

## ออกแบบ และพัฒนากลไกการปลิดและเก็บใบอ้อย

\*ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์<sup>1</sup>, วิชัย โอภาณุกุล<sup>1</sup>, อานนท์ สายคำฟู<sup>1</sup>, วีระ สุขประเสริฐ<sup>1</sup>,  
มานพ คันธามารัตน์<sup>1</sup>, มงคล ตุ่นเฮ้า<sup>2</sup> และ พินิจ จิรัศคกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

ผู้เขียนติดต่อ: ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์ E-mail: tinnasit@hotmail.co.th

### บทคัดย่อ

การสาบใบอ้อยจะทำก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อยประมาณ 2 เดือน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก โดยไม่ต้องเผาใบ ทำให้อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด ทำให้ขยายขนาดปล้อง อ้อยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น 15-20% เครื่องสาบใบอ้อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะใช้สาบใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน โดยมีรอบการหมุนของลูกตีใบประมาณ 800-900 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (low 2) แต่ไม่สามารถใช้สาบใบอ้อยสำหรับอ้อยทำพันธุ์ได้ เพราะตาอ้อยสูญเสียประมาณ 60-70% เมื่อทำการลดความเร็วรอบลูกตีใบลงเหลือ 680 รอบต่อนาที และเปลี่ยนทิศทางการหมุนเป็นทวนเข็มนาฬิกา โดยใช้เกียร์ PTO Low 2 ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 พบว่าตาอ้อยสูญเสียน้อยที่สุด 9.75% โดยมีอัตราการทำงาน 1.37 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 60 บาทต่อไร่ แต่พบว่าบริเวณความสูงตั้งแต่ 90 เซนติเมตรขึ้นไปกลับไม่สะอาด เนื่องจากแรงดึงใบมีค่าสูงขึ้นตามความสูงของอ้อย รวมถึงลูกตีใบของเครื่องสาบใบมีรอบการหมุนคงที่ และไม่เคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้กลไกแบบ Slider - crank เพื่อให้ลูกตีใบสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งโดยพวงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 22 แรงม้า สามารถตีใบอ้อยที่ระยะความสูงจากพื้นดินขึ้นไปจนถึงระยะ 2.35 เมตร ต้นกำลังการหมุนลูกตีใบใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 900 วัตต์ 24 โวลต์ ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) เป็น duty เปลี่ยนรอบการหมุนของลูกตีใบตามความสูงของต้นอ้อยแบบอัตโนมัติ สัญญาณ PWM ที่ใช้มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และมี Pulse Period เป็น 1 มิลลิวินาที ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้สัญญาณความเร็วรอบ out put ราบเรียบ ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง duty ที่ใช้ปรับความเร็วรอบของลูกตีใบที่เหมาะสมกับช่วงความสูงของต้นอ้อย ซึ่งมีแรงดึงใบอ้อยแตกต่างกัน เมื่อทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอน้ำหนาว จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 2.05 เมตร โดยทดสอบที่ 3 ปัจจัยคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ความเร็วเชิงเส้นในแนวตั้งของลูกตีใบ และทิศทางการหมุนของลูกตีใบ พบว่าความสูงตั้งแต่ 0-50 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 80.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 รอบต่อนาที, 50-90 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 75.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 รอบต่อนาที, 90-180 เซนติเมตร ใช้ duty cycle 77.78% รอบการหมุนของลูกตีใบ 700 รอบต่อนาที และมากกว่า 180 เซนติเมตรขึ้นไปใช้ duty cycle 0% ทำให้ไม่มีการหมุนของลูกตีใบ เนื่องจากเป็นใบเขียว รอกการเจริญเติบโตต่อไป ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเชิงเส้นของลูกตีใบ 0.5 เมตรต่อวินาที ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา ตาต้นอ้อยสูญเสียน้อยที่สุด 1.38% อัตราการทำงาน 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.33 แอมป์ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 3.91 ลิตรต่อไร่

คำสำคัญ: อ้อย; ใบอ้อย; การสาบใบอ้อย

## 1. บทนำ

ปัญหาการเผาอ้อยปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น ในฤดูการเก็บเกี่ยว 2553/54 มีปริมาณอ้อยเผาใบถูกส่งเข้าโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศมากกว่า 4 ล้านตัน หรือประมาณ 61% [1] ซึ่งอ้อยที่ถูกเผาใบเหล่านี้จะเสียน้ำหนัก ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ สภาพดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ มีวัชพืชขึ้น เนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายในการปลูกดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่เป็นที่ต้องการของโรงงานน้ำตาลเนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อแก้ปัญหาส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง ทางโรงงานน้ำตาลจึงตัดราคาสำหรับอ้อยเผาใบลงตันละ 20 บาท [2]

รัฐบาลและโรงงานน้ำตาลจึงรณรงค์ให้มีการตัดอ้อยสด และประชาสัมพันธ์ถึงข้อดีในการตัดอ้อยสด อย่างไรก็ตามเกษตรกรยังมีแนวโน้มในการตัดอ้อยเผาใบสูงกว่าการตัดอ้อยสด จากผลสำรวจของวิชัย และคณะ (2554) 258 ตัวอย่าง พบว่าการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน 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

