

การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Production Of RDF-5 Fuel From Waste Within Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus

สมมาตร ศรีประเทือง^{1*} ฐิติ หมอรักษา¹ และ สุรพงษ์ โช้ทอง²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตจันทบุรี

Sommart Sripratuang^{1*} Thiti Mhoraksa¹ and Surapong Sotong²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Integrated Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

²Department of Mechanical Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok Chanthaburi Campus

*Corresponding author Email: sommart_sr@mutto.ac.th

(Received: November 21, 2024; Revise: December 30, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขยะและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรมและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งขยะที่นำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ประกอบด้วย กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยใช้แ่งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน โดยในการผลิต มี 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) รวบรวมวัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 2) การลดขนาด 3) การผสม 4) การอัดแท่ง โดยทำการทดสอบค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 240, ค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D 3173, ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D 3174, ค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM E 75 และเวลาจุดติดไฟ ตามลำดับ ในการหาส่วนผสมที่เหมาะสม จะทำการศึกษาจาก 4 ส่วนผสม คือ 50:50:50 (กรัม), 75:50:50 (กรัม), 50:75:50 (กรัม) และ 50:50:75 (กรัม) จากผลการวิจัยนี้ พบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมของเชื้อเพลิง RDF-5 คือ ส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 มากที่สุดเนื่องจากมีค่าความร้อนเท่ากับ 5,842.09 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.62, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8, ค่าความหนาแน่น 968.18 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 27.57 นาที (ค่าความร้อนไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน 5,000 Cal/g, ค่าความชื้นไม่เกินมาตรฐานร้อยละ 10, ปริมาณเถ้าไม่เกินมาตรฐาน ร้อยละ 20 และค่าความหนาแน่นไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน 600 Kg/m³ ตามลำดับ) 1) ผลการลดขยะพบว่า มีปริมาณขยะเกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จำนวน 261.43 กิโลกรัมต่อวัน การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุดมีน้ำหนักอยู่ที่ 175 กรัม แบ่งเป็นกระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถลดปริมาณขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ได้ร้อยละ 0.38 ต่อวัน 2) ผลการนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินพบว่าสามารถนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินเพื่อช่วย

ให้มีค่าความร้อนและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงได้ 3) ผลการศึกษาด้านทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางด้านความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟดีที่สุด มีต้นทุนการผลิต 7.85 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอย เชื้อเพลิง RDF-5

Abstract

This research is a study and processed waste into fuel. RDF-5 aims to reduce waste and use as fuel with coal in the industry and analysis of manufacturing costs. Waste used in production including paper, plastic, twigs and leaves waste as the raw material for RDF-5 fuel production, with tapioca starch 2 percent by weight as binder. The research identifies four production steps, including gathering materials, reducing waste size, mixing waste materials with tapioca starch, and compressing with hydraulic press. The research tested the RDF-5 fuel with ASTM standards, including ASTM D 240, ASTM D 3173, ASTM D 3174, ASTM E 75, and timer in the burning of RDF-5 fuel. In finding the right mix Will study from 4 ingredients, namely 50:50:50 (grams), 75:50:50 (grams), 50:75:50 (grams) and 50:50:75 (grams). The study conducted four experiments to determine the optimal mixture, which resulted in 50:50:75 (grams) paper, plastic, twigs and leaves. The research found that the heat value of RDF-5 fuel is 5,842.09 Cal/g, moisture content is 6.62 percent, ash content is 8 percent, and density is 968.18 Kg/m³. The burning time is 27.57 minutes. (The calorific value is not lower than the standard of 5,000 calories per grams, The moisture value does not exceed the standard 10 percent, The ash content does not exceed the standard 20 percent and The density is not lower than the standard 600 kg/m³ respectively). 1) The waste reduction results showed that there was a large amount of waste generated in Rajamangala University of Technology Tawan Tawan-ok. Chanthaburi Campus, 261.43 kg per day Production of RDF-5 fuel in the best blend It weighs 175 grams Divided into 50 grams of paper, 50 grams of plastic, and 50 grams of twigs and leaves When used to produce RDF-5 fuel in the amount of 1 kg per day will be able to reduce the amount of waste in Rajamangala University of Technology Tawan Tawan-ok Chanthaburi Campus 0.38 percent per day. 2) The research also found that RDF-5 fuel can be used with coal to increase heat and efficiency while reducing coal consumption. 3) The cost of production of RDF-5 fuel was found to be 7.85 baht per kilogram.

