



การประเมินประสิทธิภาพรถตัดอ้อยในเขตภาคเหนือตอนล่าง

Performance Evaluation of Sugarcane Harvester in Lower North Region of Thailand

ปิยะรัตน์ จิตมัน¹, รัตนา การบุญบุญยานันท์^{1*}, อนูปงศ์ วงศ์ตามี²

Piyarat Jitmun¹, Rattana Karoonboonyanan^{1*}, Anupong Wongtamee²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 65000

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

²คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 65000

²Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

*Corresponding author: E-mail: rattanakar@nu.ac.th

บทคัดย่อ

รถตัดอ้อยมีบทบาทสำคัญในการลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) จากการเผาใบอ้อยและการขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยขนาดกลาง (MSH) (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) (251 และ 260 kW) ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดของรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับระยะห่างระหว่างแถวและขนาดความยาวของแถวอ้อย ทดสอบรถตัดอ้อย MSH2 Model และ LSH 2 Model ในแปลงอ้อยปลูก พันธุ์ขอนแก่น 3 ระยะห่างระหว่างแถว 1.72 m ความยาวแปลงเฉลี่ย 287.73 m ความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ แปลงย่อยละ 6 แถว พื้นที่เฉลี่ย 1.86 rai plot⁻¹ จำนวน 3 rep ณ อำเภอวังนาราย จังหวัดพิจิตร แปลงดินร่วน ที่ระดับความลึก 0-10 cm มีค่าความชื้นดินและความหนาแน่นมวลรวมของดินเฉลี่ย 13.72% d.b. และ 1.16 g cm⁻³ ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักของรถตัดอ้อย MSH และ LSH แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 1.06 และ 1.51 m s⁻¹ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักเฉลี่ย 35.14 และ 44.05 ton h⁻¹ ตามลำดับ รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา 83.04 และ 85.78% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าอีก 3 Model อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาวท่อนอ้อย 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่มีผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ท่อนอ้อยยาวจะมีปริมาณสิ่งเจือปนติดไปกับท่อนอ้อยมากกว่าท่อนอ้อยสั้น เนื่องจากเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนล่างส่วนใหญ่ปลูกอ้อยที่ระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m และเป็นเกษตรกรรายย่อย (น้อยกว่า 50 rai) ดังนั้น รถตัดอ้อยที่เหมาะสมสำหรับทำงานในแปลงอ้อยที่มีความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.73 m หรือสั้นกว่า ควรเลือกใช้รถตัดอ้อย MSH ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งระยะห่างระหว่างแถว 1.50 หรือ 1.72 m โดยที่ล้อรถตัดอ้อยไม่มีผลกระทบต้ออ้อย และมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 4 years

คำสำคัญ: รถตัดอ้อย, ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อย, ขนาดของรถตัดอ้อย

Abstract

Sugarcane harvesters play an important role in the reduction of atmospheric PM2.5 caused by the burning of sugarcane crops and the shortage of labor in sugarcane harvesting. This research aimed at the performance evaluation of two medium-size (MSH) (164 and 179 kW) and two large-size (LSH) (251 and 260 kW) sugarcane

Received: December 11, 2023

Revised: May 9, 2024

Accepted: May 9, 2024

Available online: August 9, 2024

harvester used in Lower North region of Thailand for decision making to select the size of sugarcane harvester suitable for row spacing and row length. Two MSHs and two LSHs were tested in a Khon Kaen-3 variety sugarcane field with the row spacing of 1.72 m, the average row length of 287.73 m, average yield of 10.93 ton rai⁻¹, 6 rows per each plot and average area of 1.86 rai plot⁻¹, 3 replications at Amphoe Bueng Na Rang, Phichit province. The average soil moisture and bulk density of the loam soil at the depth of 0-10 cm was 13.72% d.b. and 1.16 g cm⁻³, respectively. The results showed that the speed and field efficiency of MSH and LSH were significantly different. The average speeds of MSH and LSH were 1.06 and 1.51 m s⁻¹, while the average field capacities were 35.14 and 44.05 ton h⁻¹, respectively. The MSH2 was found to have field efficiency and time efficiency of 83.04 and 85.78%, respectively, which were significantly higher than the other 3 Models. The billet lengths between 17.2 to 25.0 cm were found insignificantly different on bulk density of billet, however, the longer billets were found having higher percentage of contamination than short billets. However, the farmers in the Lower North region mostly grow their sugarcane with the row spacing of 1.50 m and small farm size (less than 50 rai). The MSHs were suitable for the row length of 287.73 m or shorter and the row spacing of 1.50 or 1.72 m as the wheels would not damage the sugarcane stubble and the payback period was lower than 4 years.