ดังนั้นเมื่ออ้อยได้อายุเก็บเกี่ยวแล้ว วิศวกรเกษตร [3] จึงแนะนำว่า ไม่ควรเผาใบ แต่ใช้วิธีการตัดสางใบก่อนที่จะตัดอ้อย 2 เดือน ซึ่งจะช่วยให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด ทำให้ขยายขนาดปล้อง อ้อยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น 15-20% อีกทั้งยังเป็นการช่วยกำจัดไข่และตัวอ่อนของเพลี้ยต่างๆที่เป็นศัตรูอ้อย นอกจากนี้ใบอ้อยที่ตัดสางแล้วจะคลุมดิน ทำให้เก็บความชื้นในดิน และป้องกันวัชพืชเจริญเติบโต

ในปี 2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี วิศวกรเกษตร [4] ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยขึ้นโดยติดตั้งกับรถไถเดินตามดังรูปที่ 1 ใช้ลูกตีใบ 2 ลูก ติดตั้งสองฝั่งบนและล่าง โดยแกนของลูกตีใบยึดติดกับเพลลา เพลลาหมุนด้วยรอบคงที่ประมาณ 700 rpm ซึ่งใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามถ่ายทอดกำลังผ่านสายพาน โครของลูกตีใบยึดเส้นลวดเพื่อใช้สำหรับตีใบอ้อย โดยลูกตีใบจะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 1 เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งรถไถเดินตาม

เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งรถไถเดินตาม มีอัตราการทำงาน 16 เมตรต่อนาที และในพื้นที่ 1 ไร่ ใช้เวลาในการสางใบ 70 นาที ต่อมาในปี 2550 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี วิศวกรเกษตร [5] ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กดังรูปที่ 2 โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้มีดสางใบ และมีดตัดอ้อยพบว่าเครื่องสางใบอ้อยสามารถสางใบอ้อยได้ 1 ชั่วโมง 19 นาที/ไร่ ในขณะที่มีดสางใบที่ใช้แรงงานคนสามารถสางใบอ้อยได้ 6 ชั่วโมง 12 นาที/ไร่ และมีดตัดอ้อยสามารถสางใบอ้อยได้ในอัตรา 9 ชั่วโมง 19 นาที/ไร่ หลังสางใบอ้อยตรวจความเสียหายของอ้อยจากการสางใบ พบว่าอ้อยที่ใช้เครื่องสางใบติดตั้งรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมีลำอ้อยหักล้ม 18.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอ้อยที่ใช้มีดสางใบมีการหักล้ม 12.7 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำลำอ้อยที่มีการสางใบไปทดสอบความงอก พบว่า การสางใบอ้อยไม่ทำให้ลำอ้อยเสียหาย แต่อ้อยที่มีการสางใบก่อนการเก็บเกี่ยวกลับมีความงอกดีกว่าอ้อยที่ไม่มีการสางใบ คือ อ้อยที่มีการสางใบอ้อยด้วยเครื่องสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 72 เปอร์เซ็นต์ อ้อยที่มีการสางใบด้วยมีดสางใบ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 68 เปอร์เซ็นต์ และอ้อยที่ไม่มีการสางใบมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 42 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 เครื่องสางใบอ้อยติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยทั้งในส่วนภาครัฐและภาคเอกชนสำหรับเกษตรกรที่ใช้แรงงานคนในการตัดอ้อยแบบไม่เผาใบ โดยเพิ่มลูกตีใบเป็น 4 ลูก เพื่อให้การตีใบอ้อยสะอาดขึ้น และเปลี่ยนจากเส้นลวดที่ใช้ตีใบอ้อยเป็นเอ็นตัดหญ้าแทน เพื่อลดความเสียหายจากการแตกหักของลำอ้อย ดังรูปที่ 3 มีอัตราการทำงาน 1.4 ไร่ต่อชั่วโมง รอบการหมุนของลูกตีใบประมาณ 800-900 rpm ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> (low 2) [6]

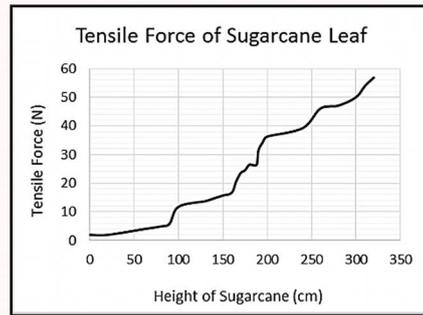


รูปที่ 3 เครื่องสางใบอ้อยที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

เครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไปนี้ปกติจะใช้สางใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน เพราะการตัดอ้อยเข้าโรงงานจะไม่สนใจเรื่องการแตกหักของลำ หรือการเสียหายของตาอ้อย แต่ต้องการความสะอาดเพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สางใบอ้อยสำหรับอ้อยทำพันธุ์ได้ เพราะตาอ้อยสูญเสียประมาณ 60-70% [6]

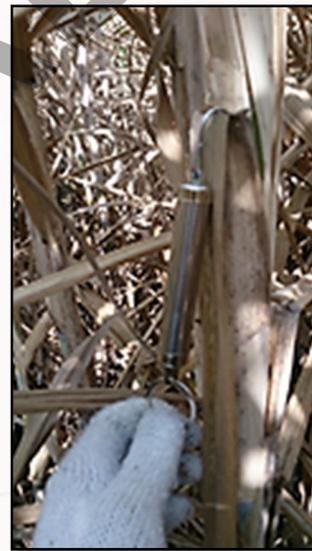
จากการทดสอบเบื้องต้นของตฤณสิษฐ์ และคณะ เกี่ยวกับปริมาณใบอ้อยที่ได้จากการสางใบ และแรงดึงใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ปลุกใหม่ อายุ 10 เดือน ที่อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ พบว่ามีความสูงเฉลี่ย 2.86m เส้นผ่านศูนย์กลางลำเฉลี่ย 3.1cm เส้นรอบวงลำเฉลี่ย 9.8cm ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 1.5m ปริมาณใบอ้อยจากการสางใบเฉลี่ย 1,335.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณใบอ้อยใน 1 ไร่สรุปได้ 3 ปัจจัยคือ

