



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index>

บทความวิจัย

การออกแบบพัฒนาชุดต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่ ขลดดา ยอดยิ่ง¹ สมสุข ไตรศุภกิตติ^{2*} ลุติณี ลีอนิ³ และ กันตพงษ์ แซ่โล⁴

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

³คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

⁴ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 พฤษภาคม 2566

แก้ไข: 22 มิถุนายน 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 29 มิถุนายน 2566

ตีพิมพ์ออนไลน์: 8 สิงหาคม 2566

คำสำคัญ

ยางพารา

ไม้ยางพารา

เชื้อเพลิงไม้ยางพารา

เครื่องสับไม้

ระบบสับย่อยไม้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่ ลักษณะชุดใบมีดสับเป็นระบบสับย่อยไม้แบบกรงกระรอก พร้อมทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ได้แก่ ความเร็วรอบการสับ 4 ระดับ คือ 1000 2000 3000 และ 4000 รอบต่อนาที (คิดเป็นความเร็วเชิงเส้นที่ 20.90 41.90 62.80 และ 83.70 เมตรต่อวินาที) ตามลำดับ ทำการทดสอบกับเศษไม้ยางพาราที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งและเหลือทิ้งในแปลง บันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพบางประการของไม้ยางพารา ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 4.41 ± 0.53 เซนติเมตร ที่ความชื้นไม้ 30.00 ± 1.76 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดอยู่ที่ 94.52 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความสามารถในการทำงานของเครื่องสูงสุดเท่ากับ 3.51 ต้นต่อชั่วโมง (เฉลี่ยที่ 2.65 ต้นต่อชั่วโมง) มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ 28.33 บาทต่อตัน (น้ำมันดีเซลราคา 32.94 บาทต่อลิตร) ได้ไม้ยางพาราสับที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาดแบบตะแกรง (Sieve analysis) เท่ากับ 4.03 ± 1.01 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นข้อมูลการทดสอบของปัจจัยความเร็วรอบการสับที่เหมาะสมของเครื่องที่ 3000 รอบต่อนาที เหมาะแก่การจัดการเศษไม้จากการร่วงหล่นหรือตัดแต่งกิ่งของไม้ยางพาราในสวนยางพารา ทำงานควบคู่กับรถบรรทุก เพื่อบรรจุและขนย้ายไปยังโรงงานที่ต้องการเชื้อเพลิงจากไม้ยางพาราได้อย่างทันห่วงที่

บทนำ

ยางพารา เป็นอุตสาหกรรมสำคัญในประเทศไทยและมีการเพาะปลูกมากมายในหลายพื้นที่ของประเทศ ตามรายงานของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ปี 2564 จำนวนพื้นที่สวนยางพาราในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 3.45 ล้านไร่ โดยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ของประเทศ เช่น จังหวัดสงขลา ยะลา นราธิวาส และสตูล อีกทั้งยังมีการเพาะปลูกสวนยางพาราในภาคกลางและภาคเหนือของประเทศเช่นกัน (Office of Agricultural Economics, 2021) โดยมีแผนที่จะปลูกยางพาราในประเทศไทย ดังแสดงใน Figure 1 (Wongsapai et al, 2020)

การเพาะปลูกยางพารายังเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการส่งออกสินค้าของประเทศไทย โดยมีการส่งออกยางพาราไปยังหลายประเทศเช่น จีน มาเลเซีย อินเดีย และสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยประมาณ 4.39 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 93,590 ล้านบาท โดยมีประเทศจีนเป็นประเทศที่เป็นต้นสำคัญที่รับซื้อยางพาราจากประเทศไทย ซึ่งมีส่วนร่วมของปริมาณการส่งออกของยางพาราไปยังประเทศจีนประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมด (Department of International Trade Promotion, 2021)

โดยมีการคาดการณ์การเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารามีแนวโน้มที่สูงขึ้นในอนาคต ดังแสดงใน Figure 2 (SCB Economic Intelligence Center, 2016)

การเพาะปลูกสวนยางพาราในประเทศไทยมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของยางพารา พร้อมทั้งยังมีการพัฒนาสายพันธุ์ยางพาราใหม่ที่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืชสูง และมีประสิทธิภาพการผลิตที่สูงกว่าสายพันธุ์เดิม (Kanchana et al., 2022; Rubber Authority of Thailand, 2020) นอกจากนี้ยังมีการตัดแต่งกิ่งต้นยางพารา ซึ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่สำคัญในการจัดการสวนยางพารา เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยางพารา โดยการตัดแต่งกิ่งจะช่วยให้ต้นยางพาราสามารถสร้างยางได้มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีการไหลของน้ำมากขึ้น การตัดแต่งกิ่งต้นยางพารามีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ 1) วางแผนการตัดแต่ง การวางแผนการตัดแต่งเป็นการจัดทำแผนที่การตัดแต่งในแต่ละสวน โดยคำนึงถึงสภาพอากาศ การเปลี่ยนแปลงในปีก่อนหน้า และสภาพต้นยางพาราเอง เพื่อให้การตัดแต่งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ 2) การตัดแต่ง การตัดแต่งจะเริ่มต้นจากการตัดกิ่งที่ไม่สมบูรณ์และที่มี

