ศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิง RDF -5 จากขยะชุมชนผสมยางพารา ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกจังหวัดสตูล

Production Potential of RDF -5 Fuel from Municipal Solid Waste Mixed with Natural Rubber in Satun Global Geopark

ทัศนี ศรีมาชัย[1] พลพัฒน์ รวมเจริญ[2] ชัยยุทธ มีงาม[3] ศุภชัย ชัยณรงค์[3] เกียรติศักดิ์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต[1]*
[1] วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล จ.สตูล 91110
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จ.สงขลา 90000
[3]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จ.สงขลา 90000
Tussanee Srimachai[1] Polphat Ruamcharoen[2] Chaiyoot Meengam[3]
Suppachai Chainarong[3] Kiattisak Rattanadilok Na Phuket[1]*
[1] College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Satun Campus, Satun 91110
[2] Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University Songkhla 90000
[3] Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University Songkhla 90000
*Corresponding author Email: panpong1@hotmail.com
(Received: May 3, 2023; Revised: February 2, 2024 ; Accepted: August 13, 2024)

บทคัดย่อ

จังหวัดสตูลเป็นจังหวัดเล็กๆ ที่มีสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับโลก เช่น เกาะหลีเป๊ะ มีปริมาณนักท่องเที่ยวประมาณ 1.04 ล้านคน/ปี และเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2561 ได้รับการรับรองให้เป็นอุทยานธรณีโลกแห่งแรกของประเทศไทย ขยะเกือบทั้งหมดในพื้นที่อุทยานธรณีโลกถูกกำจัดที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลตำบลกำแพง อำเภอละงู จังหวัดสตูล ปัจจุบันมีขยะตกค้างจากชุมชนในศูนย์รวมกว่า 100,000 ตัน งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอัตราส่วนขยะชุมชนต่อยางที่เหมาะสมเพื่อผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 โดยศึกษาที่อัตราส่วน 100:0, 0:100, 95:5, 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่า ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน (%) ของยางพารา(น้ำยางข้น)ที่เติม โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 จะแปรผันตรงกับปริมาณของยางพาราเติม อัตราส่วนที่มีค่าความร้อนดีที่สุดคือ อัตราส่วน 50:50 รองลงมาคือ 75:25, และ 95:5 มีค่าความร้อนเท่ากับ 41.63 MJ/kg, 41.54 MJ/kg และ 40.75 MJ/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100:0 มีค่าความร้อนเพียง 40.69 MJ/kg เท่านั้น การเพิ่มยางพาราลงในเชื้อเพลิง RDF-5 จะช่วยให้เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีคุณสมบัติติดไฟง่าย ให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นและได้มาตรฐานที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: อุทยานธรณีโลกจังหวัดสตูล เชื้อเพลิง RDF-5 การจัดขยะมูลฝอยชุมชน ยางพารา

ABSTRACT

Satun Province is a small province with world-famous tourist attractions such as Koh Lipe. The number of tourists is about 1.04 million people/year. On April 17, 2018, it was certified as Thailand's first global geopark. Almost all of the waste in the World Geopark area is disposed of at the Integrated Waste Management Center, Kamphaeng Subdistrict, La-Ngu District, Satun Province. Currently, there are more than 100,000 tons of residual waste from the community in the center. This research investigated the optimal ratio of community waste to rubber for the production of RDF-5 fuel. The ratio of community waste to natural rubber was studied at the ratio of 100:0, 95:5, 90:10, 75:25, and 50:50, respectively. The results showed that the calorific value was increased in the ratio (%) of the added natural rubber (concentrated latex) and the heat value of the fuel is directly in ratio to the amount of natural rubber added. The ratio with the highest calorific value was 50:50, followed by 75:25 and 95:5. The calorific value was 41.63 MJ/kg, 41.54 MJ/kg, and 40.75 MJ/kg, respectively. Compared with 100:0 have a calorific value of 40.69 MJ/kg only. Adding natural rubber to RDF-5 fuels will increase the ignition time of the produced RDF-5 fuels and produce higher calorific values and cover the standards required by the industry, which had a synergism significantly.