Keywords: Solid Waste, RDF-5 Fuel

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี เป็นมหาวิทยาลัยที่มีขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ตั้งอยู่ในเขตตำบลพลวง อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดจันทบุรี มีพื้นที่ 1,576 ไร่ 1 งาน 73 ตารางวา ประกอบด้วยพื้นที่สำหรับการศึกษา ที่พักอาศัย ฟาร์ม สวนผลไม้ ป่า และสระน้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภค วิทยาเขตจันทบุรีเป็นมหาวิทยาลัยที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรเป็นอันมาก ซึ่งทางพื้นที่ที่เป็น

ฟาร์ม สวนผลไม้ และวัชพืชที่ขึ้นในพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้ขึ้น วัชพืชส่วนมากเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับการเกษตรของคนได้เป็นอย่างดี ประกอบกับจังหวัดจันทบุรีเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี ทำให้วัชพืชงอกงามการกำจัดจึงเป็นไปได้ด้วยความลำบาก ภายในมีหอพักนักศึกษาและบ้านพักบุคลากรอยู่ในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัย จึงมีปริมาณขยะเกิดขึ้นค่อนข้างมาก ซึ่งขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีปริมาณ 261.43 กิโลกรัม หากสามารถนำขยะที่เหลือทิ้งเหล่านี้มาแปรรูปเป็นพลังงานจะสามารถลดปัญหาการสะสมของปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย ทั้งในทางทฤษฎีปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทั้งในรูปของพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย เช่น การนำความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้ขยะมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี โดยหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม มุ่งเน้นที่การลดปริมาณขยะด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สร้างมูลค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะเปลี่ยนขยะ เช่น กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดปริมาณขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและวิธีการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

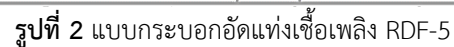
- 1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้
- 2) ตัวประสาน คือ แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนัก
- 3) ออกแบบการทดลอง

ตัวอย่าง	กระดาษ (กรัม)	พลาสติก (กรัม)	กิ่งไม้และใบไม้ (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)
A	50	50	50	2%
B	75	50	50	2%
C	50	75	50	2%
D	50	50	75	2%

4) ทดสอบ/เก็บผล ค่าความร้อน (ASTM D 240), ค่าความชื้น (ASTM D 3173), ปริมาณเถ้า (ASTM D 3174), ค่าความหนาแน่น (ASTM E 75), เวลาจุดติดไฟ

2.2 ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบกระบอบอัดแท่งเชื้อเพลิง แท่งอัดเชื้อเพลิง และฐานรองแท่งอัดเชื้อเพลิง ประกอบด้วย กระบอบอัดชิ้นที่ 1 กระบอบอัดชิ้นที่ 2 ฐานรองแท่งอัดและแท่งอัด รูปที่ 1 การออกแบบกระบอบอัดแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 รูปที่ 2 แบบกระบอบอัดแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 1) กระบอบอัดชิ้นที่ 1 เหล็กเพลานขนาด 50 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร เจาะรู 30 มิลลิเมตร 2) กระบอบอัดชิ้นที่ 2 เหล็กเพลานขนาด 50 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร เจาะรู 30 มิลลิเมตร 3) ฐานรองแท่งอัด เหล็กเพลานขนาด 29.8 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร 4) แท่งอัด เหล็กเพลานขนาด 29.8 มิลลิเมตร ยาว 220 มิลลิเมตร วัสดุทำจากเหล็กเพลานขาว



1) วัสดุที่ต้องเตรียมคือ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ รูปที่ 3 วัสดุผสม RDF-5 กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้



รูปที่ 3 วัสดุผสมRDF-5 กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้

- 2) นำกระดาษ กิ่งไม้และใบไม้ มาป่นให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปอัดแท่งตาม รูปที่ 4 และ รูปที่ 5
- 3) ตัดถุงพลาสติกให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปอัดแท่ง รูปที่ 6



รูปที่ 4 กระดาษ



รูปที่ 5 กิ่งไม้และใบไม้ป่น



รูปที่ 6 ถุงพลาสติกที่ผ่านการตัดลดขนาด

- 4) ชั่งอัตราส่วนผสมของตัวอย่างแสดง รูปที่ 7



ก.กระตาศ



ข.พลาสติก



ค.กิ่งไม้และใบไม้

รูปที่ 7 ชั่งอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง

- 5) ชั่งน้ำหนักตัวประสานแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนัก รูปที่ 8