*Corresponding author

E-mail address: somskrumu@gmail.com (S. Trisupakitti)

Online print: 8 August 2023 Copyright © 2023. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2023.21>

อาการเสียหาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นยางพาราสามารถสร้างน้ำยางได้มากขึ้น โดยมีการตัดกิ่งเล็ก ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 เซนติเมตร และกิ่งใหญ่ ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 3 เซนติเมตร ไม่นิยมต้นยางลงมาตัดแต่ง เพราะจะทำให้เปลือกแตกจนน้ำยางไหลหรือหักได้ และ 3) การดูแลหลังตัดแต่ง หลังการตัดแต่งเสร็จสิ้น จะต้องมีการเก็บกิ่งที่ถูกตัดแต่งออกมาและนำไปทำลายหรือใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยที่ไม่เก็บไว้ในสวน เพราะจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสวน นอกจากนี้ยังต้องมีการดูแลรักษาต้นยางพาราโดยการตัดแต่งที่เหมาะสม เพื่อให้ต้นยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์และส่งผลผลิตที่มากขึ้น (Palm rubber, 2022; Somboonsuk & Pittayaphinan, 2021; SPICA, 2023) จากกิจกรรมดังกล่าว พบว่า เมื่อหลังการตัดแต่งกิ่งยางพาราแล้วจะมีส่วนของกิ่งก้าน และปลายยอดที่มีความยาวประมาณ 90-100 เซนติเมตร และ

เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 เซนติเมตร เหลืออยู่ในพื้นที่สวนยางพารา โดยปกติจะถูกทิ้งไว้รอวันย่อยสลายหรือทำการไถกลบเนื่องจากยุ่งยากต่อการขนย้ายและมีปริมาณมาก ซึ่งไม่ต่ำกว่า 2-3 ตันต่อไร่

การใช้เชื้อเพลิงจากไม้ เป็นวิธีหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับไม้ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้การผลิตมีประสิทธิภาพและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017) โดยมีคุณลักษณะทางเคมีความร้อนของไม้ยางพารา เมื่อเทียบกับไม้สับโดยทั่วไป ที่มีการใช้งานในการผลิตไฟฟ้าในโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ดังแสดงใน Table 1 (Kongto et al., 2021; Nam et al., 2020; Sarker & Nielsen, 2014; Shi et al., 2016)

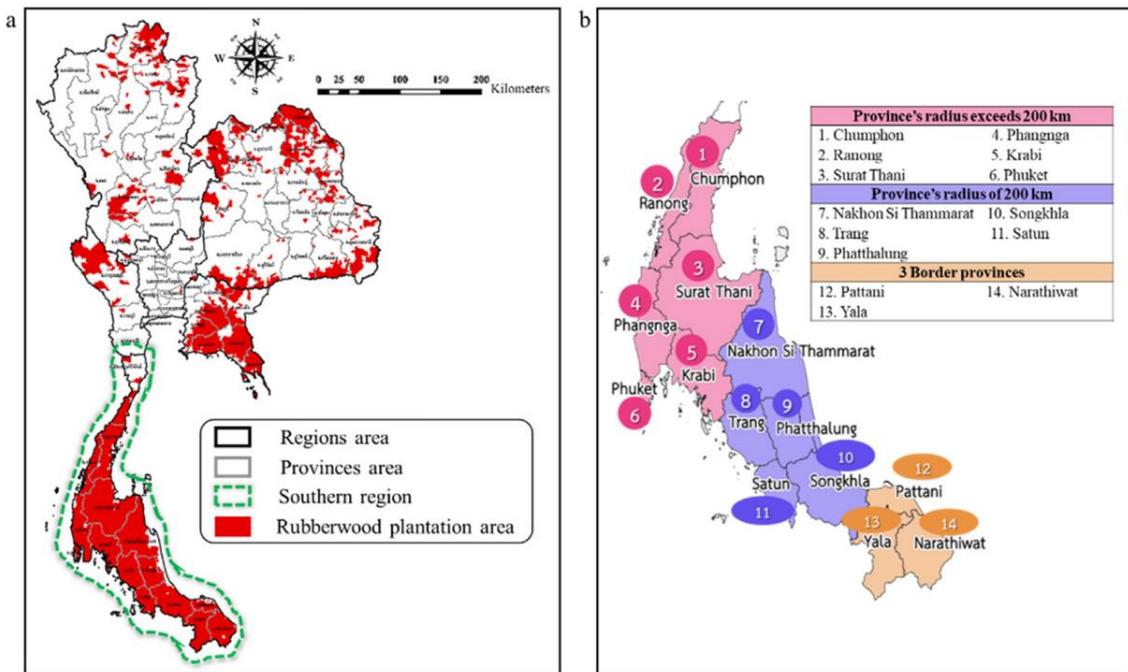


Figure 1 (a) Map of rubber cultivation in Thailand and (b) cultivation radius in the south.