Keyword: Satun UNESCO Global Geopark, RDF-5 fuel, Municipal solid waste management, Natural rubber.

1. บทนำ

จังหวัดสตูลเป็นจังหวัดเล็กๆ ที่มีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับโลก เช่น เกาะหลีเป๊ะ และเมื่อ 17 เมษายน 2561 ได้รับการรับรองให้เป็นอุทยานธรณีโลกแห่งแรกของประเทศไทย สตูลจึงกลายเป็นแหล่งท่องเที่ยวใหม่ด้านธรณีวิทยาที่สำคัญระดับโลก พบว่าในปี 2561 มีผู้มาเยือน จำนวน 1.5 ล้านคน เป็นนักท่องเที่ยวจำนวน 1.04 ล้านคน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.43 จากปีก่อน [1] เกิดการใช้ทรัพยากรจำนวนมากและส่งผลให้เกิดปัญหาขยะล้น พบว่าปริมาณขยะที่เกิดในปี 2561 มีจำนวน 110,476 ตัน อัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยระดับเทศบาลเมือง 1.15 กิโลกรัม/คน /วัน เทศบาลตำบล 1.02 กิโลกรัม/คน/วัน และองค์การบริหารส่วนตำบล 0.91 กิโลกรัม/คน/วัน [2] ในขณะที่ปริมาณขยะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องมีอัตราการเกิดขยะต่อวันสูงกว่าอัตราการกำจัด ทำให้มีขยะเก่าตกค้างจำนวนมากแต่การจัดการขยะในพื้นมีแค่เพียงวิธีการฝังกลบเพียงอย่างเดียวและมีพื้นที่สำหรับใช้ฝังกลบมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ผู้รับผิดชอบไม่สามารถแก้ปัญหาขยะกำลังล้นเมืองได้

อำเภอละงู จังหวัดสตูล เป็นส่วนหนึ่งของอุทยานธรณีโลกสตูล ซึ่งเป็นแหล่งเรียนรู้อนุรักษ์และเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศแห่ง ใหม่ทางธรณีวิทยาที่สำคัญ นอกจากนี้ อำเภอละงู จังหวัดสตูล ยังมีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงหลายแห่ง เช่น ปราสาทหินพันยอด น้ำตกวังสายทอง อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะเภตรา (เขตข้ามกาลเวลา) ท่าเรือปากบารา (ลงเกาะหลีเป๊ะ) อำเภอละงู จังหวัดสตูล ประสบปัญหาขยะล้นโดยมีสาเหตุสำคัญจาก นักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาจำนวนมากโดยเฉพาะที่เกาะหลีเป๊ะ มีการจัดงานประเพณี/เทศกาล/งานประจำปีต่างๆ บ่อย เช่น งานเต่าโลก งานมรกตอันดามัน งานเทศกาลยอนหอยหลอด เป็นต้น อำเภอละงู จังหวัดสตูล มีศูนย์กำจัดขยะแบบครบวงจรเทศบาลตำบลกำแพง แต่ก็ไม่เพียงพอในการจัดการ เนื่องจากนโยบายยกเลิกการจัดการขยะแบบเทกอง ซึ่งสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคนในชุมชนรอบๆ บ่อขยะในทุกพื้นที่ขององค์กรปกครองส่วน

