การประเมินสมบัติเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกรวมด้วยระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อการจัดการขยะชุมชนอย่างยั่งยืน

พชรพร ธนเลิศพิพัฒน์[1*], และ พลวัฒน์ ดำรงกิจภากร[2]

[1]โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา) ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[2]กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา)
ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[*]Corresponding author: thanalertpipat@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะพลาสติกตกค้างและการจัดการที่ไม่ถูกวิธีเป็นวาระเร่งด่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพประชาชน งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพและประเมินสมบัติเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil) จากกระบวนการผลิตจริงของ บริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด ซึ่งใช้ระบบเตาปฏิกรณ์แบบกะทัดรัด (Compact Skid) และนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ตามมาตรฐาน ASTM

ผลการทดสอบเชิงลึกพบว่า น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index) สูงถึง 59.6 และมีค่าความร้อนรวม (Gross Heating Value) 10,184 cal/g ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการจุดระเบิดและการให้พลังงานความร้อนที่เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ยังมีปริมาณกำมะถันต่ำเพียง 26.92 ppm ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรม จุดเด่นที่สำคัญคือกระบวนการแตกตัวทางความร้อนที่สมบูรณ์ ปราศจากแว็กซ์หนัก (Heavy waxes) ที่ก่อให้เกิดการอุดตัน อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านความหนืดจลน์ (1.359 cSt) และจุดวาบไฟ (< 40 °C) ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว เนื่องจากลักษณะการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบากลุ่มแนฟทา (Naphtha) ที่มีช่วงจุดเดือดกว้าง (83.7 - 280.5 °C)

งานศึกษานี้สรุปได้ว่า ระบบ Compact Skid มีศักยภาพสูงในการผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับการเผาไหม้ภายนอก เช่น หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม หรือเตาเผาทางการเกษตร และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยกระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) เพื่อแยกสารประกอบส่วนเบาที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 150 °C ออก ซึ่งจะช่วยยกระดับความปลอดภัยและสมบัติให้เทียบเท่ามาตรฐานยานยนต์ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ด้านการจัดการขยะชุมชนและพลังงานสะอาดอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส / ขยะพลาสติก / พลังงานทางเลือก / เศรษฐกิจหมุนเวียน / การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน

Fuel property assessment and thermal efficiency of Mixed plastic pyrolysis oil from a compact skid reactor for austainable municipal waste management

Pacharaporn Thanalertpipat[1*], and Pollawat Dumrongkitpakorn[2]

[1]The Demonstration School of Silpakorn University (Secondary), Nakhon Pathom, Thailand
[2]Department of Science and Technology, The Demonstration School of Silpakorn University (Secondary), Nakhon Pathom, Thailand
**Corresponding author: thanalertpipat@gmail.com*

Abstract

Plastic waste management and its residues are critical environmental challenges requiring urgent sustainable solutions. This research aims to evaluate the potential and assess the fuel properties of converting mixed plastic waste into energy (Waste-to-Energy) via pyrolysis. The study analyzed pyrolysis oil samples obtained from the commercial production process of Current Energy Co., Ltd., utilizing a compact skid reactor system. The physicochemical properties of the resultant oil were assessed based on ASTM standards.

The in-depth testing results demonstrate superior fuel characteristics, with a Cetane Index of 59.6 and a Gross Heating Value of 10,184 cal/g, indicating high ignition performance and thermal energy comparable to commercial diesel. Notably, the sulfur content is exceptionally low at 26.92 ppm, making it a highly suitable clean alternative fuel for industrial applications. A significant advantage is the complete thermal cracking process, resulting in the absence of heavy waxes that cause nozzle coking. However, the kinematic viscosity (1.359 cSt) and flash point (< 40 °C) fall below the standard requirements for high-speed diesel engines. This is primarily due to the presence of light hydrocarbon fractions (naphtha group), as evidenced by the wide distillation range (83.7 - 280.5 °C).