รูปที่ 8 ชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2



รูปที่ 9 ผสมวัสดุที่เตรียมไว้

- 6) นำวัสดุที่เตรียมไว้มาผสมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นผสมวัสดุเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 9 ผสมวัสดุที่เตรียมไว้

2.4 การอัดขึ้นรูป

นำวัสดุที่เตรียมไว้กรอกใส่กระบอกดอัด แล้วนำไปอัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงในการอัด 6 ตัน จากนั้นตรวจสอบขนาดและชั่งน้ำหนักแท่งเชื้อเพลิง นำวัสดุใส่กระบอกดอัดแท่งที่เตรียมไว้ ก่อนนำไปอัด รูปที่ 10 อัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงในการอัด 6 ตัน รูปที่ 11 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหลักจากการอัด รูปที่ 12



รูปที่ 10 นาวีสตู่ใส่กระบอกอัด



รูปที่ 11 อัดด้วยแท่นอัดไฮดรอลิก



รูปที่ 12 เชื้อเพลิง RDF-5 ที่ได้จากกากอัด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่าง	กระดาษ (กรัม)	พลาสติก (กรัม)	กิ่งไม้และใบไม้ (กรัม)	ตัวประสาน (แบริ่งมันสำปะหลัง)
A	50	50	50	2%
B	75	50	50	2%
C	50	75	50	2%
D	50	50	75	2%

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5 จากการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเชื้อเพลิง RDF-5 ต่อค่าพลังงานความร้อน จาก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยใช้แบริ่งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสานไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงต่างๆ โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ได้จากกากอัดไปวิเคราะห์โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน (ASTM)

1) ค่าความหนาแน่น (ASTM E 75)

หลังจากการอัดแท่ง นำเชื้อเพลิง RDF-5 มาชั่งน้ำหนัก รูปที่13 วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปที่14 จากนั้นนำไปคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร (ทำการทดลองซ้ำ ส่วนผสมละ 3 ครั้ง)
หาปริมาณความหนาแน่น

$$\rho = m/V$$

สมการที่ 1

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น (หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวล (หน่วยเป็น กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตร (หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 13 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 14 วัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง

2) ค่าความร้อน (ASTM D 240)

นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก 0.5 กรัม รูปที่ 15 นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ชั่งน้ำหนักไปแขวนไว้กับฝากระบอกล แคลซูล จากนั้นนำเส้นด้ายมาพันกับหลอด รูปที่ 16 นำปลายเส้นด้ายแต่ละกับตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 แล้วนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 เข้ากระบอกล แคลซูล รูปที่ 17 จากนั้นทำการปิดฝาให้แน่นแล้วนำมาอัดออกซิเจน รูปที่ 18 นำกระบอกล แคลซูลใส่ไปในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รูปที่ 19 เก็บผลการทดสอบ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)



รูปที่ 15 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 0.5 กรัม



รูปที่ 16 นำปลายเส้นด้ายแต่ละกับตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 17 นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ใส่กระบอกล แคลซูลแล้วปิดให้แน่น



รูปที่ 18 นำมาอัดออกซิเจน

3) ค่าความชื้น (ASTM D 3173)

นำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 ชั่งน้ำหนัก 1 กรัม บนเครื่องทดสอบความชื้น รูปที่ 19 ปิดฝาครอบเครื่องทดสอบความชื้น หลังจากปิดฝาครอบ รูปที่ 20 เครื่องจะทำงานอัตโนมัติ ผลของการทดสอบความชื้นจะแสดงบนจอ LED ของเครื่องทดสอบความชื้น (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)