- 1) ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมในการปลูก หมายถึง ชุดดิน การให้น้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพภูมิอากาศ
- 2) ปัจจัยจากเกษตรกรผู้ปลูกซึ่งก็คือวิธีการปลูก การวางท่อนพันธุ์อ้อย ระยะห่างระหว่างแถวปลูก ในกรณีใช้เครื่องปลูกจะรวมถึงความเร็วของแทรกเตอร์ที่ใช้ต่อพ่วงกับเครื่องปลูก เนื่องจากจะมีผลต่อความถี่ในการวางท่อนพันธุ์อ้อย
- 3) ปัจจัยจากพันธุ์อ้อย ได้แก่การแตกกอของอ้อย อ้อยปลูกใหม่ หรืออ้อยต่อ



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงใบ และความสูงของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 10 เดือน

จากการวัดแรงดึงใบโดยใช้เครื่องชั่งสปริงดึงทั้งใบและกาบใบออก จะได้ผลดังรูปที่ 4 ทำให้ทราบว่าแรงดึงใบจะเพิ่มขึ้นตามความสูง และบางช่วงของความสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงดึงอย่างฉับพลัน เนื่องจากใบอ้อยบริเวณนั้นยังอ่อนกว่า ใบอ้อยบริเวณช่วงที่ต่ำลงมาซึ่งแห้งกว่า สังเกตจากความชันของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไป เช่นในช่วงความสูงตั้งแต่ 90-100 cm และ 160-200 cm เป็นต้น



รูปที่ 5 การวัดแรงดึงใบด้วยเครื่องชั่งสปริงขนาด 8 kg.

จากนั้นทดสอบการทำงานของเครื่องสางใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไปกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 10 เดือน ปลุกใหม่ ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า โดยทดสอบที่ 3 ปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ระดับคือ low1 (1.39 km h<sup>-1</sup>), low2 (2.09 km h<sup>-1</sup>) และ low3 (3.43 km h<sup>-1</sup>) รอบการหมุนของลูกตีใบ 4 ระดับได้แก่ 680, 700, 800 และ 900 rpm และทิศทางการหมุนของลูกตี 2 ทิศทางคือ ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา พบว่า ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในแต่ละระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้ตาอ้อย และลำอ้อยเสียหายน้อยที่สุดเป็นดังนี้

1.) ถ้าใช้ความเร็ว low1 รอบลูกตี 700 rpm หมุนทวน เข็มนาฬิกา โคนอ้อยสะอาด จนถึงช่วงความสูง 100 cm แต่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นในบางส่วนจะไม่ถูกตีหลุดออกมา ตาอ้อยสูญเสีย 10.71% อัตราการแตกหักของลำอ้อย 8.53% อัตราการทำงาน 0.83 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 3.52 ลิตรต่อไร่

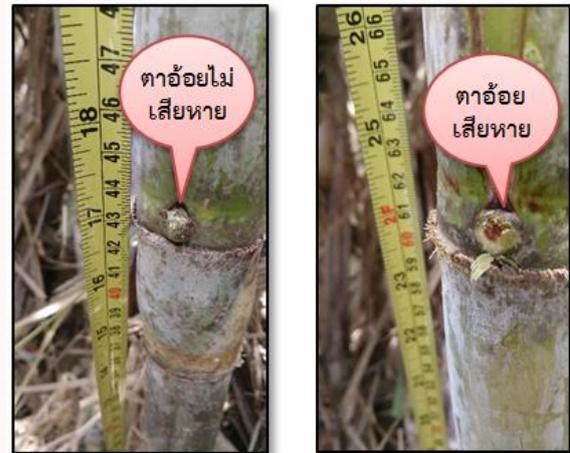
2.) ถ้าใช้ความเร็ว low2 รอบลูกตี 680 rpm หมุนทวน เข็มนาฬิกา โคนอ้อยสะอาด จนถึงช่วงความสูง 92 cm แต่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นในบางส่วนจะไม่ถูกตีหลุดออกมา (ใบหลุดน้อยกว่า low1) ตาอ้อยสูญเสีย 9.75% อัตราการแตกหักของลำอ้อย 5.23% อัตราการทำงาน 1.37 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 2.42 ลิตรต่อไร่

3. ถ้าใช้ความเร็ว low3 รอบลูกตี 800 rpm หมุนตาม เข็มนาฬิกา โคนอ้อยสะอาด จนถึงช่วงความสูง 110 cm แต่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นในบางส่วนจะไม่ถูกตีหลุดออกมา (ใบหลุดใกล้เคียงกับ low1) ตาอ้อยสูญเสีย 15.75% อัตราการแตกหักของลำอ้อย 10.23% อัตราการทำงาน 1.81 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 1.93 ลิตรต่อไร่

เมื่อพิจารณาจากอัตราการทำงาน อัตราการใช้เชื้อเพลิง ความเสียหายของตาอ้อย ในกรณีสางใบเพื่อทำพันธุ์ควรใช้ความเร็ว low2 รอบลูกตี 680 rpm หมุนทวน เข็มนาฬิกา จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด แม้มีความสะอาดน้อยกว่าทั้งแบบ low 1 และ low 3 แต่ก็สะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานคน เข้าตัด หรืออากาศระบาย โปรง และแสงแดดส่องผ่านได้ดี



