



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

บทความวิจัย

ผลของความเร็วยกที่มีต่อการหลอมเศษยางพาราในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว

อภิวิชญ์ หาญพิชญชัย¹ บรรยวีศัล สุขุณา¹ กันตพงษ์ แซ่โล¹ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ¹ โชคชัย ชูอยู่² กฤษฎาญค์ เสนาวงษ์³ สมพร เกษแก้ว⁴ และ กิตติพงษ์ ลาลูน^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

²สาขาวิชาเกษตรนวัตกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

³สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

⁴สาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 สิงหาคม 2567

แก้ไข: 28 ตุลาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 4 พฤศจิกายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 พฤศจิกายน 2567

คำสำคัญ

ความเร็วยกใบกวน

การเตรียมวัตถุดิบ

เศษยางพารา

เปลี่ยนของเหลือทิ้งเป็นพลังงาน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสเศษยางพาราเหลือทิ้งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยการออกแบบกระบวนการหลอมเป็นของเหลว เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในกระบวนการผลิต โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องหลอมเศษยางพาราต้นแบบ พร้อมทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วยกใบกวนที่ 0, 22, และ 44 rpm มีปัจจัยควบคุมคือ อุณหภูมิการหลอมที่ 300°C มีค่าชี้ผลการทดสอบคือ อัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม ผลทดสอบพบว่า ความเร็วยกใบกวนที่ 44 rpm ให้ประสิทธิภาพในการหลอมดีที่สุดในกรณีอัตราการหลอมอยู่ที่ 1.598 ± 0.045 kg/hr และพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 1269.914 ± 17.510 Wh/kg คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการหลอม 5.59 ± 0.09 baht/kg โดยใช้เวลาในการหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวทั้งหมด 104 ± 5 min การศึกษาครั้งนี้พบว่าการหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวสามารถลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส สามารถนำไปใช้ในการต่อยอดในกระบวนการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือก

บทนำ

พลังงานเชื้อเพลิงมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ความต้องการพลังงานทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้น 57 % ในปี 2050 (Hajjari et al., 2017) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งการเติบโตทางเศรษฐกิจนี้มีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ จากแนวโน้มความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ในหลายปีที่ผ่านมามีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น โดยได้นำของเสียต่าง ๆ มาเป็นแหล่งพลังงาน เช่น ขยะ พลาสติก ยางรถยนต์ และ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Arpa et al., 2010; Çay et al., 2012; Patel et al., 2017)

ยาง (cis-1,4-polyisoprene) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งที่ผลิตโดยพืชตามธรรมชาติ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบเชิงกลยุทธ์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อย่างแพร่หลายในโลก เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ สายพานยาง ยางรถ ถูมือ รองเท้า และอื่น ๆ (Ahmad et al., 2016) ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั่วโลกมากกว่า 12.4 ล้านตันต่อปี ส่งผลให้มียางเหลือทิ้งจำนวนมาก (Ahmad et al., 2018; Tamri et al., 2018) เศษยางในรูปแบบของยางรถยนต์ถูมือหรืออื่น ๆ เป็นวัสดุที่มีปัญหาในการกำจัดเนื่องจากมีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพสูง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ยางเสียส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางรถยนต์ใช้แล้ว (Kan et al., 2017) ถูกกำจัดอย่างเรียบง่ายเช่นการเผา การฝังกลบและการย่อยสลายทางชีวภาพ (Hijazi et al., 2018) การหาวิธีกำจัดเศษยางธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นประเด็น

*Corresponding author

E-mail address: Kittila@kku.ac.th (K. Laloon)