รูปที่ 19 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 1 กรัม



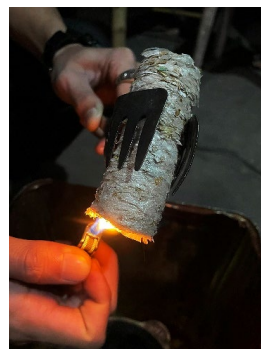
รูปที่ 20 ปิดฝาครอบเครื่องทดสอบความชื้น

4) เวลาจุดติดไฟ

นำเชื้อเพลิง RDF-5 มาชั่งน้ำหนัก รูปที่ 21 จากนั้นทำการจุดไฟ รูปที่ 22 นำไปไว้ในถังขยะในที่โล่งแจ้ง รูปที่ 23 (เพื่อให้เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์) เริ่มจับเวลาตอนไฟเริ่มจุดติดแล้ว รูปที่ 24 รอไฟดับจนเหลือแต่เถ้าทำการตรวจสอบเวลาจุดติดไฟ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) โดยแต่ละแท่งน้ำหนัก 50 กรัม เท่านั้น



รูปที่ 21 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 22 จุดไฟแท่งเชื้อเพลิง RDF-5



รูปที่ 23 นำไปไว้ในถังกะสี



รูปที่ 24 ตรวจสอบเวลาจุดติดไฟ

5) ปริมาณเถ้า (ASTM D 3174)

ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5 ก่อนนำมาเผา รูปที่ 25 หลังจากเชื้อเพลิง RDF-5 เเผาไหม้หมดแล้ว นำเถ้าที่ได้มาชั่งน้ำหนัก รูปที่ 26 คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตรคำนวณ (ทำการทดลองซ้ำ ส่วนผสมละ 3 ครั้ง) โดยแต่ละก้อน 50 กรัม เท่านั้น

ปริมาณเถ้า (%)

$$= (A/B) \times 100$$

สมการที่ 2

โดยที่

A = น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)



รูปที่ 25 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง RDF-5 แล้วนำมาเผา



รูปที่ 26 น้ำหนักเถ้าที่ได้

3. ผลการทดลอง

ผลการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิง RDF-5 กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ที่ส่วนผสมต่างกัน โดยใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับ 2% ของน้ำหนัก เป็นตัวประสานมี 4 ตัวอย่าง ได้แก่ กระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 27, กระดาษ 75 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 28, กระดาษ 50 กรัม พลาสติก 75 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 50 กรัม รูปที่ 29 และกระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม รูปที่ 30 ตามลำดับ



รูปที่ 27 ตัวอย่าง A ส่วนผสม 50:50:50 (กรัม)



รูปที่ 28 ตัวอย่าง B ส่วนผสม 75:50:50 (กรัม)



รูปที่ 29 ตัวอย่าง C ส่วนผสม 50:75:50 (กรัม)



รูปที่ 30 ตัวอย่าง D ส่วนผสม 50:50:75 (กรัม)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Kg/m^3) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(Kg/m^3)			เฉลี่ย($\bar{x}$) (Kg/m^3)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	966.27	987.92	1,010.50	988.23
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	1,010.50	1,025.15	1,040.22	1,025.29
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	1,040.22	1,032.63	1,037.17	1,036.67
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	982.43	955.88	966.33	968.18

จากตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่น ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง C มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ $1,036.67 \text{ Kg/m}^3$ และตัวอย่าง D มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ 968.18 Kg/m^3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความร้อน (Cal/g) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5	ส่วนผสม (กรัม)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง)	ตัวอย่างแห้งที่(Cal/m^3)			เฉลี่ย($\bar{x}$) (Cal/m^3)
			1	2	3	
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	5,243.06	5,129.01	5,312.14	5,228.07
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	5,517.24	5,334.27	5,423.56	5,425.02
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	5,702.05	5,841.95	5,792.05	5,778.68
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	5,833.01	5,990.13	5,703.13	5,842.09

จากตารางที่ 3 แสดงค่าความร้อน ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง D มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ $5,842.09 \text{ Cal/g}$ และตัวอย่าง A มีค่าความร้อนน้อยที่สุดคือ $5,228.07 \text{ Cal/g}$

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความชื้น (ร้อยละ) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง	ส่วนผสม	ตัวประสาน	ตัวอย่างแท่งที่(ร้อยละ)			เฉลี่ย(%)
RDF-5	(กรัม)	(แป้งมันสำปะหลัง)	1	2	3	(ร้อยละ)
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	5.36	5.71	5.98	5.68
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	7.05	6.45	6.93	6.81
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	4.76	4.92	5.03	4.90
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	4.77	8.79	6.31	6.62

ตารางที่ 4 แสดงค่าความชื้น (%) ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง C มีค่าความชื้นน้อยที่สุดคือ 4.9 และ ตัวอย่าง B มีค่าความชื้นมากที่สุดคือ 6.81