ท้องถิ่น ส่งผลให้บ่อขยะทุกแห่งต้องปิดลง และต้องนำขยะตกค้างเดิมที่ฝังกลบไม่หมดและขยะใหม่ที่เกิดขึ้นส่งมากำจัดที่ศูนย์กำจัดขยะแบบครบวงจรเทศบาลตำบลกำแพง ศูนย์กำจัดฯ ต้องรับขยะจาก 18 หน่วยงาน จาก 5 อำเภอ (อำเภอละงู อำเภอควนกาหลง อำเภอมะนัง อำเภอทุ่งหว้า และอำเภอเมือง (โซนเกาะหลีเป๊ะ)) ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอุทยานธรณีโลกจังหวัดสตูล ซึ่งต้องเสียค่ากำจัดตันละ 450 บาท นอกจากนี้ศูนย์ดังกล่าวยังต้องรับกำจัดขยะจาก อบต.เกาะสาหร่าย ซึ่งเป็นขยะจากเกาะหลีเป๊ะ ปัจจุบันบ่อฝังกลบขยะของศูนย์ฯ ซึ่งเปิดใช้มาประมาณ 4 ปี มีปริมาณขยะมากจนล้นคันดินไม่สามารถเสริมได้ มีขยะตกค้างและขยะใหม่ประมาณ 100,000 ตัน ซึ่งจากแผนบ่อขยะถูกออกแบบให้ใช้ฝังกลบขยะได้นาน 15 ปี ปัจจุบันมีปริมาณขยะเฉลี่ยเข้าศูนย์ฯ วันละ 50 ตัน สามารถคัดแยกขยะอินทรีย์ได้เพียง 2 ตัน ขยะรีไซเคิล 8 ตัน และฝังกลบ 40 ตัน นอกจากนี้ยังมีขยะจากเกาะหลีเป๊ะ จำนวน 300 ตัน/เดือน ซึ่งทำการขนมาทิ้งเดือนละ 2 ครั้ง ๆ ละ 150 ตัน ซึ่งลักษณะขยะไม่มีการคัดแยก ทิ้งรวมกันในถัง 200 ลิตร ซึ่งทางศูนย์ไม่สามารถตัดแยกได้ต้องฝังกลบทั้งหมด จากข้อมูลบริบทพื้นที่และรายงานผลการดำเนินการบริหารจัดการศูนย์กำจัดมูลฝอยแบบครบวงจร ทำให้ทราบปัญหาขยะล้นในพื้นที่ อำเภอละงู จังหวัดสตูล และความจำเป็นในการหามาตรการจัดการปัญหาอย่างเร่งด่วน ซึ่งถ้าปล่อยไว้แหล่งท่องเที่ยว และสิ่งแวดล้อมจะเสื่อมโทรมในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลกระทบกับเศรษฐกิจ รายได้ และ สุขภาวะของคนในชุมชนอย่างแน่นอน รวมทั้งส่งผลถึงเงื่อนไขการต่ออายุอุทยานธรณีโลกสตูลที่ถือว่าเป็นแหล่งเรียนรู้ทางธรณีที่สำคัญ ทีมวิจัยตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้กำหนดแนวทางในการจัดการปัญหาขยะล้นด้วยการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง RDF-5 จากขยะชุมชนและขยะที่เผาไหม้ได้ จึงเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด และมีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงจากชีวมวลถึง 3 เท่า ในงานวิจัยนี้นำแนวคิดการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง RDF-5 โดยมีสมมุติฐานว่าน้ำยางจะช่วยให้เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตได้มีคุณสมบัติติดไฟง่ายและได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้น และได้มาตรฐานที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการ Jidapa Nithikul [3] ศึกษาศักยภาพการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF จากขยะชุมชนในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ประกอบด้วยพลาสติกมากกว่าร้อยละ 40 ขยะจากการเกษตรร้อยละ 30 กระดาษไม่เกินร้อยละ 10 และเศษอาหารร้อยละ 10 ทนง เกียรติ เกียรติศิริโรจน์ [4] สำรวจปริมาณและองค์ประกอบของขยะมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อหาศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 และพัฒนาเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตรวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุน ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าเท่ากับ 3.58 บาทต่อกิโลกรัม เท่าที่สืบค้นเอกสารรายงานวิจัย ยังไม่พบรายงานวิจัยที่ใช้น้ำยางหรือยางเป็นตัวประสาน (binder) สำหรับการผลิต RDF-5 ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับ รายงานวิจัยที่ผ่านมาได้อย่างไรก็ตามขณะนี้ มีบทความวิจัยที่คล้ายคลึงกันที่เตรียม RDF-5 จากผงขี้เลื่อย กระดาษลัง ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน และข้าวสุกตากแห้ง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นตัวประสาน [5] และใช้กระบวนการอัดรีด (extrusion) ในการเตรียม พบว่าการที่ใช้กลีเซอรอลเป็นตัวประสานทำให้ overall thermal efficiency เพิ่มขึ้นเหตุผลสำคัญที่โครงการนี้เลือกใช้ยางพาราเป็นตัวประสานเนื่องจากสมบัติของยางพารามีความเหนียวติดกันดี จึงคาดว่าจะสามารถยึดขยะให้เป็นแท่ง RDF-5 ได้อีกทั้งการใช้ยาพาราเป็นตัวเชื่อมประสานใน RDF-5 ยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้งานยางพาราซึ่งเป็นวัตถุดิบหมุนเวียนตามธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่นภาคใต้ให้มากขึ้น