Online print: 26 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.50>

สำคัญในระดับนานาชาติ เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการจัดการเศษซากพืชที่ไม่ถูกต้องเกิดขึ้นจากการทิ้งหรือจัดการเศษซากโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม ซึ่งมีผลเสียทั้งในด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทยในช่วงปี 2555-2563 มีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 20 ล้านไร่ และมีผลผลิตยางธรรมชาติประมาณ 4.5 ล้านตันต่อปี โดยปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของไทยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.70 ล้านตันต่อปี กระบวนการผลิตยางธรรมชาติมักก่อให้เกิดเศษซากในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น เศษซากจากรอยกรีด ยางกันถ้วย ยางที่ตกลงบนพื้นดิน ภาชนะบรรจุ บ่อบำบัดน้ำเสีย รวมถึงยางที่เหลือจากการแปรรูปเป็นยางแผ่นดิบ ยางฟอง ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางแท่ง หรือยางก้อนด้วยคุณภาพต่ำที่มีสิ่งเจือปน เช่น เปลือกไม้หรือเศษดิน ปริมาณเศษซากที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ประเมินจากผลผลิตยางทั้งหมดคิดเป็น 2 % หรือประมาณ 90,000 ตันต่อปี และหากประเมินเฉพาะจากกระบวนการผลิตยางแผ่นดิบ จะพบว่ามีปริมาณยางเสียประมาณ 18,000 ตันต่อปี โดยปกติเศษซากเหล่านี้มักถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางเครพหรือยางแท่งคุณภาพต่ำ ซึ่งมักเกิดปัญหาความไม่คุ้มค่าในการลงทุน โดยเฉพาะในช่วงที่ราคายางตกต่ำ ดังนั้นแนวทางการจัดการอย่างยั่งยืน ควรมีการรีไซเคิลหรือแปรรูปมาใช้ประโยชน์อื่น ๆ ซึ่งการนำเศษซากพาราเหล่านี้ไปผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเศษซากพาราได้

เทคนิคการไพโรไลซิส มีรายงานการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ที่เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่มีศักยภาพ (Lopez et al., 2015; (Ganesapillai et al., 2016; Lam et al., 2016) กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายวัสดุชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้โดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะบรรยากาศที่จำกัด ปริมาณหรือปราศจากออกซิเจนเพื่อผลิตไบโอดีเซล (Bio oil) แก๊ส (gas) และถ่านชาร์ (Char) ซึ่งกระบวนการแบบแบตช์เป็นระบบปิด สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จะยังคงอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลาหนึ่งในขณะที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้น กระบวนการนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ความเรียบง่ายที่มากขึ้น เนื่องจากไม่ต้องใช้ปั๊มหรือคอมเพรสเซอร์แรงดันสูง และสามารถรองรับวัตถุดิบชีวมวลทุกประเภท นอกจากนี้ การไม่มีตัวกลางของไหลในกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบตช์ช่วยลดความซับซ้อนของการแยกถ่านและผลพลอยได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแบบแบตช์ยังมีข้อเสีย เช่น เวลาในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนและทำความเย็นที่นานขึ้น ต้นทุนแรงงานที่สูง และความท้าทายในการขยาย

ขนาดสำหรับการผลิตขนาดใหญ่ (Isahak et al., 2012)

หากมีการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นของเหลวจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนและเพิ่มกำลังการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบตช์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบของไบโควนในกระบวนการหลอมเศษซากพาราเหลือทิ้ง สำหรับเป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อแปรสภาพเศษซากพาราจากของแข็งเป็นของเหลว โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องหลอมเศษซากพาราต้นแบบ พร้อมทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วรอบของไบโควน 3 ระดับ และมีปัจจัยคงที่คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมที่ 300°C โดยมีการตั้งสมมุติฐานว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบจะส่งผลต่ออัตราการหลอมเศษซากพาราและพลังงานจำเพาะ มีค่าชี้ผลการทดสอบคือ อัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม หากมีการแปรสภาพพาราเป็นของเหลวเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ก็จะเป็นอีกทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจและมีจำนวนมากในประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทางเลือกที่มีโอกาสใช้ทดแทนหรือลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงของกลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษซากพารา เพื่อหลอมเศษซากพาราเป็นของเหลวสำหรับลำเลียงเข้าเครื่องไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยพิจารณาเกณฑ์ในการออกแบบจากข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติและการทดสอบเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีเกณฑ์ในการออกแบบเครื่อง ดังนี้ เครื่องต้นแบบใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้สะดวกในการควบคุมอุณหภูมิ โดยจากการศึกษางานวิจัยการสลายตัวของยางพาราพบว่ายางพาราเริ่มแตกตัวที่อุณหภูมิ 326°C อัตราการสลายตัวสูงสุดที่ 380°C และเริ่มสิ้นสุดที่ 460 °C (Wei et al., 2019) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมไม่เกิน 326°C และเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษซากพาราสามารถติดตั้งกับเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสได้ ซึ่งเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษซากพารา มีส่วนประกอบหลักได้แก่ หม้อหลอม ชุดให้ความร้อน ไบโควน เกรียวลำเลียง และชุดควบคุมและบันทึกข้อมูล โดยมีรายละเอียดการออกแบบของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ แสดงดัง Figure 1

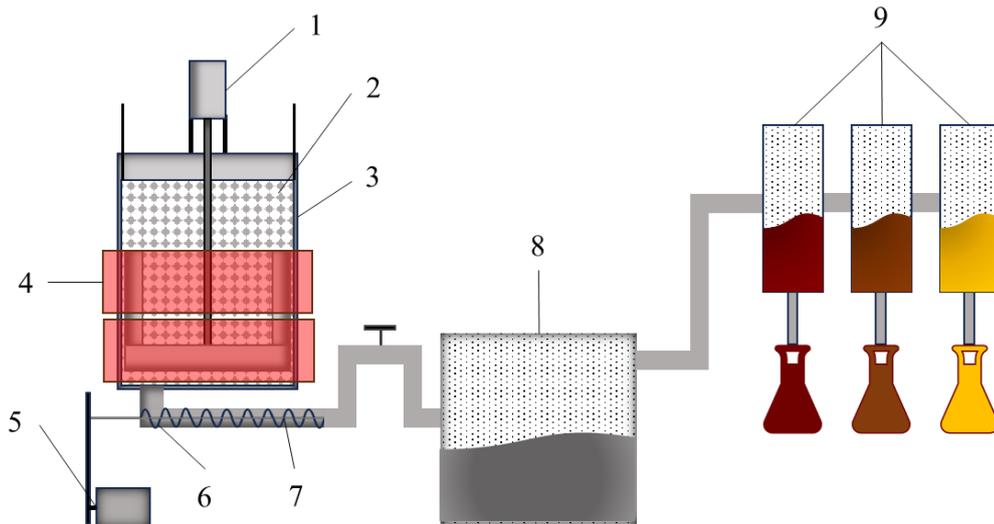


Figure 1 Components of a prototype machine for melting rubber scraps.

1= Impeller motor, 2= Steel grating, 3= Melting pot, 4= Electric heater, 5= Screw conveyor motor, 6= Conveyor pipe, 7= Screw conveyor, 8= Pyrolysis reactor and 9= Oil condensing unit.

หลักการการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา เมื่อทำการเตรียมวัตถุดิบเศษยางพาราที่ความชื้นประมาณ 18.10 % w.b. จะทำการนำวัตถุดิบส่วนหนึ่งมาใส่ในหม้อหลอม ทำการเปิดเครื่อง โดยมีการตั้งอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ 250°C เพื่อทำการหลอมวัตถุดิบส่วนนี้ให้เป็นของเหลวที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุดิบชุดทดสอบ ในการทดสอบจะทำการควบคุมอัตราการป้อนเศษยางพาราตามที่กำหนด โดยจะเติมผ่านช่องป้อนที่ฝาหม้อหลอม เครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพาราจะทำการหลอมวัตถุดิบจากความร้อนของฮีตเตอร์ไฟฟ้าผ่านน้ำยาเหลว โดยมีใบกวนที่ทำหน้าที่กระจายความร้อนให้ทั่วถึงกัน เมื่อถึงจุดที่เหมาะสม จะทำการลำเลียงน้ำยาเหลวผ่านเกลียวลำเลียงเพื่อส่งไปยังเตาปฏิกรณ์เพื่อเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป

2. การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ

ศึกษาการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา โดยทำการศึกษาความเร็วรอบของใบกวน 3 ระดับ เพื่อหาอัตราการหลอมของเศษยางพาราและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม โดยทำการเปิดชุดให้ความร้อนเครื่องแปรสภาพเศษยางพาราให้ได้อุณหภูมิ 300°C เพื่อทำการหลอมเศษยางพารา เนื่องจากพิจารณาจากกราฟ Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าเศษยางพาราเริ่มสลายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 360°C (Figure 2) นำเศษยางพาราจากกระบวนการผลิตแผ่นดิบเข้าเครื่องแปรสภาพยางเศษพารา โดยป้อนเศษยางพาราให้ได้ปริมาณ 50 กรัม/นาที เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง ทำการยกตะแกรงซึ่งน้ำหนักเศษยางพาราตกลงในหม้อหลอมเพื่อหาอัตราการหลอม ทำการหลอมต่อจนกว่าเศษยางพาราจะหลอมหมด แล้วทำการเปลี่ยนความเร็วรอบเพื่อทดสอบปัจจัยต่อไป โดยมีแผนการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ ดังแสดงใน Figure 3 คุณลักษณะทางเคมีของเศษยางพารา ดังแสดง Table 1

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา โดยมีวัสดุหลักในการประกอบสร้างคือ โครงสร้างท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว ตัวหม้อหลอมทำจากสแตนเลสหนา 3 mm ม้วนขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm มีการป้อนความร้อนด้วยใบกวนรอบหม้อหลอมขนาด 1 นิ้ว ใบกวนทำจากแผ่นสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยมีผลการสร้างเครื่องต้นแบบดังแสดงใน Figure 4

ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วรอบใบกวนที่ 0, 22, และ 44 rpm เพื่อหาอัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเศษยางพารา 3 กิโลกรัม พบว่า อัตราการหลอมของเศษยางพารามีอัตราการหลอมอยู่ที่ 1.078 ± 0.025 , 1.274 ± 0.04 และ 1.598 ± 0.045 kg/hr ตามลำดับ และพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมมีค่าพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 1402.616 ± 18.020 , 1338.085 ± 17.875 และ 1295.423 ± 17.509 Wh/kg ตามลำดับ (Figure 5) ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า การเพิ่มความเร็วนรอบใบกวนจะช่วยเพิ่มอัตราการหลอมและลดพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วนรอบช่วยกระจายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ทำให้กระบวนการหลอมเป็นไปอย่างรวดเร็ว การวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Kato et al., 2019) ที่พบว่าการเพิ่มความเร็วนรอบของการหมุนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหลอมในระบบทางกล

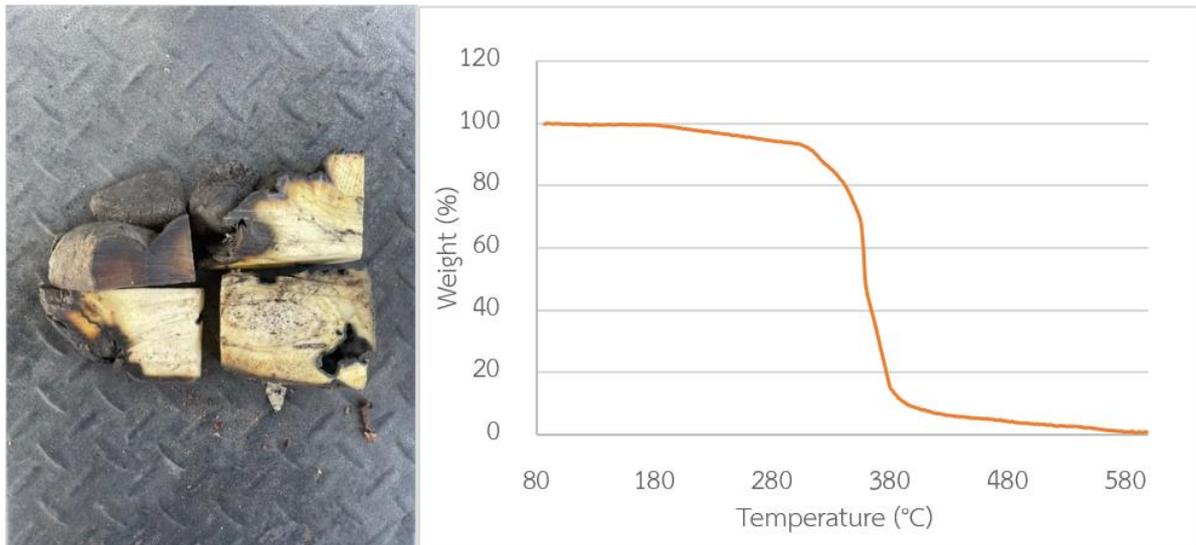


Figure 2 Natural rubber scraps and TGA curve.

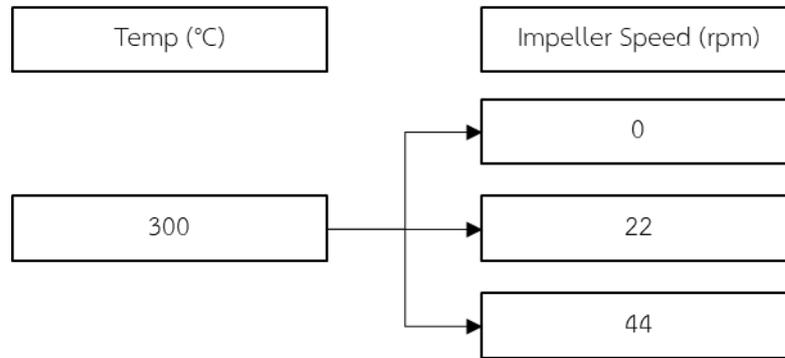


Figure 3 Experiment test.

Table 1 Some properties of Rubber scraps

Proximate analysis (% wt);		Methods/tools used for testing
Moisture	18.1	Thermogravimetric Analyser, brand LECO, model TGA-701
Volatile matter	72.4	
Fixed carbon*	7.1	
Ash	2.4	
Ultimate analysis (% wt);		LECO Method/CHN628, 628S
C	86.291	
H	9.157	
N	0.4	
S	0.137	
O*	4.015	

* Calculated by difference.



Figure 4 Prototype Natural Rubber scraps melting machine.