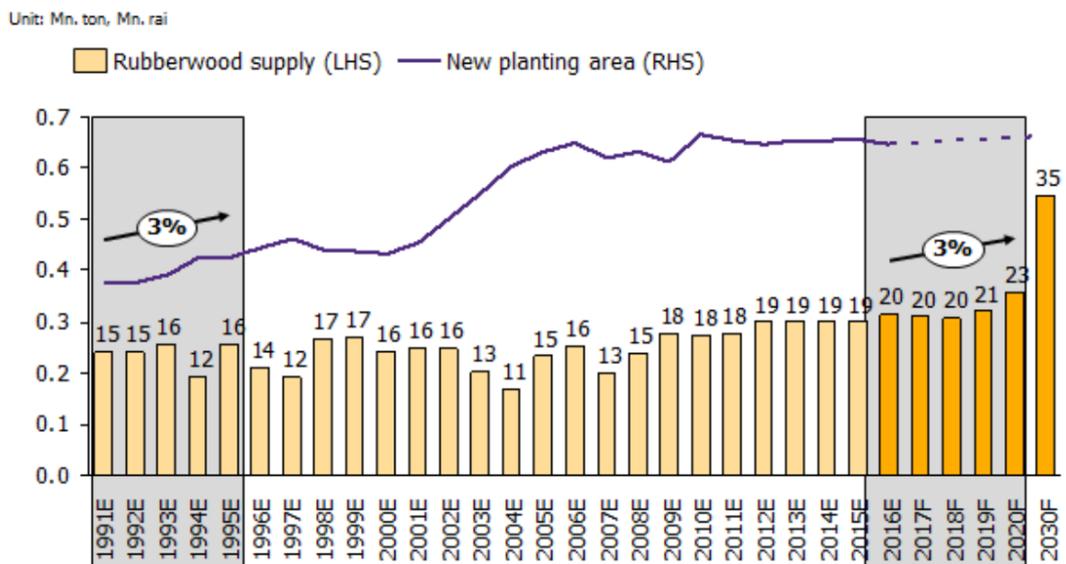


Figure 2 Expected trends in the production of rubber wood.

Table 1 Proximate and ultimate analysis of rubber wood and wood chips

Characterization	Rubber wood	Woodchip
Proximate Analysis		
Moisture	10-12 %	20-50 %
Volatile matter	78-80 %	70-85 %
Fixed carbon	17-19 %	2-12 %
Ash	0.5-1.5 %	0.5-5.0 %
Heating value	4,200-4,500 kcal/kg	3,000-8,500 kcal/kg
Ultimate analysis		
Carbon	49.5-51.5 %	45-50 %
Hydrogen	5.5-6.5 %	5-7 %
Nitrogen	0.2-0.3 %	0.1-0.5 %
Sulfur	<0.1 %	<0.1 %
Oxygen	42-44 %	35-40 %

ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำส่วนของไม้ยางพาราที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งมาแปรรูปเป็นชิ้นขนาดเล็ก แต่ไม่เล็กจนเกินไป เนื่องจากว่าขนาดของไม้สับส่งผลต่อค่าความร้อน จากปริมาณพื้นที่ผิวที่มีอยู่และปริมาณของเนื้อไม้ โดยไม้ที่มีขนาดใหญ่และมีปริมาณเนื้อไม้มาก จะมีประสิทธิภาพในการเผาที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่มีขนาดเล็กและปริมาณเนื้อไม้ น้อย (Ragland et al., 1991) เพื่อให้เหมาะกับการเป็นเชื้อเพลิงแข็ง สามารถส่งขายไปยังโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานของหม้อไอน้ำแบบใช้เชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อุปสรรคอยู่ที่การขนย้าย เนื่องจากส่วนของไม้ยางพาราที่เหลือนั้น มีหลากหลายรูปทรงและขนาดที่หลากหลายแตกต่างกัน