รูปที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 7 แสดงความเสียหายของตาอ้อย และสภาพของตาอ้อยที่ไม่เสียหาย

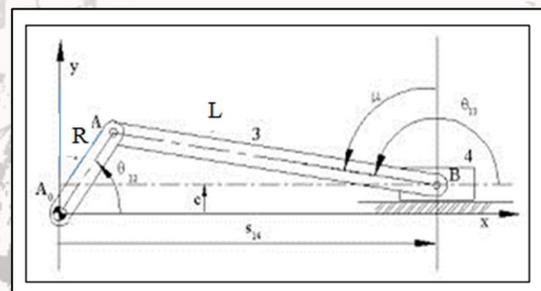
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบกลไกการสางใบอ้อยให้สามารถสางใบอ้อยได้ทั้งในกรณีตัดอ้อยเข้าโรงงาน และปลูกทำพันธุ์ เพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก ลดการเผาใบ โดยสร้างเครื่องต้นแบบติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ดูความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อยที่เกิดขึ้น ซึ่งขอบเขตงานวิจัยนี้จะทดสอบในพื้นที่ที่มีการตัดอ้อยสด และแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้าสามารถเข้าทำงานในร่องอ้อยได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

จากการศึกษา และทดสอบเบื้องต้นถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องสางใบอ้อยที่ใช้อยู่ทั่วไป ลักษณะทางกายภาพของต้นอ้อย และแรงดึงใบอ้อย ดังนั้นจะแบ่งส่วนการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือ

### 2.1 ส่วนกลไก

การออกแบบจะออกแบบให้ลูกตีสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งได้โดยให้มีระยะในการตีที่สูง และใช้ลูกตีเพียงลูกเดียว กลไกที่จะนำมาใช้คือ กลไกเลื่อนข้อเหวี่ยง (Slider Crank Mechanism) ซึ่งเป็นกลไกที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 8



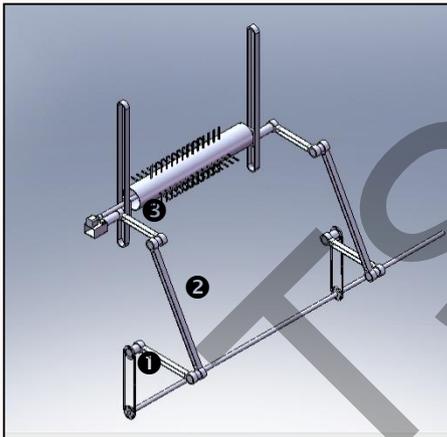
รูปที่ 8 โครงสร้างกลไกแบบ Slider – Crank

สมการที่ 1 ใช้คำนวณระยะการเคลื่อนที่ของกลไกแบบ Slider – Crank

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

จากความกว้างของรถแทรกเตอร์มีค่า 108cm และจุด c.g. (center of gravity) ของแทรกเตอร์ประกอบด้วยระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง(ตามกว้าง) =7.551cm, ระยะห่างจากกึ่งกลางล้อหลัง(ตามยาว) =10.224cm และระยะสูงจากพื้น =9.125cm โดยกำหนดระยะ R =54cm, L =96cm โดยมีจุดหมุนจากพื้นดินสูงขึ้นไป 216 cm จะได้ระยะเคลื่อนที่ X =96.07cm กำหนด  $\theta$  มีค่าสูงสุด 180 องศา จากนั้นเพิ่มระยะการเคลื่อนที่ด้วยการเพิ่มท่อนเหล็กยาว 38.6cm ต่อในทิศทางตั้งฉากกับปลายแขนระยะ L จะได้ระยะเคลื่อนที่รวม 135cm และติดตั้งเอ็นตีใบยาว 50cm ดังนั้นจะสามารถตีใบอ้อยสูงจากพื้นดินขึ้นไปได้ 235cm

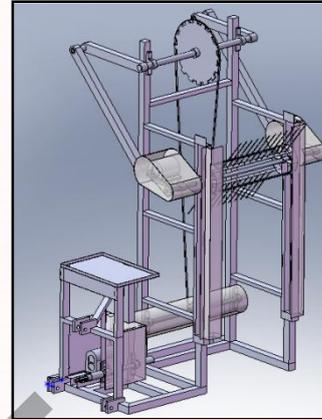
จากนั้นเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แบบจำลองการเคลื่อนที่กลไกของลูกตีใบ

จากรูปที่ 8 เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 2.5 x 5cm หนา 3.2mm ในการทำแขน โดยแขนท่อน 1 ยาว 54cm แขนท่อน 2 ยาว 96cm และเพิ่มแขนท่อนที่ 3 ยาว 38.6cm เพื่อกระจายแรงลัพท์ เพิ่มระยะในการเคลื่อนที่ และลดแรงเฉือนที่สลัก ทำให้ใช้สลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54cm ได้ โดยสลักระหว่างแขนท่อน 1 และ 2 เป็น Revolute joint ส่วนสลักระหว่างแขน 2 และ 3 เป็นสลักตายตัวเชื่อมติด แขน 3 ทำมุม 135 องศา กับแขน 2 เมื่อประกอบเป็นโครงจะได้ต้นแบบดังรูปที่ 8 โครงใช้เหล็กกล่องขนาด 5 x 5cm ส่วนระบบถ่ายทอดกำลังจะถ่ายทอดกำลังผ่านเพลลาอำนาจกำลัง (PTO) ต่อผ่านชุดห้องเกียร์ทด 1:60 ไปขับเพลลาอลอย ซึ่งเพลลาอลอยจะติดตั้งเฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 20 ฟันเป็นเฟืองขับและถ่ายทอดไปขับเพลลาที่ติดตั้งสูงขึ้นไป 216cm โดยติดตั้ง