เพื่อให้ขยะที่ถูกคัดแยกบางประเภทสามารถนำไปเพิ่มมูลค่าด้วยการเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (RDF-5) โดยจะไม่นำเอาขยะที่มูลค่ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ประกอบกับงานวิจัยนี้ได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการประเมินซ้ำการต่ออายุของอุทยานธรณีโลกเมื่อเดือนมิถุนายน 2565 ที่ผ่านมา ตามเกณฑ์ “ข้อที่ 3

คือ การสื่อความหมายเพื่อให้ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม” ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาศักยภาพการผลิต RDF-5 ในระดับห้องปฏิบัติการโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมขยะชุมชน

1. ขยะท้ายรางที่คัด ซึ่งก็เป็นขยะก่อนนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบ (รูปที่ 2) โดยทำการแยกขยะรีไซเคิลและขยะอินทรีย์ออกแล้ว (รูปที่ 1) ส่วนใหญ่เป็นถุงพลาสติก อายุการย่อยสลายประมาณ 450 ปี

รูปที่ 1 กระบวนการจัดการขยะของศูนย์จัดการขยะเทศบาลตำบลกำแพง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

2. บดชิ้นงานขยะชุมชน (ขยะท้ายราง) ให้มีขนาดประมาณ 1-2 cm x 1-2 cm ด้วยเครื่องบดย่อย (รูปที่ 2)

รูปที่ 2 (ซ้าย) ขยะท้ายรางที่ใช้ในการทดลอง (ขวา) ขยะที่ถูกบด ก่อนนำไปผสมกับยางพาราเพื่อผลิตเป็น RDF-5

2.2 การเตรียม RDF-5 ในระดับห้องปฏิบัติการแบบกะ (Batch)

1. ผสมขยะชุมชนและน้ำยางข้น ในถังผสมพร้อมปั่นกวนและให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออกจากน้ำยาง โดยแปรอุณหภูมิตั้งแต่ 50-90˚C และจับเวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำประมาณ 10 ในขั้นตอนนี้คาดว่ายางจะแทรกอยู่ระหว่างเกร็ดขยะชุมชนและสามารถประสานให้ขยะชุมชนติดกันเป็นแท่งได้

2. จากนั้นกดอัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อที่ 1 โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาด (ศก 15-30 mm ยาว 30- 150 mm) พร้อมให้ความร้อนโดยแปรอุณหภูมิ และหาอุณหภูมิ ของเครื่องกดอัดเพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิง RDF-5 ต้นแบบที่มีความหนาแน่นตามที่มาตรฐานกำหนด (600 kg/m^3)

3. เก็บข้อมูลผลการทดลอง เช่น อัตราส่วนของขยะชุมชนต่อน้ำยางที่เหมาะสม ตลอดจนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเพื่อเตรียม RDF-5 ในระบบต่อเนื่องต่อไป

2.3 การเตรียม RDF-5 ในระดับห้องปฏิบัติการแบบต่อเนื่อง (continuous) โดยเครื่องต้นแบบ Fix Unit RDF-5 แบบต่อเนื่อง