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีการออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพารา ที่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปปฏิบัติงานยังสวนยางพาราที่ได้รับการตัดแล้ว เพื่อแปรรูปส่วนของกิ่ง ก้าน และปลายยอด เป็นไม้สับขนาดประมาณ 3 ถึง 6 เซนติเมตร ซึ่งให้ง่ายต่อการขนย้ายไปยังโรงงานแปรรูปด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ เพิ่มความสะดวกและความรวดเร็วในการใช้งาน โดยมีปัจจัยศึกษาได้แก่ ความเร็วรอบการสับ (รอบต่อนาที) 4 ระดับ โดยมีค่าชี้ผลคือ 1) ความสามารถในการทำงาน 2) ประสิทธิภาพในการสับ 3) พลังงานที่ใช้ และ 4) ขนาดของวัสดุ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประสิทธิภาพในการสับ

ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสับไม้ (Efficiency equation) สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 1 (Kuhn & Medlin, 2000)

$$\text{Efficiency} = (\text{Output}/\text{Input}) \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ Output คือ ปริมาณวัสดุที่ได้จากการสับ
Input คือ ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสับ

สมการนี้จะช่วยในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องสับไม้ ว่ามีความสามารถในการทำงานเทียบกับปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสับเท่าไร โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการสับกับปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสับ แล้วแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อให้เห็นความสามารถของเครื่องสับไม้ได้อย่างชัดเจน

ขนาดของวัสดุ

สมการเฉลี่ยของขนาดของวัสดุ (Particle size) จะขึ้นอยู่กับวิธีการวัดขนาดและการแจกแจงของขนาดของวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ การวัดขนาดแบบตะแกรง (Sieve analysis) และการวัดขนาดแบบฟอก (Sedimentation analysis) โดยสมการเฉลี่ยที่เลือกใช้ในการคำนวณขนาดเฉลี่ยของไม้สับ (Particle size) ของงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบการวัดขนาดแบบตะแกรง จึงเลือกใช้คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2 (ISO 3310-1, 2016; Terence, 1981)

$$D(\text{mm}) = (\sum(Ri^2 \times di)) / \sum(Ri^2) \quad (2)$$

โดยที่ D คือ ขนาดเฉลี่ยของวัสดุที่ผ่านรูตะแกรงในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

Ri คือ น้ำหนักของขนาดต่าง ๆ ที่ผ่านรูตะแกรงในหน่วยกรัม (g)

di คือ ขนาดของวัสดุที่ผ่านรูตะแกรงในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

ขั้นตอนการออกแบบ

ในการพัฒนาต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราชิ้นใหม่ เพราะต้องการใช้ต้นแบบระบบสับย่อยที่สามารถเข้าไปยังพื้นที่สวนยางพารา แต่โดยส่วนมากระบบที่มีจำหน่ายทั่วไป จะเป็นรูปแบบของระบบสับย่อยแบบจานหมุน ซึ่งมีต้นกำลังขนาดเล็ก ถึง ขนาดกลาง อีกทั้งฟังก์ชันการใช้งานยังไม่ตรงตามความต้องการ โดยมีงานวิจัยของ Shahid et al. (2019) ที่ทำการออกแบบเครื่องสับไม้โดยมีต้นกำลังเป็นรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ต้องการจะทำงาน ซึ่งเป็นสวนยางพาราที่มีระยะห่างระหว่างแถวไม่มากนัก จึงออกแบบคุณสมบัติที่ต้องการในการใช้งาน ได้แก่ 1) ระบบสับย่อยไม้แบบลากจูงเข้าไปในพื้นที่สวนยางพาราได้ 2) สามารถสับย่อยเศษไม้กิ่งยางพาราขนาดสูงสุด 4 ต้นต่อชั่วโมง และ 3) สามารถส่งเศษไม้หลังจากการสับย่อยขึ้นรถบรรทุกได้ทันที

ในการออกแบบระบบสับย่อยดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบระบบดึงไม้เข้าสู่ชุดใบสับ และชุดพาเศษไม้หลังจากผ่านการสับย่อยไปยังท่อนำเศษไม้ขึ้นรถบรรทุก 6 ล้อ โดยต้องมีความสูงของท่อนำไม้ต่ำกว่า 3 เมตร และระบบต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ซึ่งกัน

ผ่านชุดฟุ้งสายพานและฟู่ไล่ ดัง Figure 3

ทำการปรับการใช้เครื่องยนต์ให้มีขนาดกำลังมากขึ้น เพื่อรองรับแรงบิดและการต่อฟุ้งอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่าง ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ชุดขับเคลื่อนระบบดึงไม้ ชุดสกรูพาเศษไม้ผ่านโบลว์เวอร์ติดไปยังท่อนำส่ง ดัง Figure 4 และ Figure 5

ทำการออกแบบระบบสับย่อยไม้แบบกรงกระรอกหมุน ขนาดจานหมุน 40 เซนติเมตร แบบ 4 ชั้น 5 ชั้น โดยมีใบมีดตัดทำด้วย