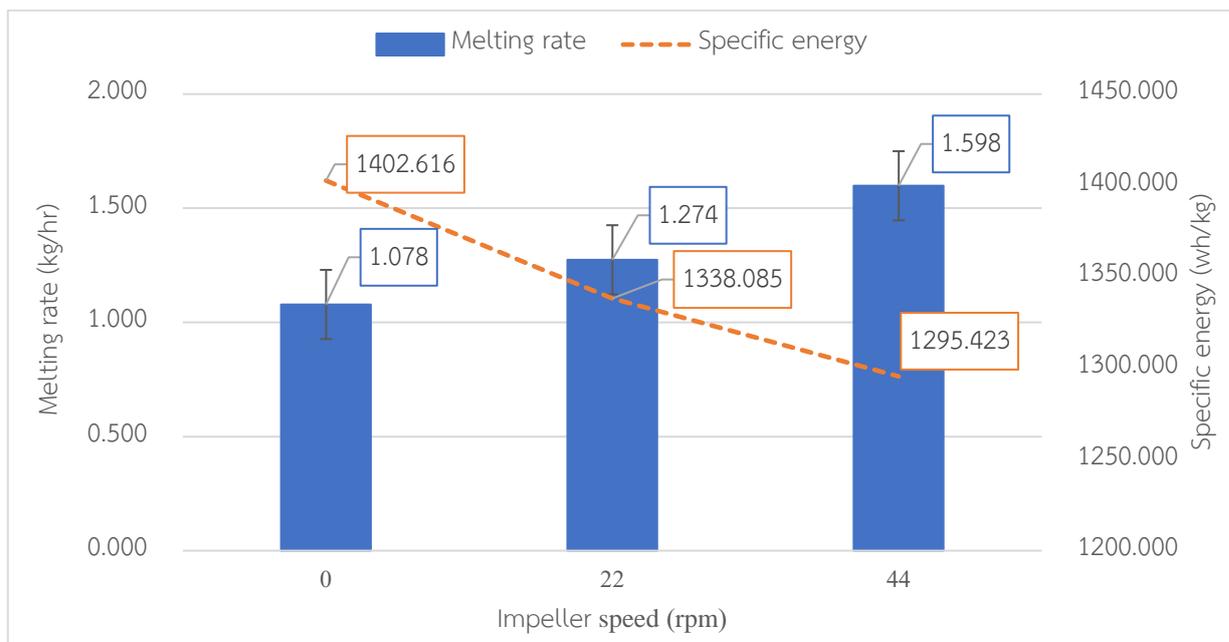


Figure 5 Relationship between melting rate and specific energy at different impeller speeds.

จากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการหลอมเศษยางพารา 3 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบ 0, 22 และ 44 rpm มีระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมจนหมดเท่ากับ 183 ± 7 , 130 ± 5 และ 105 ± 6 min ตามลำดับ (Figure 6) พบว่าเมื่อทำการหลอมเศษยางพาราจนหมด เวลาที่ใช้ในการหลอมไม่สอดคล้องกับอัตราการหลอมต่อชั่วโมง เนื่องจากเมื่อเศษยางพารารับความร้อนไประยะเวลาหนึ่ง จะทำการคลายความชื้นและมีลักษณะเป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว หลังจากนั้นจะเริ่มละลายเป็นของเหลวจนหมด โดยในการทดสอบนี้พบว่าเครื่องต้นแบบ

สามารถหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวสีดำและมีความหนืดสูง (Figure 7) สามารถเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเติมวัตถุดิบได้ เนื่องจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบตช์ยังต้องทำการเปิดเตาปฏิกรณ์เพื่อเติมวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ค่อนข้างนาน (Isahak et al., 2012)