1. ผสมขยะชุมชนที่บดแล้วจากเครื่องบดย่อยกับน้ำยางข้น (DRC ประมาณ 60%) โดยแปรปริมาณเนื้อยางแห้งในช่วง 10-50% ของน้ำหนักขยะชุมชนดังแสดงในตารางที่ 1 ในถังผสมระดับห้องปฏิบัติการ พร้อมปั่นกวนผสม ประมาณ 10 นาที เพื่อให้วัตถุดิบเข้ากัน

2. นำวัตถุดิบจากข้อที่ 1 ส่งระบบการอัดรีด (extrusion) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 170 °C แล้วตัดตัวตัวอย่างเป็นท่อนตามความยาวที่ต้องการเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ยางพาราจะเป็นหน้าที่เป็นตัวช่วยเชื่อมประสานอัตราส่วนของเชื้อเพลิงและจะเย็นตัวลงเองอย่างรวดเร็วตามอุณภูมิห้องเมื่อเชื้อเพลิง RDF-5 ออกจากเครื่องอัดรีด (extrusion) นำเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-แบบกะ (batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 กระบวนการผลิต RDF-5 ในระดับห้องปฏิบัติการแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous)

ตารางที่ 1 ปริมาณอัตราส่วนวัตถุดิบสำหรับเตรียม RDF-5 ที่ใช้ในการศึกษา

(อัตราส่วน) ขยะชุมชน:ยาง	ขยะชุมชน (g)	เนื้อยางแห้ง (g)
100:0	50.0	0
0:100	0	50.0
95:5	47.5	2.5
75:25	37.5	12.5
50:50	25.0	25.0

2.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชนที่ผลิตได้เพื่อให้ได้มาตรฐานตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

1. นำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 และมลภาวะตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังนี้ ค่าความร้อน (heating value) (มาตรฐานอยู่ในช่วง 13 - 18 MJ/kg), ASTM D 5865 ปริมาณสารที่ เผาไหม้ได้ (volatile matter), ASTM D 3172 ปริมาณเถ้า (ash), ASTM D 3174 และปริมาณความชื้น (moisture) ซึ่งการหาค่าความร้อนเป็นการวิเคราะห์โดยตรง โดยการนำตัวอย่างขยะเชื้อเพลิงมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

2. วิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น (ASTM D3173), ค่าความชื้นและเวลาจุดติดไฟ (ASTM D792) ของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้

3. วิเคราะห์ Emission (Flue Gas Analyzer) ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ RDF-5 เช่น CO_2, NO_2, SO_2 และฝุ่นละออง เป็นต้น

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

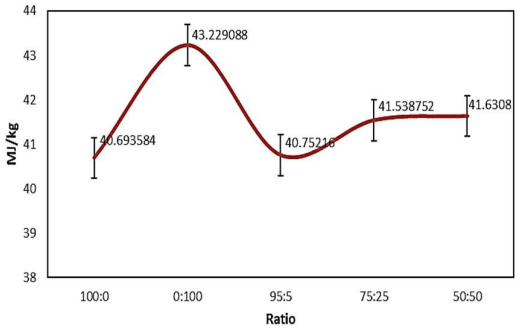
3.1 ผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่จากขยะชุมชนที่มียางพาราเป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่าค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน (%) ของยางพาราที่เติมลงไป (ตารางที่ 2) ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณของยางพารา โดยอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ อัตราส่วน 50:50 รองลงมาคือ 75:25, และ 95:5 มีค่าความร้อนเท่ากับ 41.63 MJ/kg, 41.54 MJ/kg และ 40.75 MJ/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5

อัตราส่วนขยะชุมชน:ยาง	ขยะชุมชน (g)	เนื้อยางแห้ง (g)	ผลการทดลองค่าความร้อน (MJ/kg)
100:0 (control)	50.0	0	40.69
0:100 (control)	0	50.0	43.23
95:5	47.5	2.5	40.75
75:25	37.5	12.5	41.54
50:50	25.0	25.0	41.63
Rubber (0:100) [7]	-	-	42.40