Keywords: Sugarcane harvester, performance of sugarcane harvester, size of sugarcane harvester

1. บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกในปี 2566 จำนวน 11,398,823 ไร่ น้ำหนักอ้อยสด 113,024,061 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 9.9 ton rai⁻¹ และในเขตภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วยจังหวัดนครสวรรค์ กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ สุโขทัย พิษณุโลก อุตรดิตถ์ พิจิตรและตาก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 2.7 million ไร่ คิดเป็น 23.7% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งประเทศไทย, 2566) จากการเก็บข้อมูลของ ธนัชสัมพันธ์ และคณะ (2561) จาก 4 จังหวัดในเขตภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ พิษณุโลก สุโขทัย กำแพงเพชร และนครสวรรค์ พบว่ามีเกษตรกรรายย่อย (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยไม่เกิน 50 ไร่) จำนวน 47.8% เกษตรกรรายกลาง (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยตั้งแต่ 50-200 ไร่) จำนวน 41.1% และเกษตรกรรายใหญ่ (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยมากกว่า 200 ไร่) จำนวน 11.1% จะเห็นได้ว่าในเขตภาคเหนือตอนล่าง มีเกษตรกรรายย่อยมากที่สุด รองลงมาเป็นเกษตรกรรายกลาง โดยส่วนใหญ่ปลูกอ้อยที่ระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m ในการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยแรงงานคน จะนิยมเผาอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ซึ่งเป็นต้นเหตุของมลพิษทางอากาศและปัญหาด้านสุขภาพ (สิทธิพร และคณะ, 2564) ประกอบกับปัญหาขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อย และค่าจ้างแรงงานสูง (กรุงเทพมหานคร, 2564) ทำให้รถตัดอ้อยได้รับความนิยมมากขึ้น

เนื่องมาจากรถตัดอ้อยสามารถเก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและไม่ต้องเผาอ้อยก่อนทำการเก็บเกี่ยว ประเทศไทยมีรถตัดอ้อยใช้งานประมาณ 2,000-2,500 unit ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการในการเก็บเกี่ยวผลผลิต (บริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นจิเนียริง จำกัด, 2565) และรถตัดอ้อยส่วนใหญ่เป็นรถตัดอ้อยที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ชาติชาย, 2560) เนื่องจากสภาพพื้นที่ วิธีการปลูก และพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความเสียหายทั้งต่อรถตัดอ้อยและแปลงอ้อย ประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยจะขึ้นอยู่กับขนาดของรถตัดอ้อยและสภาพแปลง Shinzato et al. (2013) ได้ทำการทดสอบรถตัดอ้อยขนาดเล็ก (น้อยกว่า 95 kW) และรถตัดอ้อยขนาดกลาง (95-170 kW) ในแปลงดินเปียกซึ่งมีความชื้นดิน 43% และ 39% ตามลำดับ ในเมืองโอกินาวา พบว่ารถตัดอ้อยขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่ารถตัดอ้อยขนาดกลาง และสามารถทำงานในแปลงที่มีระยะห่างระหว่างแถวอ้อยแคบได้ (1.2-1.4 m) นอกจากขนาดของรถตัดอ้อยและสภาพแปลงแล้ว ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความหนาแน่นอ้อยในแปลง และจำนวนการเลี้ยวกลับหัวแปลง มีผลต่อความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ของรถตัดอ้อยด้วยเช่นกัน (Kaewkabthong and Udompetaikul, 2019) ในการตัดอ้อยแถวแรก ถ้ามีพื้นที่ว่างเพียงพอที่จะให้รถตัดอ้อยและรถบรรทุกสามารถเคลื่อนที่ทำงานคู่กันได้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลาและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Kaewkabthong and Udompetaikul, 2017) ในเขตภาคเหนือตอนล่างรถตัดอ้อยเป็นที่นิยมเช่นกัน แต่

ยังขาดข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ขนาดรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับระยะทางระหว่างแถวอ้อยและขนาดความยาวของแถวอ้อย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ข้อมูลรถตัดอ้อย

รถตัดอ้อยที่ทำการทดสอบเป็นแบบล้อยาง มีระบบลำเลียงอ้อยแบบต่อเนื่อง มีทั้งหมด 4 model โดยแบ่งเป็นรถขนาดกลาง (MSH) 2 model (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) 2 model (251 และ 260 kW) รุ่นละ 1 unit คนขับรถตัดอ้อยทั้ง 4 model มีประสบการณ์ในการขับรถตัดอ้อยไม่น้อยกว่า 4 year

2.2 สภาพแปลงอ้อยทดสอบ

พื้นที่ทดสอบ เป็นแปลงอ้อยปลูกของเกษตรกร ณ อำเภอวังนาราย จังหวัดพิจิตร ชนิดดินแปลงทดสอบเป็นดินร่วน (Loam soil) แปลงอ้อยปลูก พันธุ์ขอนแก่น 3 มีระยะทางระหว่างแถวเฉลี่ย 1.72 m ความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.73 m ปลูกแบบร่องคู่ เก็บเกี่ยวที่อายุอ้อย 10 month จากการประเมินน้ำหนักอ้อยต่อพื้นที่ประมาณ 12 ton rai⁻¹ เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูลจึงออกแบบขนาดแปลงย่อยให้รถตัดอ้อยสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้เต็มรถบรรทุก 1 unit plot⁻¹ จึงทำการแบ่งแปลงออกเป็นแปลงย่อยละ 6 row จำนวน 12 plot สำหรับทำการทดสอบรถตัดอ้อย 4 model รุ่นละ 3 replication