เหล็กกล้าเกรด S50C ชุบแข็ง จำนวน 24 ใบ เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับไม้ ดัง Figure 6 และหน้าตัดที่กว้างเพื่อเพิ่มกำลังผลิตได้ง่ายโดยมีหลายช่อง อีกทั้งการที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกรงกระรอกนั้นเล็กกว่าแบบจานมาก ส่งผลให้โมเมนต์ความเฉื่อยลดลง ลดภาระของเครื่องยนต์ทำให้การเพิ่มความเร็วรอบในการสับย่อยไม้ได้ง่ายขึ้น ในส่วนของขนาด Housing cover ของชุดสับจะมีขนาดเล็กลงทำให้กะทัดรัดขึ้น ดัง Figure 7



Figure 3 Characteristics of sending shredded wood chips to 6-wheel trucks

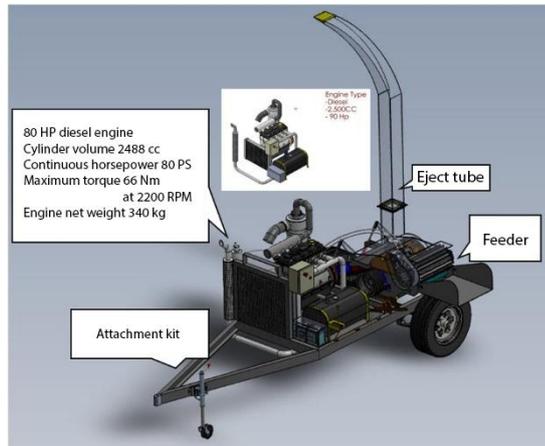


Figure 4 Preliminary drawings of the prototype system of the mobile rubber wood shredding system.

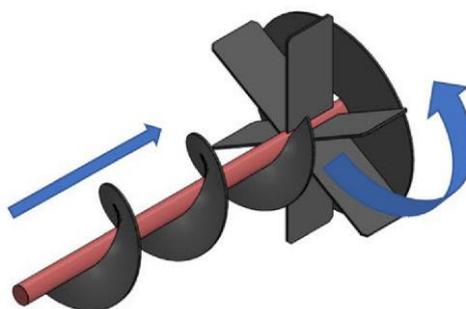


Figure 5 Preliminary drawing of the screw assembly to carry wood chips through the ejection blower to the delivery pipe.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการสร้างชุดต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่

เมื่อทำการออกแบบระบบต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่แล้วเสร็จ ได้ทำการดำเนินการสร้างเครื่อง โดยมีภาพรวมผลการสร้างเครื่อง ดัง Figure 8 โดยมีลักษณะของชุดระบบสับย่อยไม้แบบกรงกระรอก ดัง Figure 9

การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง โดยการทดสอบความเร็วรอบของการสับ (รอบต่อนาที) 4 ระดับ ได้แก่ 1000, 2000, 3000 และ 4000 รอบต่อนาที (คิดเป็นความเร็วเชิงเส้นที่ 20.9, 41.9, 62.8 และ 83.7 เมตรต่อวินาที) เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสับไม้ ความสามารถในการทำงาน การสิ้นเปลืองพลังงาน

และขนาดของวัสดุเฉลี่ยด้วยวิธีการ Sieve analysis โดยการเตรียมตัวอย่างไม้ยางพาราขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.41 ± 0.53 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร จำนวน 20 ท่อน ซึ่งเป็นท่อนไม้ยางพาราหลากหลายช่วงอายุคละกัน ทำการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละแท่งก่อนการทดสอบ พร้อมทำการเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของท่อนไม้ ได้ผลการบันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของไม้ยางพารา ดังแสดงใน Table 2 การป้อนตัวอย่างเข้าในเครื่องทดสอบ ทำการป้อนท่อนไม้พาราตัวอย่าง 4 ท่อนพร้อมกัน เต็มพื้นที่หน้ากว้างการทำงาน เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่อง ได้ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 10, 11 พร้อมมีการทดสอบขนาดอนุภาคเฉลี่ย ได้ข้อมูลการทดสอบดังแสดงใน Table

Table 2 Physical characteristics of Para wood

Physical appearance	Value
Diameter (cm)	4.41±0.53
Length (cm)	98.08±1.19
Weight per piece (kg)	2.05±0.42
Moisture (%w)	30.00±1.76

