ 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่.

วิชัย โอภานุกูล สันธาร นาควัฒนานุกูล ชัชชัย ชัยสัตตปกรณ์ คทาวุธ จงสุขไว มงคล ตุ่นเฮ้า บาลทิตย์ ทองแดง และดนัย ศารทูลพิทักษ์. 2554. ศึกษาสภาพพื้นที่เพาะปลูกและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

วรพจน์.2554.โครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน). มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร. 2549. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร 3(2) : 4-8.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.ผลการสำรวจประจำปี2557/58 สืบค้นจาก: http://www.ocsb.go.th (ก.ย. 59)

สำนักงานคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย. 2554. ผลกระทบของอ้อยไฟไหม้ต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลไทย.วารสารสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย 15(1): 47-50.

สถาบันวิจัยพืชไร่.2553.เอกสารวิชาการการปลูกและดูแลรักษาอ้อย.กรมวิชาการเกษตร.หน้า21-26

สันธาน นาควัฒนานุกูล และคณะ. 2552. พัฒนาเครื่องอัดฟ่างที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม.กรมวิชาการเกษตร.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, ชุมพล คำสิงห์, นริศร ขจรผล, สุกรี นันตะสุคนธ์ และสนิท สมเหมาะ. 2550. การแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการสางใบอ้อย. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2550. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร สุพรรณบุรี. หน้า 145-151.