เมื่อเปรียบเทียบกับขยะชุมชนอย่างเดียว (100:0) มีค่าความร้อนเพียง 40.69 MJ/kg การเติมยางพาราลงไปในเชื้อเพลิง RDF-5 มีผลส่งเสริมการแบบ Synergism อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากยางพาราเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตามธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยส่งผลและสนับสนุนให้เกิดสันดาปทำให้เกิดติดไฟได้ง่ายเมื่อมีการสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจน ส่งเสริมทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อวัสดุชนิดนั้นมียางเป็นองค์ประกอบ จะเห็นว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วนมีค่าความร้อนสูงกว่ามาตรฐาน ASTM การผลิตเชื้อเพลิงแข็งที่ 15 MJ/kg [6] ดังนั้นสามารถนำเชื้อเพลิงละอัตราส่วนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ค่าความร้อน RDF-5

3.2 ผลของค่าความหนาแน่น, ค่าความชื้นและเวลาจุดติดไฟ ของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้

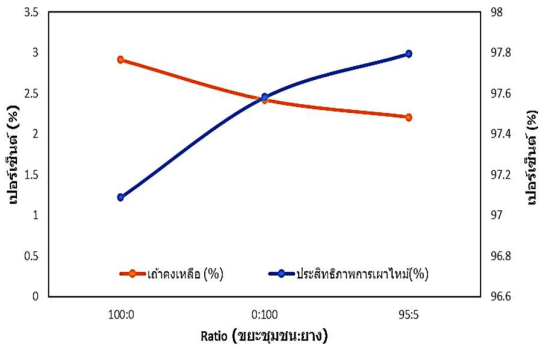
ความชื้น และเวลาจุดติดไฟของเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชนโดยมียางพาราเป็นตัวเชื่อมประสาน แต่ละอัตราส่วนลดลงตามปริมาณของยางพาราที่เติมลงไป เนื่องจากเนื้อยางพาราที่เติมลงไปเข้าแทนที่และระบายความชื้นออกไปทำให้ความชื้นของเชื้อเพลิงลดลงเมื่อมีปริมาณยางพาราเพิ่มมากขึ้น และปริมาณยางพาราที่เพิ่มขึ้นช่วยให้เวลาจุดติดไฟลดลงซึ่งก็คือการเพิ่มประสิทธิภาพการติดไฟทำให้เชื้อเพลิง RDF-5 จุดติดไฟได้ง่ายขึ้น (ตารางที่ 3) ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนแปรผกผันกับปริมาณยางพาราที่เติมลงไปส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสัดส่วนของยางพาราเพิ่มมากขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณค่าความร้อนที่ในรูปที่ 4 อาจเป็นเพราะยางพารามีคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง โดยสามารถกลับคืนสู่รูปร่างที่มีขนาดเท่าเดิมหรือขนาดใกล้เคียงได้อย่างรวดเร็ว ภายหลังการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากการที่มีแรงภายนอกมากระทำ [8] จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของ RDF-5 ลดลง เมื่อเติมยางพาราลงไปในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในเรื่องค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นแล้วยังส่งผลให้ปริมาณเถ้าลดลงด้วย เพราะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือการที่เชื้อเพลิงถูกใช้ไปเป็นพลังงานความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เกิด Emission และเถ้าน้อยกว่าการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ แต่การเติมยางพาราลงไปต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมด้วยถึงจะเป็นการส่งเสริมการแบบ Synergism เพราะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นด้วยเมื่อดำเนินการในระดับอุตสาหกรรม จากการทดลองพบว่าทุกอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองมีค่าเกินมาตรฐาน ASTM ที่ 600 kg/m^3 [6] สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ จากผลการทดลองในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าทุกอัตราส่วนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้

ตารางที่ 3 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของ RDF-5 จากขยะชุมชนที่มียางพาราเป็นตัวเชื่อมประสาน

รายการ	อัตราส่วนขยะชุมชนต่อยาง (โดยน้ำหนัก)			
	100:0	95:5	75:25	50:50
ค่าความร้อน (MJ/kg)	40.69	40.75	41.54	41.63
ปริมาณความชื้น (%)	0.87	0.36	0.17	0.09
ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	850	830	787	749
เวลาจุดติดไฟ (min)	20.41	12.67	11.04	10.19