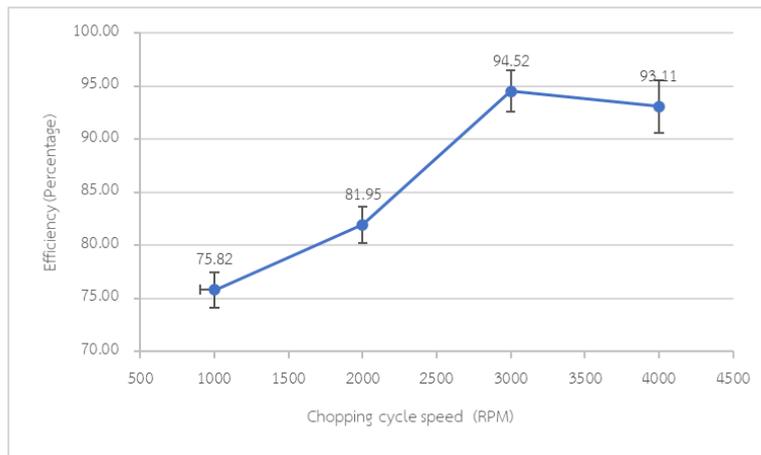


Figure 10 Relationship between chopping cycle speed and efficiency.

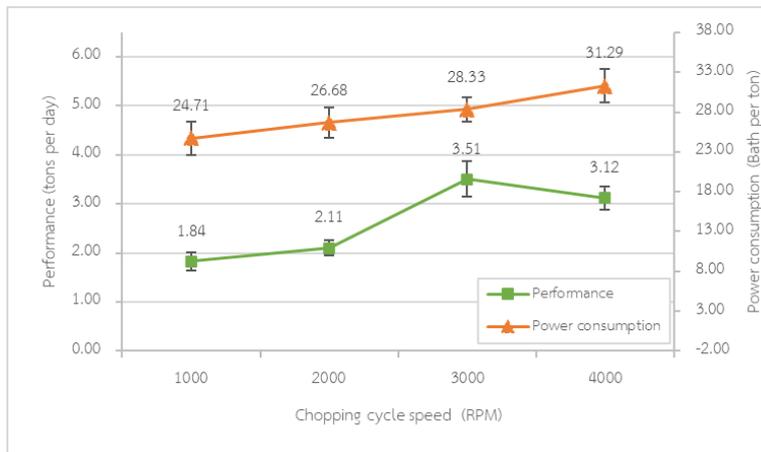


Figure 11 Relationship between chopper speed and performance and power consumption.

Table 3 Average particle test results

Chopping cycle speed (rpm)	Average particle size (mm)
1000	4.26±1.01
2000	4.07±1.02
3000	4.03±1.01
4000	3.83±1.01

จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบสับไม้ยางพาราเคลื่อนที่ ที่ความเร็วรอบการสับ 4 ระดับ ได้แก่ 1000, 2000, 3000, และ 4000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นผลจากการปรับรอบเกียร์ทดของชุดเกียร์ต้นกำลัง ได้ความสามารถในการทำงานของเครื่องเท่ากับ 1.84 ± 0.19^a , 2.11 ± 0.15^a , 3.51 ± 0.36^b และ 3.12 ± 0.24^b ต้นต่อชั่วโมง เมื่อทำการคือน้ำหนักของไม้สับที่ได้ในช่องทางออกเทียบกับน้ำหนักของไม้ที่ตกค้างในเครื่องหรือตกพื้นคิดเป็นน้ำหนักสูญเสีย จะได้ประสิทธิภาพการทำงานอยู่ที่ 75.82 ± 1.65^a , 81.95 ± 1.69^b , 94.52 ± 1.96^c และ 93.11 ± 2.46^c เปอร์เซ็นต์ เมื่อคำนวณการเติมเชื้อเพลิงกลับเข้าไปในแต่ละปัจจัยทดสอบ คิดเป็นอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน 0.75 ± 0.06^a , 0.81 ± 0.06^{ab} , 0.86 ± 0.05^{ab} และ 0.95 ± 0.06^b ลิตรต่อต้น หรือ 24.71 ± 2.14^a , 26.68 ± 1.87^{ab} , 28.33 ± 1.50^{ab} และ 31.29 ± 2.07^b บาทต่อต้น (น้ำมันดีเซลราคา 32.94 บาทต่อลิตร) โดยแต่ละค่าซึ่งผลที่กล่าวมา มีความแตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการทดสอบหาค่าอนุภาคเฉลี่ย ด้วยวิธีการวัดขนาดแบบตะแกรง (Sieve analysis) ได้ผลขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 4.26 ± 1.01 , 4.07 ± 1.02 , 4.03 ± 1.01 และ 3.83 ± 1.01 มิลลิเมตร ซึ่ง