1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของดิน

ศึกษาหาความชื้นดินและความหนาแน่นมวลรวมของดินในแต่ละแปลงย่อยโดยเก็บตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งช่องว่างระหว่างแถวอ้อยที่ 3 และ 4 ห่างจากหัวแปลงประมาณ 50 m เพื่อหลีกเลี่ยงการอัดแน่นของดินที่เกิดจากการกลับรถที่หัวแปลง โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน เป็นวงแหวนทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.05 cm และสูง 5 cm เก็บดินที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-30 cm แปลงย่อยละ 1 point ชั่งน้ำหนักดินก่อนนำเข้าตู้อบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (OHAUS) ที่มีความละเอียด 0.01 g อบดินด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert model 30-1060) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 h (ASTM D2216-19, 2019) ชั่งน้ำหนักดินหลังอบ คำนวณหา

เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินแห้งและความหนาแน่นมวลรวมของดินแห้ง (Soil bulk density)

2) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอ้อย

สุ่มเก็บต้นอ้อยแปลงย่อยละ 4 plant โดยตัดต้นอ้อยชิดกับผิวดิน เก็บข้อมูลความสูงจากโคนถึงปลายใบด้วยตลับเมตร จากนั้นดึงใบออกจากลำทั้งหมดและหักอ้อยที่จุดหักธรรมชาติ วัดความยาวจากโคนถึงจุดหักธรรมชาติ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำอ้อยด้วยเวอเนียคาลิเปอร์ (Mitutoyo รุ่น 500-196-30) ที่ตำแหน่งโคนลำ กลางลำ และปลายลำ จากนั้นชั่งน้ำหนักลำอ้อยและใบอ้อยด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (Model SF-400) ที่มีความละเอียด 1 g

2.3 การทดสอบหาความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย

วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถตัดอ้อย (มอก.2773-2560) เริ่มต้นการทดสอบด้วยการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงให้เต็มถังบรรจุของรถตัดอ้อย จากนั้นเริ่มการทดสอบโดยจับเวลาขณะตัดอ้อยของแต่ละแถวจากจุดเริ่มต้นของแถวอ้อยจนถึงตำแหน่งสุดท้ายของแถวอ้อย บันทึกเป็นเวลาที่ใช้ในการตัดอ้อย และจับเวลาที่ใช้ในการเอาอ้อยออกจากสายพานลำเลียงและกลับรถ บันทึกเป็นเวลาที่สูญเสีย เมื่อทดสอบเสร็จแต่ละแปลงย่อย เติมน้ำมันให้เต็มถังบรรจุอีกครั้ง บันทึกปริมาณน้ำมันที่ใช้ วัดขนาดพื้นที่แปลงที่ตัดอ้อยและชั่งน้ำหนักอ้อยที่ตัดได้ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของโรงงานน้ำตาล คำนวณหาความหนาแน่นของอ้อยต่อพื้นที่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนัก ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา รายละเอียดสมการที่ใช้ในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

$$C_{th} = W \times S \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ rai}}{1600 \text{ m}^2} \quad (1)$$

เมื่อ C_{th} คือ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (rai h⁻¹)

W คือ ระยะทางระหว่างแถวอ้อย (m)

S คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย (m s⁻¹)

$$C_a = \frac{A}{T_t} \quad (2)$$

เมื่อ C_a คือ ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (rai h⁻¹)

A คือ พื้นที่ทำการตัดอ้อย (rai)

T_t คือ เวลารวมทั้งหมดที่รถตัดอ้อยทำงาน (h)

$$C_m = \frac{M}{T_t} \quad (3)$$

เมื่อ C_m คือ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนัก (ton h⁻¹)

M คือ มวลของอ้อยที่เก็บเกี่ยว (ton)

$$C_{myear} = C_m \times H_d \times D_{year} \quad (4)$$

เมื่อ C_{myear} คือ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี (ton year⁻¹)

H_d คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (h d⁻¹)

D_{year} คือ จำนวนวันในการทำงานต่อปี (d year⁻¹)

$$E_a = \frac{C_a}{C_{th}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ E_a คือ ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (%)

$$E_t = \frac{T_w}{T_t} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ E_t คือ ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา (%)

T_w คือ เวลาที่ใช้ในการตัดอ้อย (h)