The study concludes that the compact skid reactor holds high potential for producing alternative fuels suitable for external combustion, such as industrial boilers and agricultural burners. Furthermore, a fractional distillation process is recommended to separate the light fractions boiling below 150 °C, thereby significantly enhancing safety and engine compatibility. This innovation concretely supports the Circular Economy model and the Sustainable Development Goals (SDGs) by turning municipal waste into high-value clean energy.

Keywords: Pyrolysis oil / Plastic waste / Alternative energy / Circular economy / Waste-to-Energy

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกนับเป็นหนึ่งในความท้าทายทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดในยุคปัจจุบัน เนื่องจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษระบุว่าในปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste - MSW) สูงถึง 27.20 ล้านตัน โดยมีเพียงร้อยละ 39 ที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย พบว่าขยะพลาสติกมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 29 [1] เพื่อรับมือกับวิกฤตนี้ รัฐบาลได้บังคับใช้แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 โดยตั้งเป้าหมายที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกเป้าหมายที่เข้าสู่หลุมฝังกลบให้เป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2570 [2] ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยนวัตกรรมทางเทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ปี 2566 [1]

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (ปี 2023)	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
ขยะอินทรีย์และเศษอาหาร (Food and Organic Waste)	47.84
ขยะพลาสติก (Plastic Waste)	28.13 - 29.00
เศษกิ่งไม้และใบไม้ (Yard Waste)	10.00
กระดาษ (Paper Waste)	6.27 - 7.00
โลหะและอื่นๆ (Metal and Others)	4.00 - 7.76
เศษไม้ (Wood)	1.00

ขยะพลาสติกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นพลาสติกรวม (Mixed plastics) ที่มีการปนเปื้อนสูง ทำให้กระบวนการรีไซเคิลเชิงกลขาดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในมุมมองของวิศวกรรมพลังงาน การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) จึงเป็นยุทธศาสตร์ที่เหมาะสม เทคโนโลยี "ไพโรไลซิส (Pyrolysis)" ซึ่งเป็นกระบวนการแปรสภาพทางความร้อนเคมีภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ให้แตกตัวกลับไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวไม่ก่อให้เกิดก๊าซไดออกซิน และสอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างเป็นรูปธรรม [3]

ข้อจำกัดหลักของโรงงานไพโรไลซิสในปัจจุบันคือ การออกแบบระบบแบบรวมศูนย์ (Centralized System) ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนด้านโลจิสติกส์มหาศาล นวัตกรรมที่น่าสนใจสำหรับโครงงานวิจัยนี้ คือ นวัตกรรมเตาปฏิกรณ์แบบ "Compact Skid Reactor" ซึ่งเป็นระบบเชิงโมดูลาร์สำหรับการจัดการแบบกระจายศูนย์ (Decentralized) สามารถติดตั้ง ณ แหล่งกำเนิดขยะในชุมชน ลดภาระการขนส่ง และเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นความมั่นคงทางพลังงานในระดับท้องถิ่น

ในการย่อยสลายทางความร้อน ขยะพลาสติกในชุมชนประกอบด้วยพอลิโอเลฟินส์เป็นหลัก ได้แก่ พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) กระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส จะกระตุ้นให้เกิดกลไกการแตกตัวแบบอนุมูลอิสระ โครงสร้างโมเลกุลของ PE และ PP จะแตกตัวผ่านกลไก Beta-scission ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลเคนและแอลคีนสายยาว ซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานการจุดระเบิดด้วยตนเองต่ำ ส่งผลให้น้ำมันที่ได้มี "ค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)" สูงมาก ในทางตรงข้าม โครงสร้างของ PS จะแตกตัวให้สารประกอบกลุ่มอะโรมาติก ซึ่งช่วยเพิ่มความหนาแน่น แต่จะกดค่าดัชนีซีเทนรวมให้ต่ำลง การออกแบบอัตราส่วนผสมทางวิศวกรรมจึงมีความสำคัญยิ่งในการปรับสมดุลสมบัติของน้ำมัน [4]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า น้ำมันไพโรไลซิสดิบมีค่าความร้อนรวมสูงเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลฟอสซิล ทว่าในทางวิศวกรรมยานยนต์ น้ำมันดิบชนิดนี้ยังมีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เช่น ปัญหาความหนืดจลน์ที่ผันผวนและจุดวาบไฟ (Flash point) ที่มักต่ำกว่าเกณฑ์ความปลอดภัย สาเหตุหลักมาจากการมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่