เฟืองโซ่เบอร์ 50 จำนวน 80 ฟันเป็นเฟืองตาม เพลลาที่ติดตั้งสูงขึ้นไป 216cm นี้จะเป็นจุดหมุนไปขับแขนท่อนที่ 1 ซึ่งทั้งหมดใช้โซ่เบอร์ 50 เป็นตัวถ่ายทอดกำลัง



รูปที่ 10 แบบจำลองเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ

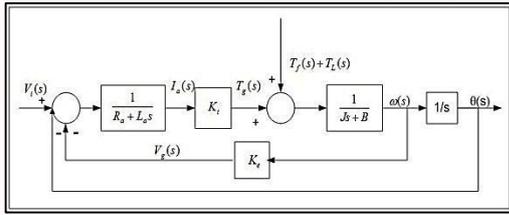


รูปที่ 11 เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ

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

### 2.2 ส่วนควบคุม

ในส่วนการหมุนของลูกตีใบ จากการทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบว่าถ้ารอบการหมุนของลูกตีใบเร็วขึ้นจะตีใบออกได้มากขึ้นแต่ก็จะสร้างความเสียหายให้กับลำต้น และตาอ้อยได้มากขึ้นเช่นกัน จึงต้องมีการควบคุมการหมุนของลูกตีใบให้เหมาะสม ต้นกำลังที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24V 900W ซึ่งง่ายต่อการควบคุม และตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมได้ไว



รูปที่ 12 Block Diagram สำหรับแบบจำลองมอเตอร์กระแสตรง DC motor มี transfer function ดังสมการที่ 2

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

โดย

$\omega(s)$  คือ ความเร็วเชิงมุม output (rad s<sup>-1</sup>)

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

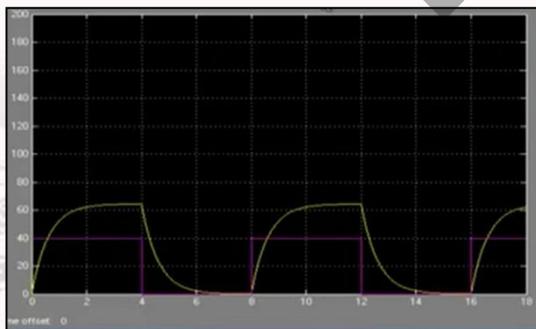
$K_m$  คือ ค่าคงที่มอเตอร์

$\tau s$  คือ ค่า time constant

เมื่อหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธี system identification จะได้ transfer function ของ dc motor ที่ใช้ในการทดสอบดังสมการที่ 3

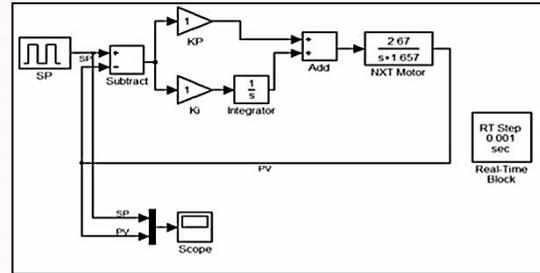
$$\omega(s) = \frac{267}{s + 165.7} V_i(s) \quad \dots(3)$$

ในการเปลี่ยนรอบการหมุนมอเตอร์จะใช้สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) มาควบคุมดีซีมอเตอร์ โดยสั่งการทำงานแบบ Duty cycle ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Full cycle จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสัญญาณ on - off [7] ทำการจำลองโดยสร้างสัญญาณ PWM ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ DC motor เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม Matlab มีผลตอบสนองดังรูปที่ 13

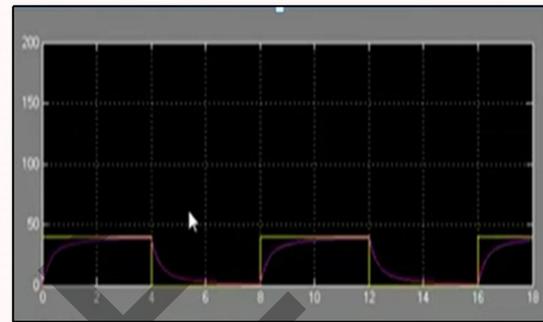


รูปที่ 13 Steady - State response for the testing DC motor model compare with the reference signal.

เพิ่มวิธีการควบคุมแบบ PI (Proportional Integral) เพื่อให้สัญญาณ out put ลู่เข้าสู่สัญญาณอ้างอิงมากที่สุด จะได้ผลตอบสนองสัญญาณควบคุมดังรูปที่ 15 โดยมี Block diagram สำหรับ PI controller กับแบบจำลอง DC motor ดังรูปที่ 14

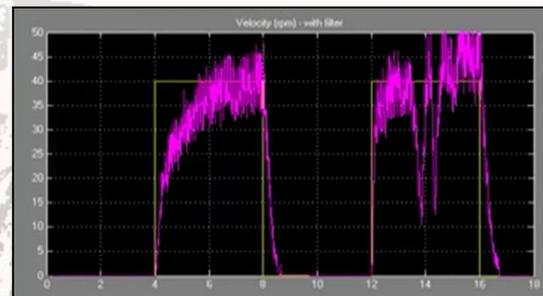


รูปที่ 14 Block Diagram for PI controller with DC motor model



รูปที่ 15 Steady - State response for the testing DC motor model with PI controller.