2.4 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อย

สุ่มอ้อยจากรถบรรทุกมาใส่กล่องขนาด 1.0×1.0×0.5 m ใส่ให้เต็มกล่อง และนำออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อย จากนั้นทำการสุ่มอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้ว นำมาแยกชั่งน้ำหนักท่อนอ้อย ใบอ้อย ยอดอ้อยและดิน เพื่อประเมินหาร้อยละสิ่งเจือปนจากการตัดอ้อย และเก็บข้อมูลความยาวท่อนอ้อยจำนวน 20 ท่อน หาค่าเฉลี่ยความยาวท่อนอ้อย

2.5 การสูญเสียอ้อยในแปลง

การสูญเสียอ้อยในแปลง คือปริมาณท่อนอ้อยที่ตกจากรถตัดอ้อย โดยต้องไม่เกิน 3% ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กรอบขนาด 3×3 m (มอก.2773-2560) วางคร่อมกึ่งกลางแถวอ้อยแถวที่ 3 ของแปลงย่อย เก็บท่อนอ้อยไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละท่อนอ้อยที่สูญเสีย

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจใน

การเลือกใช้ขนาดของรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับปริมาณของอ้อยที่ต้องการตัดต่อปี รายละเอียดสมการที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht year⁻¹) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นไม่ว่ารถตัดอ้อยจะทำงานหรือไม่

$$\text{ค่าใช้จ่ายคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ค่าดอกเบี้ยเงินกู้} \quad (7)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{(P-S)}{L} \quad (8)$$

เมื่อ P คือ ราคาซื้อรถตัดอ้อย (Baht)

S คือ ราคาขายซากของรถตัดอ้อย (Baht) โดยทั่วไปคิดที่ 10% ของราคาซื้อ

L คือ อายุการใช้งานของรถตัดอ้อย (year)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยเงินกู้} = \frac{(P+S)}{2} \times \frac{i}{100} \quad (9)$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ย (% year⁻¹)

การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่เชิงน้ำหนัก (Baht ton⁻¹) สามารถคำนวณได้จากค่าใช้จ่ายคงที่ (สมการที่ 7) หารด้วยความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี (สมการที่ 4)

2) ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Baht ton⁻¹) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อรถตัดอ้อยทำงาน เป็นผลรวมของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Baht ton⁻¹) ค่าบำรุงรักษา (Baht ton⁻¹) และค่าจ้างคนขับรถตัดอ้อย (Baht ton⁻¹)

3) ค่าใช้จ่ายรวม (Baht ton⁻¹) คือผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht ton⁻¹) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Baht ton⁻¹)

4) กำไร (Baht ton⁻¹) คือ ผลต่างระหว่างอัตราค่าบริการในการตัดอ้อย (Baht ton⁻¹) กับค่าใช้จ่ายรวม (Baht ton⁻¹)

5) การใช้งานคุ้มทุน (ton year⁻¹) คือ ปริมาณอ้อยต่ำสุดที่ต้องตัดได้ต่อปี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\text{การใช้งานคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{(\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายแปรผัน})} \quad (10)$$

6) จุดคืนทุน (ton) คือ ปริมาณอ้อยที่ต้องตัดได้ตลอดอายุการใช้งานของรถตัดอ้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$\text{จุดคืนทุน} = \frac{\text{ราคาซื้อรถตัดอ้อย}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อตัน}} \quad (11)$$

7) ระยะเวลาการคืนทุน (year⁻¹) คือ ระยะเวลาในการทำงานที่มีกำไรรวมสุทธิเท่ากับราคาซื้อรถตัดอ้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ราคาซื้อรถตัดอ้อย}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (12)$$

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับความชื้นดิน ความหนาแน่นมวลรวมของดิน ลักษณะทางกายภาพของอ้อย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อย ความสะอาดท่อนอ้อยและการสูญเสียท่อนอ้อย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ด้วยวิธี Fisher's least significant difference (LSD)

Table 1 Specifications of sugarcane harvesters.

Specifications	Model			
	MSH1	MSH2	LSH1	LSH2
Engine power (kW)	179	164	251	260
Fuel tank (L)	400	200	605	400
Mass (kg)	10,870	9,150	17,070	16,850
Front wheel diameter (m)	0.780	0.710	0.940	0.875
Rear wheel diameter (m)	1.247	1.321	1.612	1.612
Front wheel width (m)	0.26	0.21	0.33	0.41
Rear wheel width (m)	0.54	0.51	0.63	0.64
Front outer dimension (m)	2.080	1.875	2.610	2.410
Rear outer dimension (m)	2.270	2.130	2.490	2.510
Wheelbase (m)	2.260	2.290	2.650	2.525

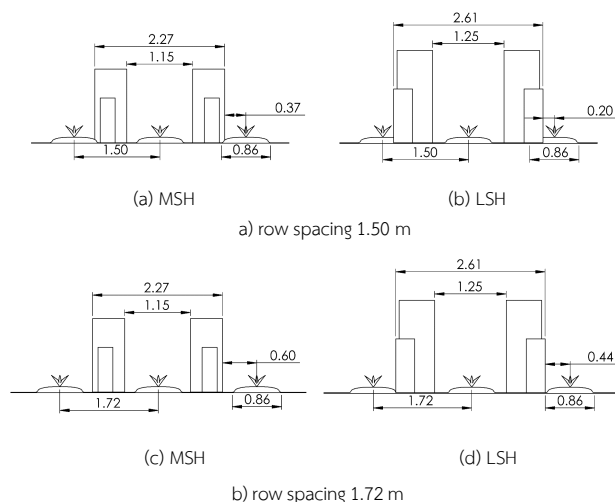


Figure 1 Comparison of LSH and MSH with 1.50 and 1.72 m row spacing.