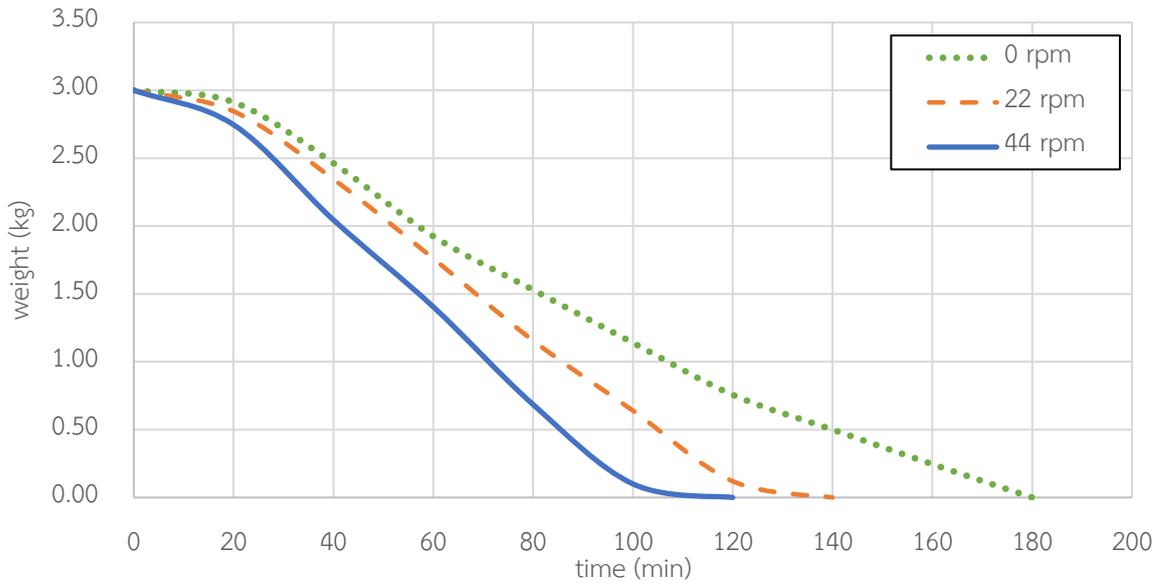


Figure 6 Relationship between time and weight loss of the sample for melting concerning the different impeller speed.



Figure 7 Melted Natural Rubber Scraps.

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องต้นแบบหลอมเศษยางพาราสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถหลอมเศษยางพาราได้ โดยความเร็วรอบใบกวนที่ 44 rpm ให้ผลการหลอมดีที่สุด โดยมีอัตราการหลอมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.598 ± 0.045 kg/hr และใช้พลังงานจำเพาะต่ำสุดอยู่ที่ 1269.914 ± 17.510 Wh/kg ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ว่าความเร็วรอบใบกวนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการหลอมสูงขึ้นและพลังงานจำเพาะลดลง และเครื่องต้นแบบสามารถลดความเสี่ยงน้ำยางพาราไหลเข้าเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสได้ ทำให้ช่วยลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส สามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น ซึ่งสามารถต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม เช่น การเพิ่มกำลังการผลิตโดยใช้หม้อหลอมขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อรองรับการผลิตในปริมาณมาก และสามารถทำงานต่อเนื่องและรวดเร็วมากขึ้น แต่

ทั้งนี้ข้อจำกัดของเครื่องต้นแบบพบว่ายังไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำยางพาราเหลวให้คงที่ได้ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของน้ำยางพาราเหลว โดยแนวทางการแก้ปัญหาควรติดตั้งชุดทำความร้อนที่ท่อลำเลียง เพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำยางพาราเหลวภายในท่อให้มีความหนืดคงที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ศูนย์เรียนรู้ยางนาบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากร เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