ระเหยง่าย (เช่น กลุ่มแนฟทา) ปะปนอยู่ ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงในระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกลั่น (Distillation) [5] ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพและข้อจำกัดก่อนนำไปใช้งานจริง งานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและประเมินสมบัติเชิงลึกทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันไพโรไลซิสดิบที่ผลิตได้จากเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซล ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินความจำเป็นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน (เช่น การกลั่นลำดับส่วน) ให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เหมาะสมต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ของน้ำมันเชื้อเพลิงไพโรไลซิสที่ผลิตจากขยะพลาสติกรวมจำลอง ผ่านระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid
2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบพารามิเตอร์วิกฤตทางสมบัติเชื้อเพลิงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วระดับสากล (ASTM D975) ตลอดจนประเมินศักยภาพและข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งาน

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. วัตถุดิบที่ใช้ศึกษาคือ ขยะพลาสติกรวมจากชุมชน ซึ่งมีพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์เป็นหลัก (PE ร้อยละ 60-70 และ PP ร้อยละ 20-30)
2. ทำการแปรสภาพทางความร้อนโดยใช้เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ของบริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด อุณหภูมิในการทดลองอยู่ระหว่าง 250 - 350 องศาเซลเซียส จำนวน 300 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต
3. การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM จำนวน 7 พารามิเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมวัตถุดิบและเครื่องมือ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือ ขยะพลาสติกรวม (Mixed Plastics) จากชุมชน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินชนิดและสัดส่วนของพลาสติกด้วยการคัดแยกและสังเกตลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น (Visual Inspection and Physical Sorting) ซึ่งเป็นวิธีที่สอดคล้องกับบริบทการทำงานจริงในการจัดการขยะระดับชุมชน โดยไม่ได้ทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเชิงลึกของขยะ จากการประเมินพบว่าประกอบด้วยพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) เป็นหลัก ได้แก่ พอลิเอทิลีน (PE) ประมาณร้อยละ 60-70 และพอลิโพรพิลีน (PP) ร้อยละ 20-30 วัตถุดิบดังกล่าวได้ผ่านการคัดแยกเบื้องต้นและบดย่อยให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-3 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิจัยคือ เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ของบริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นเตาปฏิกรณ์แบบกะแนวตั้ง ทำงานร่วมกับชุดควบแน่นไอแบบท่อตั้งเรียงลำดับ โดยระบบทั้งหมดถูกติดตั้งแบบบูรณาการบนโครงสร้างฐานเลื่อน (Skid-mounted)

รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของขยะพลาสติกรวมหลังกระบวนการบดย่อย (ขนาด 1-3 เซนติเมตร)

รูปที่ 2 (ซ้าย) แบบจำลอง 3 มิติแสดงโครงสร้างระบบเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (ขวา) สถานที่ติดตั้งจริงของระบบแบบ Compact Skid

4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

นำขยะพลาสติกป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ จำนวน 300 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต (Batch) ทำการปิดผนึกระบบเพื่อสร้างสภาวะไร้ออกซิเจน และเริ่มเดินเครื่องโดยแบ่งระยะเวลาการทำงานออกเป็น 4 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงไล่ความชื้น (1-4 ชั่วโมง) ช่วงทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 250 - 350 °C (3-6 ชั่วโมง) ช่วงเกิดปฏิกิริยา (6-10 ชั่วโมง) และช่วงระบบเย็นตัว (6-8 ชั่วโมง) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ น้ำมันไพโรไลซิสดิบ กำหนดรหัสตัวอย่างเป็น "Pyro-1" มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความโปร่งแสงเล็กน้อย และมีสถานะเป็นของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ไหลเทได้ง่าย

รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) ที่ผลิตได้จากระบบเตาปฏิกรณ์

4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน Pyro-1 ปริมาตร 1 ลิตร บรรจุในภาชนะทึบแสง ส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อทดสอบสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์เปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วระดับสากล (ASTM D975)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 สมดุลมวลและร้อยละผลผลิต

จากการเดินระบบโดยป้อนวัตถุดิบพลาสติก 300 กิโลกรัม พบว่าสามารถผลิตน้ำมันไพโรไลซิสดิบได้ 200 - 220 ลิตร (เทียบเท่ามวลประมาณ 157 - 172.7 กิโลกรัม) คิดเป็นร้อยละผลผลิต (Oil Yield) เฉลี่ยร้อยละ 52 - 57 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อพิจารณาสมดุลมวล พบว่ามีสัดส่วนของกากคาร์บอนและเถ้าหลงเหลือร้อยละ 10 - 15 ความชื้นหลงเหลือระเหยออกร้อยละ 5 - 10 และมวลส่วนที่เหลือร้อยละ 20 - 25 เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซสังเคราะห์ที่ไม่ควบแน่น (Syngas) ซึ่งระบบถูกออกแบบให้นำก๊าซส่วนนี้กลับไปหมุนเวียนเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่เตาปฏิกรณ์ได้

5.2 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันไพโรไลซิสและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบทางห้องปฏิบัติการของตัวอย่างน้ำมัน Pyro-1 (อ้างอิงใบรายงานผลการทดสอบเลขที่ 003/2568 จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี) เพื่อหาคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D975 และประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2567

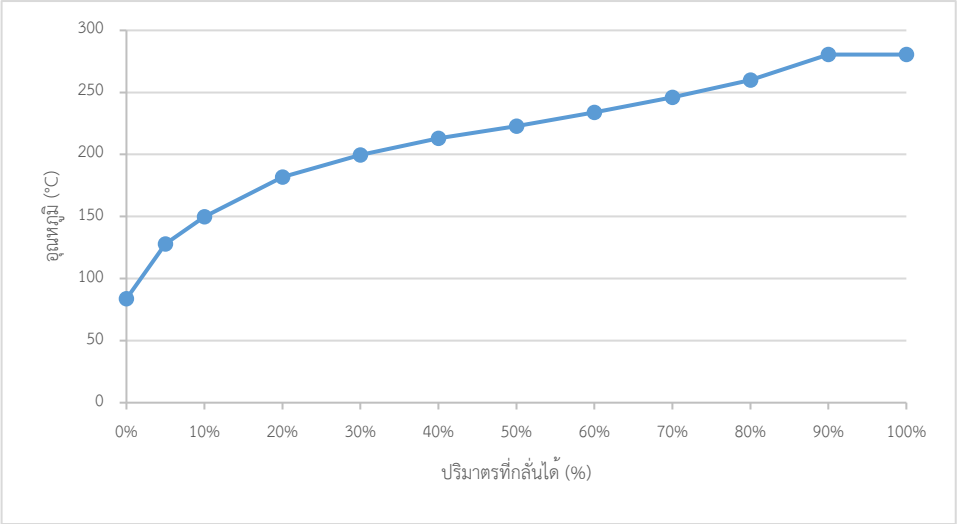
ลำดับที่	รายการทดสอบ (Fuel Properties)	วิธีทดสอบ (Method)	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานไทย [6]*	เกณฑ์มาตรฐานสากล [7]**	ผลการทดสอบ (Pyro-1)
1	ดัชนีซีเทน (Cetane Index)	ASTM D976	-	≥ 50	≥ 40	59.6
2	ค่าความร้อนรวม (Gross Heating Value)	ASTM D240	cal/g MJ/kg	-	~10,700*** (~44.77)	10,184 (~42.61)
3	ความถ่วงจำเพาะที่ 60°F (Specific Gravity)	ASTM D4052	-	0.810 - 0.870	-	0.7851
4	ความหนืดจลน์ที่ 40°C (Kinematic Viscosity)	ASTM D445	cSt	1.8 - 4.1	1.9 - 4.1	1.359
5	ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content)	ASTM D4294	ppm	≤ 10	≤ 15	26.92
6	จุดวาบไฟ (Flash Point)	ASTM D93	°C	≥ 52	≥ 52	< 40
7	การกลั่นลำดับส่วน (Distillation) - จุดเดือดเริ่มต้น (IBP) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 10 (T10) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 50 (T50) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 90 (T90) - จุดเดือดสิ้นสุด (End Point)	ASTM D86	°C	 - - - ≤ 357 -	 - - - 282 - 338 -	 83.7 149.8 222.7 280.5 280.5