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วน 95:5 (ขยะชุมชน 95%+ ยาง 5%) ปริมาณเถ้าลอยลดลง แสดงว่า

จากการทดลองเติมยางพาราเป็นตัวเชื่อมประสานที่ 5% ทำให้กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นส่งผลให้ปริมาณเถ้าลอยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100:0 (ขยะชุมชน 100%) และ 0:100 (ยาง 100%) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำ RDF-5 ที่ใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่น ดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 4 ซึ่ง %Ash ของอัตราส่วน 95:5 (ขยะชุมชน 95%+ ยาง 5%) มีค่าเพียง 2.21% (รูปที่ 5) ซึ่งน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ RDF ประเภทอื่น ดังตารางที่ 4 การทดลองเติมยางพาราเป็นตัวเชื่อมประสาน ทำให้กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นส่งผลให้เวลาในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงเร็วขึ้นหรือติดไฟได้ง่ายขึ้น เกิดปริมาณเถ้าน้อยลง เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่การเติมการเติมยางพาราลงไปในปริมาณที่สูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต RDF-5 ทีมวิจัยจึงเลือกพัฒนา 95:5 (ขยะชุมชน 95%+ ยาง 5%) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสำหรับการขยายเป็นระดับ Pilot-Scale ต่อไป เนื่องจากมีความเป็นไปได้ด้านประสิทธิภาพการเผาไหม้และด้านสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการเผาไหม้และเถ้าคงเหลือ(%)

3.3 ผลของ Emission ที่เกิดจากระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง RDF-5

จากการวิเคราะห์ Emission ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ RDF-5 (95:5) พบว่ามีค่า SO_2 เท่ากับ 1.05 ppm, CO_2 เท่ากับ 3.25 ppm, NOx เท่ากับ 90.68 ppm และฝุ่นละออง 112.45 mg/m^3 ซึ่งทุกค่าผ่านมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ผ่านมาตรฐานของ Emission ของโรงไฟฟ้าชีวมวลและมีค่าน้อยกว่า Emission ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 5

กระบวนการเผาไหม้ RDF-5 ปริมาณ Emission ขึ้นอยู่กับสัดส่วนอย่างพาราที่เหมาะสมหรือปริมาณยางพาราที่นำมาใช้ผสม โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) น่าจะมีน้อยหรือไม่มีเลยเนื่องจากยางที่ใช้ในการทดลองไม่มีการใช้กรดที่มีสารประกอบของสารซัลเฟอร์ในกระบวนการผลิต อีกทั้งการใช้ RDF-5 น่าจะเป็นการลดปัญหา Emission เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของ RDF

RDF	Percent (%)							
	C	H	O	N	S	CL	H_2O	Ash
Paper	34.4	4.72	32.4	0.16	0.21	0.24	21	4.62
Plastic	56.4	7.79	8.05	0.85	0.29	3.00	15	8.59
wood	41.2	5.03	34.5	0.02	0.07	0.09	16	2.82
Textile	37.2	5.02	27.1	3.10	0.28	0.27	25	1.98
Leather, Rubber	43.1	5.37	11.6	1.34	1.17	4.978	10	22.5

ที่มา : [9]

ตารางที่ 5 ผลของ Emission ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ RDF-5 (95:5) เปรียบเทียบกับกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลและค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

Emission	RDF-5 (95:5)	Diesel [10]	Standard [11]	Standard [12]
SO_2 (ppm)	1.05	-	< 30	ไม่เกิน 60
CO_2 (ppm)	3.25	4.28	-	-
NO_x (ppm)	90.68	104.25	< 250	ไม่เกิน 200
ฝุ่นละออง (mg/m^3)	112.45	-	< 400	ไม่เกิน 120