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเวลาจุดติดไฟ (นาทิจ) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง	ส่วนผสม	ตัวประสาน	ตัวอย่างแท่งที่(นาทิจ)			เฉลี่ย(นาทิจ)
RDF-5	(กรัม)	(แป้งมันสำปะหลัง)	1	2	3	(นาทิจ)
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	22.28	23.17	21.50	22.32
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	22.03	20.29	21.56	21.29
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	18.58	17.42	18.08	18.03
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	28.19	27.43	27.08	27.57

จากตารางที่ 5 แสดงเวลาจุดติดไฟ ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง D จุดติดไฟนานที่สุดคือ 27.57 นาทิจ และตัวอย่าง C จุดติดไฟน้อยที่สุดคือ 18.03 นาทิจ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณเถ้า (ร้อยละ) ของเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง	ส่วนผสม	ตัวประสาน	ตัวอย่างแท่งที่(ร้อยละ)			เฉลี่ย(%)
RDF-5	(กรัม)	(แป้งมันสำปะหลัง)	1	2	3	(ร้อยละ)
A	50:50:50	2% ของน้ำหนัก	8	6	6	6.7
B	75:50:50	2% ของน้ำหนัก	10	8	8	8.7
C	50:75:50	2% ของน้ำหนัก	10	10	8	9.3
D	50:50:75	2% ของน้ำหนัก	8	6	10	8

จากตารางที่ 6 แสดงปริมาณเถ้า (%) ของเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า ตัวอย่าง A มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุดคือ 6.7 และตัวอย่าง C มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ 9.3

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบเชื้อเพลิง RDF-5 จาก กระดาษ : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ ที่ส่วนผสมต่างกัน โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนัก เป็นตัวประสาน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ 50:50:50 (กรัม) , 75:50:50 (กรัม), 50:75:50 (กรัม) และ 50:50:75 (กรัม) เปรียบเทียบกับมาตรฐานASTM

ลำดับ	มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ			
		A	B	C	D
1	ความหนาแน่น มากกว่า 600 Kg/m ³	988.23	1,025.29	1,036.67	968.18
2	ปริมาณความร้อน ไม่น้อยกว่า 5000 (Cal/g)	5,228.07	5,425.02	5,778.68	5,842.09
3	ปริมาณความชื้น ไม่เกินร้อยละ 10	5.68	4.90	4.90	6.62
4	ปริมาณเถ้า ไม่เกินร้อยละ 20	6.7	9.3	9.3	8
5	เวลาจุดติดไฟ	22.32	18.03	18.03	27.57

4. ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาพบว่า สามารถผลิตและทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยนำ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ที่เหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ผลการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

1) การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จาก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนประกอบด้วย การคัดแยกขยะ การลดขนาด การผสม และการอัดแท่ง โดยขนาดของแท่งเชื้อเพลิงแข็งจาก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

2) ขั้นตอนการผสม เป็นการผสมกระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ กับตัวประสาน เพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงคงสภาพเป็นแท่งไม่แตกหักง่าย ใช้แ่งมันร้อยละ 2 ของน้ำหนัก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้

4.2 จากการวิเคราะห์หาส่วนผสมและตัวประสานที่เหมาะสมสรุปว่า

1) ส่วนผสม กระดาษ : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:50:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5228.07 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 5.68, ปริมาณเถ้าร้อยละ 6.7, ค่าความหนาแน่น 988.23 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 22.32 นาที

2) ส่วนผสม กระดาษ : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 75:50:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5425.02 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.81, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8.7, ค่าความหนาแน่น 1025.29 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 21.29 นาที

3) ส่วนผสม กระดาษ : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:75:50 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5778.68 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 4.90, ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.3, ค่าความหนาแน่น 1036.67 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 18.03 นาที

4) ส่วนผสม กระดาษ : พลาสติก : กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแ่งมันสำปะหลัง 2% ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน ที่ 50:50:75 (กรัม) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 5842.09 Cal/g, ค่าความชื้นร้อยละ 6.62, ปริมาณเถ้าร้อยละ 8, ค่าความหนาแน่น 968.18 Kg/m³ และเวลาจุดติดไฟ 27.57 นาที

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM พบว่า ค่าความร้อนทั้ง 4 ส่วนผสมสูงกว่า ค่ามาตรฐาน คือ 5000 Cal/g, ค่า