หมายเหตุ: * อ้างอิงประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา พ.ศ. 2567, ** อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D975 เกรด Grade No. 2-D S15, *** ค่าความร้อนรวมเป็นค่าคุณสมบัติทั่วไปเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเชิงอุณหพลศาสตร์ ไม่ได้ระบุเป็นข้อบังคับในเกณฑ์มาตรฐาน)

จากตารางที่ 2 พบว่าน้ำมันตัวอย่าง Pyro-1 มีค่าดัชนีซีเทนสูงถึง 59.6 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งของประเทศไทย (ขั้นต่ำ 50) และสากล (ขั้นต่ำ 40) อย่างเด่นชัด และมีค่าความร้อนรวม 10,184 cal/g ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพการจุดระเบิดและการให้พลังงานทางอุณหพลศาสตร์ที่ยอดเยี่ยม ปรากฏการณ์นี้เป็นผลสะท้อนทางเคมีโดยตรงจากวัตถุดิบตั้งต้นที่มีพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (PE และ PP) ในสัดส่วนสูง นอกจากนี้ ปริมาณกำมะถันที่วัดได้มีค่า 26.92 ppm ซึ่งแม้ว่าจะสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในปัจจุบัน (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2567 เทียบเท่าระดับ Euro 5 กำหนดไม่เกิน 10 ppm และ ASTM D975 เกรด S15 กำหนดไม่เกิน 15 ppm) แต่ยังคงจัดอยู่ในระดับที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลอุตสาหกรรมชนิดอื่น สามารถลดปัญหาการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SOx) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบชี้ให้เห็นข้อจำกัดด้านความปลอดภัยทางวิศวกรรม ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (0.7851) ค่าความหนืดจลน์ (1.359 cSt) และจุดวาบไฟ (< 40 °C) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายเชิงลึกได้อย่างชัดเจนผ่านพฤติกรรมการระเหยจากผลการทดสอบการกลั่น (ASTM D86) โดยพบว่าจุดเดือดเริ่มต้น (IBP) อยู่ในระดับต่ำเพียง 83.7 °C ข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์นี้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ว่า ภายในน้ำมันดิบมีการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบากลุ่มแนฟทา (Naphtha fraction) สารกลุ่มนี้ระเหยง่ายและติดไฟไว จึงทำหน้าที่เสมือนตัวทำละลายดึงให้จุดวาบไฟและความหนืดของสารละลายรวมลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว

ในขณะเดียวกัน จุดค้นพบที่สำคัญในการวิเคราะห์ช่วงการระเหยหลักคือ อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 90 (T90) และจุดเดือดสิ้นสุด (End Point) มีค่าทำยอดสูงสุดเท่ากันที่ 280.5 °C ซึ่งผ่านมาตรฐานของประเทศไทย (กำหนดไม่เกิน 357 °C) แต่มีค่าต่ำกว่าขอบเขตล่างของมาตรฐาน ASTM D975 เล็กน้อย (กำหนดช่วง 282 - 338 °C) ข้อมูลนี้ยืนยันในเชิงวิศวกรรมว่า กระบวนการไพโรไลซิสด้วยระบบ Compact Skid สามารถเกิดการแตกตัวทางความร้อน (Complete Cracking) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ปราศจากการหลงเหลือของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวกลุ่มแว็กซ์หนัก (Heavy waxes) การขาดหายไปของโมเลกุลน้ำหนักมากนี้ แม้จะเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้ความถ่วงจำเพาะและความหนืดรวมของน้ำมันลดต่ำลง แต่ในทางกลับกัน ถือเป็นข้อได้เปรียบอย่างยิ่งในการลดปัญหาคราบเขม่าแข็งอุดตันที่ปลายหัวฉีด (Nozzle Coking) และการปล่อยควันดำเมื่อนำไปเผาไหม้



รูปที่ 4 กราฟแสดงเส้นโค้งการกลั่น (Distillation Curve) ของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) ตามมาตรฐาน ASTM D86

6. สรุปผลการศึกษา

นวัตกรรมเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีศักยภาพสูงในการแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนให้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้อย่างเป็นรูปธรรม น้ำมันไพโรไลซิสดิบที่ได้ปราศจากส่วนผสมของแว็กซ์หนัก ให้พลังงานความร้อนสูง ดัชนีซีเทนดีเยี่ยม (59.6) และมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างต่ำ (26.92 ppm) ซึ่งแม้จะยังไม่ถึงเกณฑ์น้ำมันดีเซลสำหรับรถยนต์บนท้องถนน (Euro 5) แต่ก็มีความเหมาะสมอย่างยิ่งและพร้อมใช้งานทันทีสำหรับการเผาไหม้ภายนอก (External Combustion) หรือเครื่องยนต์รอบต่ำ เช่น หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม (Boilers) หรือเตาเผาที่ใช้ในภาคการเกษตร

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาระยะต่อไป เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยและปลดล็อกขีดความสามารถให้นำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (High-speed Diesel Engines) ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ควรดำเนินการนำน้ำมันไพโรไลซิสดิบไปผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) เพื่อแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบาที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 150 °C ออก (ตัดทิ้งส่วน IBP จนถึง T10) กระบวนการอัปเกรดนี้จะช่วยขจัดปัญหาการระเหยง่าย ดึงอุณหภูมิจุดวาบไฟให้สูงข้ามเกณฑ์มาตรฐาน 52 °C และเพิ่มค่าความหนืดให้อยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานยานยนต์ได้อย่างสมบูรณ์ [8]

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2568). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2567. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2566). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566 - 2570).

[3] Pacheco-López, A., Lechtenberg, F., Somoza-Tornos, A., Graells, M., & Espuña, A. (2021). Economic and environmental assessment of plastic waste pyrolysis products and biofuels as substitutes for fossil-based fuels. Frontiers in Energy Research, 9, 676233.

[4] Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). Journal of Environmental Management, 197, 177-198.

[5] Faisal, F., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Ahmed, A. (2023). Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics. Science of the Total Environment, 886, 163756.

[6] กรมธุรกิจพลังงาน. (2567). ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2567. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 141 ตอนพิเศษ 108 ง, หน้า 69-72.

[7] ASTM International. (2026). ASTM D975-26a: Standard Specification for Diesel Fuel. West Conshohocken, PA: ASTM International.

[8] Arjharn, W., Liplap, P., Maithomklang, S., Thammakul, K., Chuepeng, S., & Sukjit, E. (2022). Distilled waste plastic oil as fuel for a diesel engine: Fuel production, combustion characteristics, and exhaust gas emissions. ACS Omega, 7(11), 9720–9729