จากรูปที่ 15 สัญญาณความเร็วรอบ out put กับสัญญาณอ้างอิง PWM in put จากการจำลองการควบคุมมีขนาดใกล้เคียงกัน ในการควบคุมถือว่าใช้งานได้ สัญญาณ PWM ที่ใช้งานวิจัยนี้เลือกใช้ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และมี Pulse Period เป็น 1 มิลลิวินาที ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ความเร็วรอบ out put ราบเรียบ เมื่อทดสอบกับมอเตอร์จริงจะได้ดังรูปที่ 16 โดยมี settling time ( $T_s$ ) 0.533 มิลลิวินาที, peak time ( $T_p$ ) 0.475 มิลลิวินาที, rise time 0.225 มิลลิวินาที, ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว 0.9 และ %over-shoot 2.838% ส่วนการเปลี่ยนรอบการหมุนจะใช้ proximity sensor เป็นตัวบอกตำแหน่งโดยส่งเป็นสัญญาณ feedback กลับไปที่ Controller เพื่อให้ Controller ส่งสัญญาณควบคุม PWM ออกมา



รูปที่ 16 Steady - State response for the testing DC motor compare with reference signal



รูปที่ 17 Proximity sensor is set up at the moving path of the DC motor.

ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ วางแผนการทดลองแบบ full factorial in CRD โดยทดสอบที่ 3 ปัจจัยคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ low1 (1.39 km h<sup>-1</sup>) และ low2 (2.09 km h<sup>-1</sup>) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 3 ระดับคือ 0.3 m s<sup>-1</sup>, 0.4 m s<sup>-1</sup> และ 0.5 m s<sup>-1</sup> และทิศทางการหมุนของลูกตีใบ 2 ระดับคือ หมุนตามเข็มนาฬิกา และหมุนทวนเข็มนาฬิกา แทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 22 แรงม้า จากนั้นบันทึกอัตราการทำงาน ความเสียหายของตาอ้อย ความเสียหายของลำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และจัดทำรายงานโครงการวิจัยต่อไป

ค่าที่เลือกใช้ในการทดสอบความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 3 ระดับคือ 0.3 m s<sup>-1</sup>, 0.4 m s<sup>-1</sup> และ 0.5 m s<sup>-1</sup> สามารถใช้กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ 1.39 km h<sup>-1</sup> และ 2.09 km h<sup>-1</sup> ที่รอบการหมุนของลูกตีใบเท่ากัน (มากกว่าหรือเท่ากับ 680 rpm) ซึ่งทุก treatment อ้อยมีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานเข้าตัดได้สะดวก

ความสะอาดจากการสางใบความหมายคือ โคนอ้อยต้องสะอาด ใบแห้งควรหลุดออกจากลำทั้งหมดยกเว้นใบเขียวที่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ในกรณีที่ต้องการสางใบเมื่ออ้อยยังไม่ถึงช่วงเวลาเก็บเกี่ยว แต่ถ้าสางใบก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 1-2 เดือน จะสางใบออกทั้งหมดเพราะโรงงานน้ำตาลไม่ต้องการอ้อยขูดยาว

### 3. ผลและวิจารณ์

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบเครื่องสางใบอ้อย และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

#### 3.1 ผลการทดสอบเครื่องสางใบอ้อย

ในการทดสอบจะแบ่งพื้นที่ 5 x 3 ตารางเมตรในแต่ละ treatment และทำการทดสอบ โดยทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยต่อ 2 ก่อนการทดสอบจะวัดความสูงของต้นอ้อยและติดตั้ง proximity sensors เพื่อเป็นตัวบอกตำแหน่งในการเปลี่ยนรอบลูกตีใบ จากการวัดความสูงอ้อยทั้งหมด 6 ซ้ำ อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05m ตำแหน่งแรกที่ติดตั้งวัดจากพื้นดินสูงขึ้นมา 50cm ตำแหน่งที่ 2 90cm และตำแหน่งที่ 3 180cm ตามลำดับโดยอ้างอิงจากกราฟแรงดึงใบในรูปที่ 4 จากนั้นทดลองปรับรอบการหมุนของลูกตีใบให้เหมาะสมในแต่ละช่วงความสูงพบว่า ช่วงความสูง 0-90cm ใช้ 680rpm, 90-180cm ใช้ 700 rpm และความสูงตั้งแต่ 180cm ขึ้นไปให้หยุดหมุนเพราะเป็นใบเขียว ซึ่งรอบการหมุนที่ทดลองปรับนี้จะสร้างความเสียหายกับตาอ้อย และลำต้นอ้อยน้อยที่สุด ประมาณ 1.3-1.6% อ้อยมีความสะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานเข้าตัด แสงแดดส่องผ่าน และอากาศระบายได้ดี การทดลองมีทั้งหมด 12 treatment แต่ละ treatment ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลการทดลองเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 1-3 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบเครื่องสางใบอ้อยกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