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลรถตัดอ้อย

ข้อมูลรถตัดอ้อยที่ใช้ในการทดสอบแสดงรายละเอียดดัง Table 1 พบว่ารถตัดอ้อย LSH มีต้นกำลังเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหน้าเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหลังเฉลี่ย ระยะกว้างสุดที่ล้อหน้า ระยะกว้างสุดที่ล้อหลัง และความยาวระหว่างเพลาล้อหน้า-หลังเฉลี่ย 1.49, 1.22, 1.26, 1.27, 1.14 และ 1.14 เท่าของรถตัดอ้อย MSH ตามลำดับ ในขณะที่รถตัดอ้อย LSH มีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.69 เท่า

จาก Figure 1 เมื่อพิจารณาความกว้างของรถตัดอ้อย MSH และ LSH พบว่า รถตัดอ้อย MSH และ LSH สามารถทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.72 m ได้ แต่เมื่อต้องทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m พบว่าล้อรถตัดอ้อย MSH และ LSH จะมีระยะห่างจากแถวตออ้อย 0.37 และ 0.20 m ตามลำดับ ซึ่งรถตัดอ้อย LSH มีโอกาสที่จะเหยียบแถวตออ้อยและส่งผลให้ตออ้อยเกิดความเสียหายได้มากกว่ารถตัดอ้อย MSH ขณะเก็บเกี่ยว

3.2 สภาพแปลงอ้อยทดสอบ

1) ลักษณะทางกายภาพของดิน

แปลงอ้อยที่ทำการทดสอบเป็นดินร่วน (Loam soil) ที่ระดับความลึกดิน 0-10 cm มีค่าเฉลี่ยความชื้นดินและค่าความหนาแน่นมวลรวมของดินเฉลี่ย 13.72% d.b. และ 1.16 g cm^{-3}

ตามลำดับ และพบว่า ความหนาแน่นมวลรวมของดินที่ระดับความลึก 0-10 cm มีค่าน้อยกว่าที่ระดับความลึก 10-20 และ 20-30 cm (Table 2) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้เครื่องมือพรวนดินและใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 0-10 cm ส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นมวลรวมน้อยกว่าระดับความลึก 10-20 และ 20-30 cm

Table 2 Moisture content and bulk density of soil.

Soil depth (cm)	Moisture content (% d.b.)	Bulk density (g cm ⁻³)
0-10	13.72±2.84	1.16±0.09b
10-20	14.40±2.65	1.31±0.10a
20-30	13.47±2.71	1.33±0.08a
p-value	>0.05	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at p≤0.05 by LSD.

Table 3 Physical properties of sugarcane Khon Kaen-3 variety.

Model	Height (m)		Diameter (mm)			Mass (kg)		
	Ground to natural breaking point		Base	Middle	Top	Stalk	leaf	Total
		Ground to top of leaf						
MSH1	2.50±0.27	4.04±0.29	27.97±3.42ab	27.16±3.28	32.58±2.62	1.66±0.42	0.33±0.06	1.99±0.46
MSH2	2.53±0.20	3.92±0.28	25.94±4.02b	27.88±2.68	31.93±2.84	1.66±0.29	0.31±0.08	1.97±0.34
LSH1	2.52±0.34	4.10±0.34	29.04±3.58a	28.55±3.15	31.75±4.30	1.89±0.64	0.34±0.01	2.23±0.70
LSH2	2.43±0.36	3.96±0.39	26.36±2.98ab	28.23±4.08	32.44±3.14	1.66±0.40	0.31±0.01	1.97±0.44
Avg.	2.49±0.29	4.01±0.32	27.33±3.63	27.96±3.27	32.18±3.20	1.72±0.45	0.32±0.08	2.04±0.50
p-value	>0.05	>0.05	<0.05*	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at p≤0.05 by LSD.

2) ลักษณะทางกายภาพของอ้อย

ต้นอ้อยมีความสูงเฉลี่ยจากโคนต้นถึงจุดหักธรรมชาติ และโคนถึงปลายใบ 2.49 และ 4.01 m ตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่โคนลำ กลางลำและปลายลำ 27.33 27.96 และ 32.18 mm ตามลำดับ น้ำหนักต้นอ้อยเฉลี่ย 2.04 kg โดยเป็นน้ำหนักใบอ้อยเฉลี่ย 15.69% (Table 3)

Table 4 Performance of sugarcane harvesters.