เป็นข้อมูลการทดสอบของปัจจัยความเร็วรอบการสับ 1000, 2000, 3000, และ 4000 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า แนวโน้มการทำงานจะดีขึ้น เมื่อความเร็วรอบใบมีดสับสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Manomai & Leakmuinwai (2020) ที่กล่าวไว้ว่า ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อความสามารถในการย่อยไม้ที่สูงขึ้น แต่สำหรับเครื่องต้นแบบนี้จะสูงที่สุดที่ความเร็วรอบใบมีดสับ 3000 รอบต่อนาที เพราะเมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบการสับที่ 4000 รอบต่อนาที ส่งผลให้ดัชนีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการสับ และความเร็วในการดึงท่อนไม้ยางพาราไม่สัมพันธ์กัน วัตถุประสงค์ที่ป้อนเข้าไปนั้นถูกสับจนละเอียดมากเกินไป ทำให้ตกหล่นและตกค้างที่ใต้ท้องเครื่อง ทำให้ผลผลิตที่ได้ในช่องทางออกนั้นลดลง ส่งผลถึงค่าประสิทธิภาพในการสับที่ลดลง

ความคุ้มค่าในการลงทุน

จากการออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่ เพื่อมาใช้ทดแทนแรงงานคนในการนำเศษไม้ที่เหลือจากการตัดไม้ยางพารามาสั่งมูลค่าเพิ่ม ได้ผลการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐกิจที่จะเกิดขึ้น ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Calculation of the break-even point of the machine

Details	The pickup truck is equipped with a set of equipment
Production capacity	16.128 tons per day
Daily income (at the price of 1,000 baht per ton)	16,128 baht
Energy expenditure per day	750 baht
Transportation expenses per day	528 baht
Labor cost per day	900 baht
Average daily depreciation and maintenance	290 baht
Total expenses per day	2,468 baht
Net profit per day	13,660 baht
Net profit per month	300,520 baht
Net profit per year	3,606,240 baht

สรุปผลการวิจัย

ชุดต้นแบบระบบสับย่อยไม้ยางพาราเคลื่อนที่ สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงไม้ยางพาราสับ เมื่อทำการศึกษปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ได้แก่ ความเร็วรอบการสับ (รอบต่อนาที) พบว่า เมื่อความเร็วรอบของใบมีดสับเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของเครื่อง (ต้นต่อชั่วโมง) สูงขึ้นตาม โดยมีค่าสูงสุดที่ 3.51 ต้นต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบการสับ 3000 รอบต่อนาที แต่เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบการสับที่ 4000 รอบต่อนาที กลับพบว่าความสามารถในการทำงานลดลง อันเนื่องมาจากด้วยความเร็วรอบการสับที่ 4000 รอบต่อนาที วัตถุประสงค์ที่ป้อนเข้าไปนั้นถูกสับจนละเอียดมากเกินไป ทำให้ตกหล่นและตกค้างที่ใต้ท้องเครื่อง ดังนั้นจึงควรปรับตั้งความเร็วรอบการสับอยู่ที่ 3000 รอบต่อนาที สำหรับเครื่องต้นแบบนี้ เหมาะแก่การจัดการเศษไม้จากการร่วงหล่นหรือตัดแต่งกิ่งของไม้ยางพารา ซึ่งมี

จำนวนมากในแต่ละแปลง สามารถทำงานควบคู่กับรถบรรทุก เพื่อบรรจุและขนย้ายได้อย่างทันทั่วถึง ช่วยลดขั้นตอนการดำเนินการ ลดระยะเวลาในการทำงาน รวมถึงลดการใช้แรงงานในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเทคโนโลยีที่ดี มีคุณภาพเหมาะสมในการใช้งาน ถือเป็น การเผยแพร่ความรู้และองค์ความรู้สู่ภาครัฐและเอกชนและผู้สนใจ เพื่อการพัฒนาศักยภาพในกระบวนการจัดการเศษไม้เหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางสังคม ตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำการวิจัยระดับสูงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนทุนวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