4. สรุป

จากการศึกษาที่อัตราส่วนขยะชุมชนต่อยาง 100:0, 0:100, 95:5, 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่า ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน (%) ของยางพาราที่เติม ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณของยางพาราที่เติม ความชื้นและเวลาจุดติดไฟของเชื้อเพลิง RDF-5 แต่ละอัตราส่วนลดลงตามปริมาณของยางพาราที่เติมลงไป เนื่องจากเนื้อยางพาราที่เติมลงไปเข้าแทนที่และระบายความชื้นออกไปทำให้ความชื้นของเชื้อเพลิงลดลงเมื่อมีปริมาณยางพาราเพิ่มมากขึ้น และปริมาณยางพาราที่เพิ่มขึ้นช่วยให้เวลาจุดติดไฟลดลงซึ่งก็คือการเพิ่มประสิทธิภาพการติดไฟ ทำให้เชื้อเพลิง RDF-5 จุดติดไฟได้ง่ายขึ้น ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนแปรผกผันกับปริมาณยางพาราที่เติมลงไปส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสัดส่วนของยางพาราเพิ่มมากขึ้น แต่การเติมการเติมยางพาราลงไปในปริมาณที่สูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต RDF-5 ทีมวิจัยจึงเลือกพัฒนาอัตราส่วน 95:5 (ขยะชุมชน 95%+ ยาง 5%) ในการทำการทดลองต่อไปเพื่อขยายขนาดของระบบ (Scale-up) เป็นระบบต้นแบบ (Prototype) กำลังการผลิต 1 ตัน/วัน เนื่องจากมีความเป็นไปได้ด้าน ประสิทธิภาพการเผาไหม้และด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากค่า Emission ผ่านมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (SO_2, CO_2, NOx และฝุ่นละออง) ตามประกาศราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 7 ง หน้าที่ 18-20 ลงวันที่ 15 มกราคม 2553

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทุกคน ทั้งด้านข้อเสนอแนะทางวิชาการ แรงงาน ขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีการยางและพอลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ สถานที่วิจัย และสุดท้ายขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้สนับสนุนสถานที่ทำวิจัยและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยทำให้โครงการวิจัยนี้สามารถดำเนินการแล้วเสร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เพื่อประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาประเทศต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Satun Provincial Statistical Office, “Satun Provincial Statistical Report 2019”, 2019.

[2] Satun Provincial Natural Resources and Environment Office, “Satun Provincial Development Plan”, 2019.

[3] N. Jidapal, “Potential of refuse-derived production from Bangkok municipal solid waste,” M.S. Thesis, Department of Environmental Engineering and Management, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2007.

[4] K. Thanongkiat, “Demonstration of the conversion of waste in the university to energy in the form of heat. Faculty of Engineering,” Chiang Mai University, Chiang Mai, 2011.

[5] J. Jindaporn and L. Chaloenporn, “Properties of Densified-Refuse Derived Fuel Using Glycerin as a Binder”, *Energy procedia*, vol. 100, pp. 505-510, 2015.

[6] W. Punin, S. Maneewan and C. Punlek, “The feasibility of converting solid waste into refuse-derived fuel 5via mechanical biological treatment process”. *J. mater cycles waste manage*, vol.16, no. 4, 2013.

[7] M. Ioelovich, “Energy Potential of Natural, Synthetic Polymers and Waste Materials - A

Review", *Academic Journal of Polymer Science*, vol. 1, no. 1, pp. 9-23, 2018.

[8] S. Chitlada, "Natural rubber technology: New knowledge about natural rubber from molecular structure to industrial applications = Natural rubber technology," Bangkok: Technobiz Communications, 2010.

[9] F. D. Maria and Gregorio, "RDF to energy plant for a central Italian region SUW management system: Energetic and economical analysis", *Journal of Thermal engineering*, vol. 26, pp. 1291-1300, 2006.

[10] D. Nattawut, "Research report on the demonstration of waste conversion in universities to heat energy," Bangkok: National Research Office, 2011.

[11] Pollution Control Department, "Thailand Pollution Situation Report 2011," Ministry of Natural Resources and Environment, 2011.

[12] Pollution Control Department, "Announcement of the Ministry of Natural Resources and Environment on the determination of air pollution control standards from new power plants", 2010.