Model	Yield (ton rai ⁻¹)	Speed (m s ⁻¹)	Effective field capacity (rai h ⁻¹)	Theoretical field capacity (rai h ⁻¹)	Field efficiency (%)	Field capacity (ton h ⁻¹)	Fuel consumption (L ton ⁻¹)
MSH1	11.92±0.46a	1.07±0.09b	3.01±0.19c	4.14±0.36b	72.86±3.49b	35.81±0.87b	1.74±0.49ab
MSH2	10.62±0.45b	1.04±0.13b	3.14±0.05c	4.05±0.51b	83.04±7.11a	34.22±0.50b	1.16±0.06bc
LSH1	9.84±0.85b	1.53±0.12a	4.39±0.22a	5.93±0.46a	74.14±2.18b	43.33±5.90ab	0.96±0.09c
LSH2	11.34±0.58ab	1.49±0.14a	3.94±0.28b	5.77±0.55a	68.41±2.49b	44.82±5.24a	1.94±0.29a
p-value	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.3 ความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย

จากผลการศึกษาใน Table 4 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักของรถตัดอ้อย MSH และ LSH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 1.06 และ 1.51 m s⁻¹ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีเฉลี่ย 4.09 และ 5.85 rai h⁻¹ และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักเฉลี่ย 35.17 และ 44.08 ton h⁻¹ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารถตัดอ้อย LSH ซึ่งมีขนาดต้นกำลังมากกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.49 เท่า ส่งผลให้สามารถเคลื่อนที่ตัดอ้อยได้เร็วกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.43 เท่า และมีความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักสูงกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.25 เท่า ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของรถตัดอ้อย

สำหรับความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่พบว่า รถตัดอ้อย MSH มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 3.06 rai h⁻¹ ซึ่งต่ำกว่ารถตัดอ้อย LSH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ารถตัดอ้อย

LSH1 มีความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่มากกว่ารถตัดอ้อย LSH2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของอ้อยในแปลง LSH1 น้อยกว่าแปลง LSH2 ส่งผลให้รถตัดอ้อย LSH1 เคลื่อนที่ตัดอ้อยได้เร็วกว่ารถตัดอ้อย LSH2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewkabthong and Udompetaikul (2019) ที่ความหนาแน่นอ้อยมีผลต่อความสามารถในการทำงาน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (Table 4 และ 5) พบว่า รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลาเฉลี่ย 83.04 และ 85.78% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ารถตัดอ้อย MSH1 และรถตัดอ้อย LSH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาเวลาที่สูญเสียซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการเอาอ้อยออกจากสายพานลำเลียงและกลับรถ พบว่า เวลาที่สูญเสีย ไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของรถตัดอ้อย

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา พบว่า รถตัดอ้อย MSH2 มีความเหมาะสมกับการทำงานในแปลงที่มีความยาวเฉลี่ย 287.73 m

Table 5 Time efficiency of sugarcane harvesters.

Model	Average length of row (m)	Area (rai)	Harvesting time (min)	Loss time (min)	Total time (min)	Time efficiency (%)
MSH1	290.66±1.95a	1.88±0.01a	28.39±1.90a	9.11±0.41a	37.51±2.31a	75.69±0.40b
MSH2	292.62±8.53a	1.89±0.06a	30.17±2.76a	5.19±1.58b	36.64±0.77a	85.78±4.60a
LSH1	278.94±1.95b	1.80±0.01b	18.83±1.66b	5.80±0.62b	24.63±1.04c	76.35±3.57b
LSH2	288.70±5.17a	1.86±0.03a	20.76±1.62b	7.68±0.54a	28.43±1.70b	72.96±2.11b
p-value	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.4 ประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อย

จาก Table 6 พบว่า รถตัดอ้อย LSH มีความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยต่ำกว่าท่อนอ้อยจากรถตัดอ้อย MSH และพบว่าความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยระหว่าง 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยเฉลี่ย 438.93 kg m^{-3}

Table 6 Billet length and bulk density.

Model	Billet length (cm)	Bulk density of billet (kg m^{-3})
MSH1	25.0±1.9a	430.74±2.77
MSH2	22.5±2.0b	428.89±8.05
LSH1	19.3±3.4c	449.05±7.76
LSH2	17.2±1.5d	447.04±10.41
p-value	<0.05*	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

Table 7 Composition of the collected materials from harvesters.