ความชื้นทั้ง 4 ส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ 10, ปริมาณเถ้าทั้ง 4 ส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ 20, ค่าความหนาแน่นทั้ง 4 ส่วนผสมสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ 600 Kg/m^3 และเวลาจุดติดไฟ 22.32 นาที

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง RDF-5

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง RDF-5 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 240 เพื่อหาค่าความร้อน โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิง RDF-5 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ASTM D 3173 หาค่าความชื้น ASTM D 3174 หาปริมาณเถ้า ASTM E 75 หาค่าความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ พบว่า ส่วนผสมของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงจาก กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ โดยมีแบริ่งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ของน้ำหนักเป็นตัวประสาน คือ ส่วนผสม 50:50:75 (กรัม) เนื่องจากมีค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับ ส่วนผสม 50:50:50 (กรัม), 75:50:50 (กรัม) และ 50:75:50 (กรัม)

4.4 ผลการลดขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าปริมาณขยะเกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จำนวน 261.43 กิโลกรัมต่อวัน การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุด มีน้ำหนักอยู่ที่ 175 กรัม แบ่งเป็น กระดาษ 50 กรัม พลาสติก 50 กรัม กิ่งไม้และใบไม้ 75 กรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถลดปริมาณขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ได้ร้อยละ 0.38 ต่อวัน

4.5 ผลการนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรม

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าถ่านหินที่นิยมใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ คือ ถ่านหินลิกไนต์ ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ คือมีความร้อนต่ำ ความชื้นสูง ปริมาณเถ้าสูง นอกจากนั้นยังมีถ่านหินคุณภาพสูง คือ ถ่านหินซับบิทูมินัส และถ่านหินแอนทราไซต์อยู่เพียงเล็กน้อยซึ่งค่าความร้อนของถ่านหินลิกไนต์และซับบิทูมินัส มีค่าความร้อนระหว่าง 2,800-5,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้น เชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าความร้อนที่ 5,842.09 แคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถนำไปใช้ร่วมกับถ่านหินในอุตสาหกรรมเพื่อช่วยให้มีค่าความร้อนและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงได้

4.6 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

จากการศึกษา พบว่า ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในส่วนผสมที่ 50:50:75 (กรัม) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางด้านความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และเวลาจุดติดไฟ ดีที่สุด มีต้นทุนการผลิต 7.85 บาทต่อกิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสรีจสมบุรณ์ โดยได้รับการสนับสนุนจากงบอุดหนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Wirunphan, T. Saipleanand, and P. Jaichompoo, "Production of Compressed Charcoal Fuel from the Waste Materials Collected after Processing Khao-Larm," *RMUTL Engineering Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 1–15, 2017. doi: <https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2017.1> (in Thai)

- [2] W. Punina, S. Maneewan, and S. Prachakiew, “Life Cycle Assessment of Refuse Derived Fuel 5 Composed of the Mechanical Biological Waste Treatment and Crude Oil Sludge,” *Naresuan University Journal: Science and Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 138–148, 2014. (in Thai)
- [3] W. Pinate, and D. Dangphonthong, “Production of RDF-5 Fuel from Lampang Community Waste,” *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 14–28, 2024. (in Thai)
- [4] W. Chiaramat, “Study on Social Returns from Investment in Electricity Generation from RDF Waste Fuel Power Plants.,” Bangkok: National Institute of Development Administration, <https://repository.nida.ac.th/handle/662723737/4998>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [5] S. Sothonsak, Production of Compressed Fuel from Waste Materials from The Production Process of Grass Jelly. This Research Studies the Transformation of Grass Jelly Waste. Maha Sarakham: Maha Sarakham University., <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/193/1/58010351003.pdf>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [6] S. Sangsuwan, Guidelines for Developing Community Power Plants from Waste for Sustainable Energy Security., <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jssr/article/download/243230/166702/861909>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [7] Quality and Environmental Development Association, Solid Waste., https://maehongson.labour.go.th/attachments/article/196/48635_001.pdf. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)
- [8] S. Ketwan, R. Jinduang, and S. Ketphan, Production of Charcoal Briquettes from Sago Bark, Songkhla., <https://riss.rmuts.ac.th/upload/doc/201910/zSfdLlejnD8vpkqX8MHE/zSfdLlejnD8vpkqX8MHE.pdf>. (accessed Sep. 18, 2022). (in Thai)