References

- Ahmad, N., Abnisa, F., & Daud, W. M. A. W. (2016). Potential use of natural rubber to produce liquid fuels using hydrous pyrolysis – a review. *RSC Advances*, *6*(73), 68906–68921. doi: 10.1039/C6RA09085K
- Ahmad, N., Abnisa, F., & Daud, W. M. A. W. (2018). Liquefaction of natural rubber to liquid fuels via hydrous pyrolysis. *Fuel*, *218*, 227–235. doi: 10.1016/j.fuel.2017.12.117
- Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, *87*(1), 122–127. doi: 10.1016/J.APENERGY.2009.05.042
- Çay, Y., Çiçek, A., Kara, F., & Sağiroğlu, S. (2012). Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network. *Applied Thermal Engineering*, *37*, 217–225. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.019
- Ganesapillai, M., Manara, P., & Zabaniotou, A. (2016). Effect of microwave pretreatment on pyrolysis of crude glycerol–olive kernel alternative fuels. *Energy Conversion and Management*, *110*(1), 287–295. doi: 10.1016/j.enconman.2015.12.045
- Hajjari, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Ghanavati, H. (2017). A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *72*, 445–464. doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.034
- Hijazi, A., Boyadjian, C., Ahmad, M. N. M., & Zeaiter, J. (2018). Solar pyrolysis of waste rubber tires using photoactive catalysts. *Waste Management*, *77*(6), 10–21. doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.044
- Isahak, W. N. R. W., Hisham, M. W. M., Yarmo, M. A., & Hin, T. Y. (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(8), 5910–5923. doi: 10.1016/J.RSER.2012.05.039
- Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. (2017). Fuel production from pyrolysis of natural and synthetic rubbers. *Fuel*, *191*, 403–410. doi: 10.1016/j.fuel.2016.11.100
- Kato, K., Yamamoto, T., Komarov, S. V., Taniguchi, R., & Ishiwata, Y. (2019). Evaluation of mass transfer in an aluminum melting furnace stirred mechanically during flux treatment. *Materials Transactions*, *60*(9), 2008–2015. doi: 10.2320/matertrans.M2019055
- Lam, S. S., Liew, R. K., Lim, X. Y., Ani, F. N., & Jusoh, A. (2016). Fruit waste as feedstock for recovery by pyrolysis technique. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *113*, 325–333. doi: 10.1016/j.ibiod.2016.02.021
- Lopez, G., Erkiaga, A., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2015). Effect of polyethylene co-feeding in the steam gasification of biomass in a conical spouted bed reactor. *Fuel*, *153*, 393–401. doi: 10.1016/j.fuel.2015.03.006
- Patel, A., Arora, N., Mehtani, J., Pruthi, V., & Pruthi, P. A. (2017). Assessment of fuel properties on the basis of fatty acid profiles of oleaginous yeast for potential biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *77*, 604–616. doi: 10.1016/j.rser.2017.04.016
- Tamri, Z., Yazdi, A. V., Haghighi, M. N., Abbas-Abadi, M. S., & Heidarinasab, A. (2018). The effect of temperature, heating rate, initial cross-linking and zeolitic catalysts as key process and structural parameters on the degradation of natural rubber (NR) to produce the valuable hydrocarbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *134*, 35–42. doi: 10.1016/j.jaap.2018.05.001
- Wei, X., Zhong, H., Yang, Q., Yao, E., Zhang, Y., & Zou, H. (2019). Studying the mechanisms of natural rubber pyrolysis gas generation using RMD simulations and TG-FTIR experiments. *Energy Conversion and Management*, *189*(1), 143–152. doi: 10.1016/j.enconman.2019.03.069

Research article

Effect of the impeller speed on the melting of natural rubber scraps in biofuel production via fast pyrolysis

Apiwit Harnpichanchai¹ Bunyawat Sukhuna¹ Kantapong Khaeso¹ Chaiyan Junsiri¹
Chokchai Suiuy² Kritsadang Senawong³ Somporn Katekaew⁴ and Kittipong Laloon^{1*}

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

²Department of Innovative Agriculture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

³General Education Teaching Institute, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

⁴Department of Biochemistry, Faculty of Science, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 August 2024

Revised: 28 October 2024

Accepted: 4 November 2024

Online published: 26 November 2024

Keyword

Impeller speed

Raw material preparation

Scrap rubber

Turning waste into energy

ABSTRACT

This article aims to study and develop the pyrolysis process for converting rubber waste into biofuel through the design of a continuous liquefaction process. A prototype liquefaction machine was designed and constructed to test optimal conditions, focusing on impeller speeds of 0, 22, and 44 rpm, with a controlled liquefaction temperature of 300°C. Key performance indicators included the melting rate and specific energy consumption. The results indicate that an impeller speed of 44 rpm provided the best liquefaction efficiency, achieving a melting rate of 1.598 ± 0.045 kg/hr and a specific energy consumption of 1269.914 ± 17.510 Wh/kg, translating to a melting cost of 5.59 ± 0.09 THB/hr. The total time required to liquefy the rubber waste was 104 ± 5 minutes. This study concludes that liquefying rubber waste can reduce both the reaction time and heating time in the pyrolysis reactor. The findings can be applied to continuous pyrolysis processes for biofuel production, contributing to the conversion of agricultural waste into alternative bioenergy.

*Corresponding author

E-mail address: Kittila@kku.ac.th (K. Laloon)

Online print: 26 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.50>