Model	Leaf (%)	Top (%)	Soil (%)	Trash (%)	Billet (%)
MSH1	2.60±0.38a	15.95±0.85	0.88±0.46a	19.43±1.15	80.57±1.15
MSH2	1.73±0.42b	15.99±1.94	0.36±0.11b	18.08±2.42	81.92±2.42
LSH1	1.43±0.11b	17.94±2.52	0.19±0.09b	19.56±2.52	80.44±2.52
LHS2	1.72±0.23b	13.33±4.16	0.83±0.08a	15.88±4.34	84.12±4.34
p-value	<0.05*	>0.05	<0.05*	>0.05	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.5 การสูญเสียอ้อยในแปลง

จากข้อมูลการสูญเสียอ้อยในแปลง (Table 8) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้ง 4 Model คือ สูญเสียไม่เกิน 3% โดยรถตัดอ้อย MSH และ LSH มีการสูญเสียเฉลี่ย 1.34 และ 2.02% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการสูญเสียอ้อยในแปลงกับปริมาณสิ่งเจือปนจากการตัดอ้อยด้วยรถตัดพบว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันต่อกัน กล่าวคือ สิ่งเจือปนจากใบอ้อยน้อยการสูญเสียท่อนอ้อยในแปลงจะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความเร็วลมของพัดลมทำความสะอาด เมื่อพัดลมทำความสะอาดมีความเร็วลมสูง ส่งผลให้สามารถเป่าใบอ้อยออกได้มาก ในขณะที่เดียวกันท่อนอ้อยที่มีขนาดสั้นจะมีโอกาสถูกพัดออกไปได้ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wang (2018) เมื่อความเร็วพัดลมเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสิ่งเจือปนจะลดลงแต่การสูญเสียท่อนอ้อยจะมากขึ้น

สิ่งเจือปนจากการตัดอ้อยด้วยรถตัดทั้ง 4 Model (Table 7) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีสิ่งเจือปนรวมเฉลี่ย 18.24% เมื่อพิจารณาจากปริมาณสิ่งเจือปนทั้งหมดพบว่า เป็นสิ่งเจือปนจากยอดอ้อย 86.65% ในกรณีของสิ่งเจือปนจากใบอ้อย พบว่า รถตัดอ้อย MSH1 มีสิ่งเจือปนจากใบอ้อยสูงสุดคือ 2.60% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรถตัดอ้อยอีก 3 Model ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความยาวของท่อนอ้อย ท่อนอ้อยยาวส่งผลให้ใบหลุดจากท่อนอ้อยได้ยาก สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Wang F. el. al. (2018) ที่ความยาวของท่อนอ้อยส่งผลต่อความสะอาดของอ้อย สำหรับสิ่งเจือปนที่เป็นดิน พบว่า รถตัดอ้อย MSH1 และ LSH2 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการสังเกตขณะทำการทดสอบพบว่า คนขับรถตัดอ้อย LSH2 จะตัดอ้อยชิดผิวดิน ทำให้มีฝุ่นฟุ้งกระจายส่งผลให้ผิวดินติดมากับท่อนอ้อยมากขึ้น สำหรับกรณีรถตัดอ้อย MSH1 ซึ่งมีปริมาณใบอ้อยสูงกว่ารถตัดอ้อยรุ่นอื่น ส่งผลให้มีเศษดินติดไปกับใบอ้อยได้มากกว่า

Table 8 Billet lost in field.

Model	Billet lost (%)
MSH1	1.04±0.21b
MSH2	1.82±0.96ab
LSH1	2.24±0.43a
LSH2	1.79±0.62ab
p-value	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

Table 9 Economic analysis of sugarcane harvesters.

Parameter	Model			
	MSH1	MSH2	LSH1	LSH2
Purchase price (P) (Baht)	8,000,000	8,000,000	13,000,000	12,000,000
Life (year)	10	10	10	10
Interest rate (%)	7	7	7	7
Operating hour (h day ⁻¹)	8	8	8	8
Operating date (day)	90	90	90	90
R&M price (Baht year ⁻¹)	170,000	170,000	200,000	200,000
Fuel price (Baht L ⁻¹)	31.00	31.00	31.00	31.00
Fixed cost (Baht ton ⁻¹)	39.87	41.73	53.55	47.78
Variable cost (Baht ton ⁻¹)	71.53	53.86	47.17	77.34
Total cost (Baht ton ⁻¹)	111.41	95.59	100.72	125.12
Sugarcane Harvester fee (Baht ton ⁻¹)	190.00	190.00	190.00	190.00
Break-even point (ton year ⁻¹)	8,678	7,551	11,696	13,687
Return on investment (ton)	101,788	84,733	145,611	184,943
Payback period (year)	3.95	3.44	4.67	5.73

3.6 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในเขตภาคเหนือตอนล่างมีอัตราค่าจ้างคนขับรถตัดอ้อย 11 Baht ton⁻¹ และใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบในแปลงอ้อยที่มีความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ และแปลงอ้อยมีความยาวเฉลี่ย 287.73 m ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 9 พบว่ารถตัดอ้อย MSH1 MSH2 LSH1 และ LSH2 มีจุดคืนทุนที่ 8,678 7,551 11,696 และ 13,687 ton year⁻¹ ตามลำดับ และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 3.95 3.44 4.67 และ 5.73 ปี ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารถตัดอ้อย MSH มีจุดคืนทุนและระยะเวลาคืนทุนที่น้อยกว่ารถตัดอ้อย LSH