References

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2017). *Thailand energy balance report*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from https://www.dede.go.th/download/state_61/Energy%20Balance%20of%20Thailand%202017.pdf (in Thai)
- Department of International Trade Promotion. (2021). *Rubber export statistics*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from https://www.ditp.go.th/contents_attach/730300/730300.pdf (in Thai)
- ISO 3310-1. (2016). *Test sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/62410/f6efb7c750854abe814e36892220eac7/ISO-3310-1-2016.pdf>
- Kanchana, S., Duatthaisong, K., & Wongphinit, P. (2022). The study factors affecting the quantity of para rubber production. *Journal of Science and Technology Buriram Rajabhat University*, 6(1), 39-46. (in Thai)
- Kongto, P., Palamanit, A., Chaiprapat, S., & Tippayawong, N. (2021). Enhancing the fuel properties of rubberwood biomass by moving bed torrefaction process for further applications. *Renewable Energy*, 170, 703-713. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.012
- Kuhn, H., & Medlin, D. (2000). Mechanical Testing and Evaluation (Vol. 8). ASM Handbook. *International, Materials Park (OH) USA*.
- Manomai, A., & Leakmuinwai, R. (2020). Design and construction of a wood chipper. *Journal of Vongchavalitkul University*, 33(2), 86-94.
- Nam, N. H., Linh, V. N., Dung, L. D., & Ha, V. T. T. (2020). Physico-chemical characterization of forest and agricultural residues for energy conversion processes. *Vietnam Journal of Chemistry*, 58(6), 735-741.
- Office of Agricultural Economics. (2021). *Percentage of para rubber production: percentage and monthly output including countries, regions and provinces in 2020*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcai_data/files/pencent%2064.pdf (in Thai)
- Palm rubber. (2022). Principles of pruning and creating a rubber canopy. Accessed March 1, 2023. Retrieved from https://www.yangpalm.com/2022/08/blog-post_8.html. (in Thai)
- Ragland, K. W., Aerts, D. J., & Baker, A. J. (1991). Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology*, 37(2), 161-168. doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90205-X
- Rubber Authority of Thailand. (2020). *Sustainable rubber plantation management plan*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from <https://www.raot.co.th/download/FSC/a03.pdf> (in Thai)
- Sarker, S., & Nielsen, H. (2014). Preliminary fixed-bed downdraft gasification of birch woodchips. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 2119-2126.
- SCB Economic Intelligence Center. (2016). *Thailand's rubberwood industry: a new rising star*. Accessed March 2, 2023. Retrieved from <https://www.scbeic.com/en/detail/product/2987> (in Thai)
- Shahid, L. A., Amjad, N., & Siddhu, M. A. H. (2019). Adaptation and performance evaluation of a tractor operated wood chipper shredder. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32(1), 197-204. Accessed March 2, 2023. Retrieved from <https://www.cabi.org/gara/FullTextPDF/2019/20193133180.pdf>
- Shi, H., Si, W., & Li, X. (2016). The concept, design and performance of a novel rotary kiln type air-staged biomass gasifier. *Energies*, 9, 67. doi:10.3390/en9020067
- Somboonsuk, B., & Pittayaphinan, P. (2021). Livelihoods of rubber farming households under the rubber and fruit production system in Thung Noi community Khuan Kalong District, Satun Province. *Research and Development Journal Suan Sunandha Rajabhat University*, 13(2), 134-155. (in Thai)
- SPICA. (2023). Tree Pruning: Things You Should Remember. Accessed March 1, 2023. Retrieved from <https://www.gardenthailand.com/content/5348> (in Thai)
- Terence, A. (1981). *Particle size measurement*. Accessed March 1, 2023. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4899-3063-7>
- Wongsapai, W., Achawangkul, Y., Thepsaskul, W., Daroon, S., & Fongsamootr, T. (2020). Biomass supply chain for power generation in southern part of Thailand. *Energy Reports*, 6, 221-227.

Research article

Design and development of a prototype of a mobile rubber wood shredder system

Chonlada Yodying¹ Somsuk Trisupakitti^{2*} Lutfee Seuni³ and Kantapong Khaeso⁴

¹Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Muang District, Maha Sarakham Province 44000

²Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Muang District, Maha Sarakham Province 44000

³Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province 95000

⁴Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kean University, Muang District, Khon Kaen Province 40000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 30 May 2023

Revised: 22 June 2023

Accepted: 29 June 2023

Online published: 8 August 2023

Keyword

Rubber

Rubber wood

Rubber wood fuel

Wood chipper

Wood shredding system

ABSTRACT

The purpose of this research is designing and establishing a prototype of a mobile rubber wood shredding system. The study involved examining the characteristics of a set of chopper blades in a squirrel cage wood shredding system and testing various factors of the machine. These factors included the chopping speeds, which were tested at four levels: 1000, 2000, 3000, and 4000 revolutions per minute (representing linear speeds of 20.9, 41.9, 62.8, and 83.7 metres per second) respectively. Rubber trees obtained from pruning and leftover wood in the plantation area were used as raw materials. The physical characteristics of the rubber wood were recorded, including a diameter of 4.41 ± 0.53 cm and a wood moisture content of 30.00 ± 1.76 percent (wet base). After testing the various factors of the machine, it is determined that the maximum efficiency achieved was 94.52 percent, representing a maximum capacity of the machine equal to 3.51 tonnes per hour (with an average of 2.65 tons per hour). The energy consumption rate is measured at 28.33 Thailand Baht per tonne (diesel fuel at 32.94 Thailand Baht per litre). The average particle size obtained from the sieve analysis was 4.03 ± 1.01 mm, which was the test data for the optimal chopping speed factor of the machine at 3000 rpm. This speed is found to be suitable for handling wood chips from fallen or pruned rubber trees in rubber plantations. The system works in conjunction with a lorry to pack and transport the wood chips to factories requiring fuel from shredded rubber wood in a timely manner.

*Corresponding author

E-mail address: somskurmu@gmail.com (S. Trisupakitti)

Online print: 8 August 2023 Copyright © 2023. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2023.21>