Forward speed (km h <sup>-1</sup> )	Linear Velocity (m s <sup>-1</sup> )	Direction of the sugarcane leaf pruning 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 h<sup>-1</sup> ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีใบ 0.5 m s<sup>-1</sup> ทิศทางการหมุนของลูกดีใบทวนเข็มนาฬิกา ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45% และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38% แต่ที่ความเร็วแทรกเตอร์ 1.39 km h<sup>-1</sup> ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีใบ 0.3 m s<sup>-1</sup> และทิศทางการหมุนของลูกดีใบตามเข็มนาฬิกา อ้อยจะสะอาดมากที่สุด ซึ่งในการสางใบอ้อยทำพันธุ์นั้นถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ้อยอยู่ ส่วนใบแห้งหลุดออก และโคนอ้อยสะอาดถือว่าสามารถใช้ทำพันธุ์ได้



รูปที่ 18 การติดตั้งเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 22 แรงม้า



รูปที่ 19 การทดสอบการทำงานของเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบใบแปลงอ้อย



รูปที่ 20 ลักษณะของอ้อยที่มีความสะอาดเพียงพอในการทำพันธุ์



รูปที่ 21 การตรวจนับความเสียหายของตาอ้อย หลังจากการทดสอบเครื่องสางใบอ้อย

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 ระดับ

Forward speed (km h <sup>-1</sup> )	Performance (rai h <sup>-1</sup> )	Fuel's Consumption (L rai <sup>-1</sup> )
1.39(low1)	0.58	5.02
2.09(low2)	0.86	3.91

จากตารางที่ 2 พบว่าความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด 3.91 ลิตรต่อไร่ เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 1 จะสนับสนุนข้อมูลการใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีใบ 0.5 m s<sup>-1</sup> และทิศทางการหมุนของลูกดี

ใบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งทำให้ลำต้นอ้อย และตาอ้อยเสียหายน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบ duty cycle กับรอบการหมุนของลูกตีใบ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ที่ระยะความสูงต่างๆ

Height's range of sugarcane (cm)	Duty cycle (%)	Speed of the sugarcane leaf pruning roller (rpm)	Electric's Power (A h <sup>-1</sup> )
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

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 ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าช่วงอื่นๆ คือ 38.6 แอมป์ต่อชั่วโมง ส่วนช่วงความสูงตั้งแต่ 50-180 cm ปริมาณใบจะน้อยกว่าโคนต้น แต่มีแรงดึงใบสูงกว่า duty cycle ที่สั่งจากตัวควบคุมออกมาจะเพิ่มขึ้นตามความสูงเพื่อให้ได้รอบลูกตีตามที่กำหนด ส่วนความสูงตั้งแต่ 180 cm ขึ้นไปเป็นใบเขียว ซึ่งอ้อยมีอายุ 6 เดือนยังไม่เิช่ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว จึงไม่ต้องการสางใบออก ดังนั้นตัวควบคุมจะไม่ส่งสัญญาณควบคุมออกมา พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เฉลี่ย 37.33 แอมป์ต่อชั่วโมง ซึ่งอยู่ใน rate current ของมอเตอร์ที่ 40 แอมป์ และไม่มีปัญหาสำหรับไดชาร์จของรถแทรกเตอร์ที่ชาร์จไฟได้ 70 แอมป์

การสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้าโรงงานนั้นจะไม่สนใจเรื่องความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย ต้องการเพียงความสะดวกสำหรับแรงงานคนเข้าตัด ดังนั้นในการทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับรถตัดอ้อยเข้าโรงงานนั้นจะเลือกใช้การหมุนของลูกตีใบ 700 rpm หมุนตามเข็มนาฬิกา ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> และความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 m s<sup>-1</sup> เพื่อความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยทดสอบกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยต่อ 2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แบ่งพื้นที่การทดลอง 5x3 ตารางเมตร อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 m พบว่าเมื่อใช้รอบลูกตี 700 rpm จะใช้ duty cycle เฉลี่ย 79.53% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย

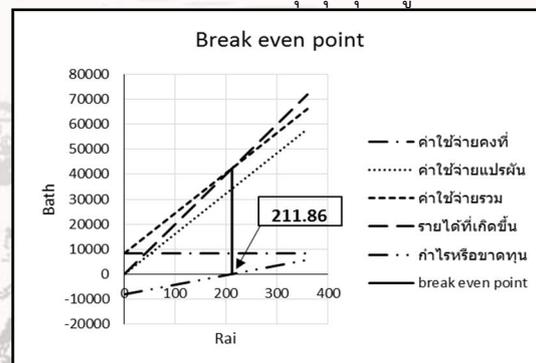
38.12 แอมป์ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงาน 0.92 ไร่ต่อชั่วโมง ตาอ้อยสูญเสีย 7.35% อัตราการแตกหักของลำอ้อย 4.03% อัตราการใช้เชื้อเพลิง 4.04 ลิตรต่อไร่ โคนต้น และลำต้นอ้อยสะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานคนเข้าตัด



รูปที่ 22 ความสะอาดของอ้อยหลังจากการทดสอบการทำงานของเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน

### 3.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ ได้หาเฉพาะกรณีตัดอ้อยเพื่อปลูกทำพันธุ์ที่มีการทดสอบการใช้งานภาคสนาม และพัฒนาให้สามารถนำไปใช้งานจริง โดยกำหนดให้ราคาเครื่องสางใบอ้อยเท่ากับ 35,000 บาท มีอายุการใช้งาน 5 ปี ใช้แรงงานคนจำนวน 1 คนเป็นคนขับรถแทรกเตอร์ มีความสามารถในการทำงานโดยรวม 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยคิดตามอัตร่าค่าจ้างสำหรับการสางใบอ้อยทั่วไปคือ 200 บาทต่อไร่ ช่วงเวลาในการสางใบอ้อยประมาณ 100 วันต่อปี และมีค่าใช้จ่ายแปรผันต่อไร่ 161.177 บาท จะได้จุดคุ้มทุนดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 จุดคุ้มทุนเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบ

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 211.86 ไร่ และมีระยะเวลาคืน

ทุน 1.89 ปี ถ้าเกษตรกรนำเครื่องสางใบอ้อยต้นแบบไปใช้ งานจะได้ผลกำไรตอบแทนในปีที่สาม

#### 4. สรุป

เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบสามารถสางใบอ้อยได้ทั้งในกรณี สางใบอ้อยเพื่อทำพันธุ์ และสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้า โรงงาน เมื่อทำการสางใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นอ้อยต่อ 2 อ้อยมีความสูงเฉลี่ย 2.05 m มีอัตราการทำงานดังนี้

1. กรณีสางใบอ้อยเพื่อทำพันธุ์ เมื่อใช้ความเร็ว แทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ใน แนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 m s<sup>-1</sup> ทิศทางการหมุนของลูกตีใบ ทวนเข็มนาฬิกา ลำต้นอ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.45% และตา อ้อยเสียหายน้อยที่สุด 1.38% มีประสิทธิภาพการทำงาน สูงสุด 0.86 ไร่ต่อชั่วโมง โดยที่ช่วงความสูง 0-50 cm ใช้ duty cycle 80.56% รอบการหมุนของลูกตีใบ 680 rpm, 50-90 cm ใช้ duty cycle 75.56% รอบการหมุนของลูกตี ใบ 680 rpm, 90-180 cm ใช้ duty cycle 77.78% รอบการ หมุนของลูกตีใบ 700 rpm และมากกว่า 180 cm ขึ้นไปใช้ duty cycle 0% ทำให้ไม่มีการหมุนของลูกตีใบ เนื่องจาก เป็นใบเขียวรอการเจริญเติบโตต่อไป พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ เฉลี่ย 37.67 แอมป์ต่อชั่วโมง และมีอัตราการใช้น้ำมัน เชื้อเพลิงต่ำสุด 3.91 ลิตรต่อไร่ อ้อยมีความสะอาดเพียงพอ ให้แรงงานเข้าตัดทำพันธุ์ หรือถ้ายังไม่ตัด แสงแดด และ อากาศจะระบายได้ดีทำให้ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงขึ้น

2. กรณีสางใบอ้อยสำหรับอ้อยเข้าโรงงาน เนื่องจากไม่ สนใจความเสียหายของตา และลำอ้อย ดังนั้นใช้การหมุนของ ลูกตีใบ 700 rpm หมุนตามเข็มนาฬิกา ความเร็วรถ แทรกเตอร์ 2.09 km h<sup>-1</sup> และความเร็วเชิงเส้นของการ เคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีใบ 0.5 m s<sup>-1</sup> ใช้ duty cycle เฉลี่ย 79.53% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 38.12 แอมป์ต่อ ชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงาน 0.92 ไร่ต่อชั่วโมง และมี อัตราการใช้เชื้อเพลิง 4.04 ลิตรต่อไร่ อ้อยอายุ 6 เดือนยังไม่ สามารถเก็บเกี่ยวเข้าโรงงานได้ แต่ความสะอาดจากการสาง ใบก็เพียงพอสำหรับแสงแดดส่องผ่าน อากาศระบายได้ดีทำ ให้ปล้องอ้อยขยาย น้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาล สูงขึ้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังง่ายต่อเกษตรกรในการเข้า จัดการ และดูแลแปลง

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย. 2554. ผลกระทบของอ้อยไฟไหม้ต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ไทย. *วารสารสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย*, 15, มกราคม 2554, หน้า 47-50.
- [2] วิชัย โภภานุกุล สันธธา นาควัฒน์านุกูล ชัชชัย ชัยสัตตป กรณ์ คทาฐ จงสุขไวมงคล ตุ่นเฮ้า บาลทิพย์ ทองแดง และ ดนัย ศารทูลพิทักษ์ (2554). *รายงานการวิจัยเรื่องศึกษา สภาพพื้นที่เพาะปลูกและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย*, กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช. สถาบันวิจัยเกษตร วิศวกรรม กรมวิชาการเกษตรกรุงเทพมหานคร, หน้า 22 - 27.
- [3] กรมวิชาการเกษตร. 2555. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบ อ้อย. *เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร*, 14, กุมภาพันธ์ 2555, หน้า 27-33.
- [4] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการ เกษตร. 2549. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรม วิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. *วารสารกรม วิชาการเกษตร*, 3, มีนาคม 2549, หน้า 4-8.
- [5] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี กรมวิชาการ เกษตร. 2550. งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตรของกรม วิชาการเกษตรแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. *วารสารวิชาการ กรมวิชาการเกษตร*, 5, มีนาคม 2550, หน้า 12-15.
- [6] อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, ชุมพล คำสิงห์, นริศร ขจรผล, สุกรี นันตะสุนันท์ และสนธิ สมเหมาะ (2550). *รายงานการวิจัย เรื่องการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการ สางใบอ้อย*. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร, หน้า 16- 21.
- [7] สุวัฒน์ กุลธนปริดา (2550). *วิศวกรรมการควบคุมอัตโนมัติ*, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.