4. สรุป

การศึกษาเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของรถตัดอ้อยขนาดกลาง (MSH) (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) (251 และ 260 kW) ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ในแปลงอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ พบว่า รถตัดอ้อย LSH มีความเร็วในการเคลื่อนที่และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักมากกว่ารถตัดอ้อย MSH ในขณะที่รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลามากกว่ารถตัดอ้อยอีก 3

Model ในการเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงอ้อยที่มีความยาวเฉลี่ย 287.73 m และพบว่า ความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยระหว่าง 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่มีผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีผลต่อปริมาณสิ่งเจือปนที่ติดไปกับท่อนอ้อย ท่อนอ้อยที่ยาวจะมีใบอ้อยติดไปกับท่อนอ้อยได้มากกว่าท่อนอ้อยที่สั้น

รถตัดอ้อย MSH มีความเหมาะสมในการใช้งานกับแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 และ 1.72 m ซึ่งสามารถทำงานในแปลงอ้อยของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนล่างที่มีระยะห่างระหว่างแถวเฉลี่ย 1.50 m ได้โดยไม่มีผลกระทบต่ออ้อย แต่รถตัดอ้อย LSH มีโอกาสเหยียบแถวอ้อยมากกว่าเมื่อต้องทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m

การใช้เลือกใช้รถตัดอ้อยเพื่อทำงานในแปลงอ้อยที่มีความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.33 m หรือสั้นกว่า ควรเลือกใช้รถตัดอ้อย MSH ซึ่งมีจุดคืนทุนและระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่ารถตัดอ้อย LSH

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากบริษัท น้ำตาลพิษณุโลก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์รถตัดอ้อย และจัดหาพื้นที่ทำการทดสอบรถตัดอ้อยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

กรุงเทพธุรกิจ. 2564. สมาคมชาวไร่อ้อย ร้องขอรับคนต่างด้าว
แก้วิกฤตขาดแคลนแรงงาน. แหล่งข้อมูล: <https://www.bangkokbiznews.com/news/984815>. เข้าถึงเมื่อ 17
เมษายน 2567.

ชาติชาย ศิริพัฒน์. 2560. SD Tech รถตัดอ้อยไทยทำ.
แหล่งข้อมูล: <https://www.thairath.co.th/>. เข้าถึงเมื่อ 9
พฤศจิกายน 2566.

ธนัชสิทธิ์ พูน, ไพบุลย์ พิพัฒน์, วิภา หอมหวล, วันวิสาข์ ปั่นศักดิ์
, อนุพงศ์ วงศ์ตามี. 2561. การประเมินการผลิตอ้อยและการ
ใช้เครื่องจักรกลพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง. รายงานการวิจัย.
กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

บริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นจิเนียริง จำกัด. 2565. ตัดอ้อยสดด้วยรถ
ตัดอ้อย ลดฝุ่น PM2.5 เพิ่มมูลค่าผลผลิต. แหล่งข้อมูล
<https://thaia.co.th/2022/11/30/ตัดอ้อยสดด้วยรถตัดอ้อย>. เข้าถึงเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2566.

มอก.2773-2560. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถตัดอ้อย
กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งประเทศไทย.
2566. รายงานการผลิตอ้อยของประเทศไทยประจำปีการ
ผลิต 2565/66.

สิทธิพร เกษจ้อย, วรชาติ ทะสา, สัจจารักษ์ ไร่สงวน, สุดาทิพย์
เกษจ้อย. 2564. ผลกระทบจากการเผาใบอ้อยที่ก่อให้เกิด
มลพิษ PM 2.5 ตำบลในเมือง อำเภอเวียงเก่า จังหวัด
ขอนแก่น. Journal of Buddhist Education and
Research 7(1), 16-25.

ASTM D2216-19. 2019. Standard test methods for
laboratory determination of water (moisture)
content of soil and rock by mass. American Society
for Testing and Materials.

Kaewkabthong, A., Udompetaiku, V. 2017. Influences of
the field accessibility to the performance of
mechanical sugarcane harvesting. The 10th TSAE
international conference: TSAE 2017, 4-7.
Nonthaburi: IMPACT Exhibition Center. 7-9
September 2017, Bangkok.

Kaewkabthong, A., Udompetaiku, V. 2019.
Determination of field capacity for the sugarcane

harvester using GNSS data. IOP Conference Series:
Earth Environment Science, 301 012016.

Shinzato, Y., Uehara, K., Ueno, M. 2013. Performance of
sugarcane harvesters in Okinawa. Proceedings of the
International Society of Sugar Cane Technologists,
28.

Wang, F., Yang, G., Ke, W., Ma, S. 2018. Effect of
sugarcane chopper harvester extractor parameters
on impurity removal and cane losses. IFAC-
PapersOnLine 51-17, 292-297.