

การปรับปรุงสมบัติน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

IMPROVEMENT OF USED ENGINE OIL PROPERTIES BY FAST PYROLYSIS IN FREE-FALL REACTOR

วัชรกร ใจตรง และมนตรี วงศ์ศิริวิทยา*

Wacharakron Jaitong and Montree Wongsiriwittaya*

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าที่ใช้งานมาแล้ว 12,000 กิโลเมตร โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ที่อุณหภูมิศึกษา 400, 450, 500, 550, และ 600 องศาเซลเซียส และการทดลองอัตราการป้อนน้ำมันเครื่องเก่าเข้าเตาปฏิกรณ์ที่ 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาสมบัติหลังจากได้รับการปรับปรุงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วเสร็จแล้ว โดยนำตัวอย่างน้ำมันหนักจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วตรวจวัดค่าความร้อน ความหนาแน่น ความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง จุดวาบไฟและติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่าให้ดีขึ้น และผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์เล็กสูบน้ำของเกษตรกรได้

คำสำคัญ: ไพโรไลซิสแบบเร็ว เตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ น้ำมันเครื่องเก่า น้ำมันหนัก

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

*corresponding author e-mail : montree.w@psru.ac.th

Received: 25 June 2023; Revised: 25 October 2023; Accepted: 28 October 2023

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2023.36>

Abstract

This experiment aims to improve the properties of used engine oil that has been in operation for 12,000 kilometers. The oil is subjected to a fast pyrolysis process in a drop tube furnace at temperatures of 400, 450, 500, 550, and 600 degrees Celsius, with oil feed rates of 50 and 100 milliliters per hour. The objective is to investigate the properties of the oil after undergoing rapid pyrolysis treatment, including heat value, density, viscosity, acidity, flash point, and ignition point, according to ASTM standards. The experimental results are compared with diesel and biodiesel fuels to provide guidance for decision-making in the production of biofuels for single-cylinder small engines used by farmers.

Keywords: Fast pyrolysis, Free fall reactor, Used engine oil, Heavy oil

บทนำ

การใช้น้ำมันปิโตรเลียมเป็นแหล่งพลังงานความร้อนหรือใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นปัญหาระดับโลกและยาวนานมาถึงทุกวันนี้เพราะราคาที่พุ่งสูงขึ้นทุกวัน ซึ่งปัญหานี้ทำให้หลายประเทศต้องมองหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อใช้แทนน้ำมันจากปิโตรเลียม เช่น การผลิตน้ำมันชีวภาพ การปรับปรุงน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และการปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่า (Shoaib et al., 2018) และประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศที่พบปัญหาเดียวกัน เนื่องจากไม่สามารถผลิตน้ำมันมากเพียงพอในปริมาณที่ต้องการ จึงมีผลทำให้ต้องนำน้ำมันเชื้อเพลิงหรือปิโตรเลียมเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ราคาน้ำมันสูงขึ้น

เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องมีการคิดค้นเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางเกษตร และอุตสาหกรรม เช่น การหมักชีวมวลเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ และการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง (Ninpanit et al., 2019) การปรับปรุงบ่อน้ำเสีย และน้ำมันเครื่องยนต์หนักให้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อลดและชะลอการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียม (ดีเซล) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเป็นต้น

อีกหนึ่งวิธีในการแก้ไขปัญหา คือ การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการปรับปรุงน้ำมันเครื่องยนต์เก่าที่ใช้แล้ว ให้สามารถทดแทนเชื้อเพลิงเหลว (น้ำมันหนักจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว) ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว หรือเรียกว่าเครื่องคูโบต้าที่เกษตรกรใช้งานกันมากและง่ายต่อการบำรุงรักษา

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์น้ำมันเครื่องเก่าจะถูกแปรสภาพโดยการย่อยสลายตัวเป็นแก๊สไพโรไลซิสในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส และมีขั้นตอนการควบแน่นด้วยการลดอุณหภูมิเหลือประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส และอีกขั้นตอนเป็นการควบแน่นด้วยน้ำไฟฟ้าสถิต

ซึ่งขั้นตอนตอนควบแน่นนี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันหนัก (Ellens & Brown, 2012) และเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลว (น้ำมันหนัก) ของแข็ง (ชาร์หรือตะกอน) และแก๊ส ซึ่งกระบวนการนี้เหมาะกับการปรับปรุงของเหลวให้มีสมบัติที่ดีขึ้น หรือเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ใกล้เคียงน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นพลังงานเชื้อเพลิงหลักที่สำคัญในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรมและภาคขนส่ง การวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลก็กลายเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความน่าสนใจ โดยน้ำมันไบโอดีเซลสามารถผลิตจากแหล่งพลังงานทางชีวภาพ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสบู่ (Kumar et al., 2023) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีในการปรับปรุงวัสดุเหลือใช้ให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวอีกด้วย ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทน

การลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียมอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการส่งเสริมและสนับสนุนนวัตกรรมทางเทคโนโลยีสำหรับพลังงานทดแทน การสร้างโครงสร้างพื้นฐานสำหรับพลังงานทดแทน และการให้ความสำคัญกับการศึกษาและการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์และการใช้งานของพลังงานทดแทนให้แก่ประชาชนทั่วไป (Zandie et al., 2022) สำหรับในการลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในระยะยาว

การศึกษาและค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระที่ช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการป้อนน้ำมันเครื่องเก่าที่ 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เพื่อทำการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าเป็นน้ำมันหนักจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว คือ ค่าความร้อนสูง ค่าความเป็นกรด-ด่าง จุดติดไฟและวาปไฟ และค่าความหนืด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุง ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล และสามารถใช้งานในเครื่องยนต์เล็กสูบเดียวแทนน้ำมันดีเซลได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่าง โดยเลือกใช้น้ำมันเครื่องเก่าจากเครื่องยนต์เบนซิน รุ่นรถฟอร์ดเฟียสต้า ขนาด 1,600 ซีซี รหัสน้ำมันเครื่อง 5w 30 ระยะเวลาการถ่าน้ำมันเครื่องที่ 12,000 กิโลเมตร โดยการบริการถ่าน้ำมันเครื่องยนต์ของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อนสูง (higher heating value) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value) ค่าความหนาแน่น (Density) จุดวาปไฟและจุดติดไฟ (flash point, fire point) และค่าความหนืด (kinematic viscosity) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาของน้ำมันดีเซล (diesel oil) และน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์ม (palm oil-biodiesel) แสดงดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Comparison of properties of old oil Engines, palm oil-biodiesel and diesel oil.

Properties	Unit	ASTM standard*	Sample used oil engine	* Diesel oil	** Palm oil- biodiesel
Higher Heating Value	MJ/kg	D1989	19.3±0.85	42.5	39.62
pH value	-	-	3	5	-
Density	kg/m ³	D1448	952±58	830.0	891.53
Flash point	°C	D93	88±5	64	-
Fire point	°C	D93	95±8	71	-
Kinematic viscosity (40°C)	cSt	D445	6.8±0.5	2.7-5	-

Remark * Diesel oil: Ref. (Auti & Rathod, 2021), (Sunarno et al., 2023)

** Palm oil-biodiesel: (Kumar et al., 2023)

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบและพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว โดยเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระและใช้แก๊สที่เกิดขึ้นในระบบหมุนวนแทนการใช้ไนโตรเจน และได้อธิบายหลักการทำงานของกระบวนการดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 1 (Figure 1) แสดงแผนภาพการไพโรไลซิสแบบเร็วด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ โดยมีหลักการทำงาน เริ่มต้นด้วยการบรรจุน้ำมันเครื่องเก่าในถังป้อนชีวมวล (hopper) จากนั้นน้ำมันจะไหลสู่เตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ (free-fall reactor) โดยได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนแบบอินฟราเรด (infrared heater) ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมันเครื่องเก่า และกลายเป็นไอไพโรไลซิส ไหลผ่านชุดแยกฝุ่น (cyclone and storage) เพื่อทำการแยกฝุ่นหรือตะกอนออกจากไอไพโรไลซิส และจากนั้นไอไพโรไลซิสไหลผ่านท่อความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส ไหลเข้าสู่ชุดควบแน่นด้วยน้ำ (water-cooled condense) เพื่อทำการควบแน่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และไอไพโรไลซิสบางส่วนที่ควบแน่นไม่หมดจะไหลไปยังชุดควบแน่นด้วยไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator condense) เพื่อทำการควบแน่นซ้ำอีกครั้ง (Onwudili et al., 2023) ส่วนไอไพโรไลซิสที่ควบแน่นไม่หมดก็จะไหลผ่านปั๊มดูด (diaphragm pump) และไหลไปผ่านวาล์วควบคุม (valve control) ซึ่งเป็นวาล์วควบคุมอัตราการป้อนตัวอย่างน้ำมันเครื่องเก่า

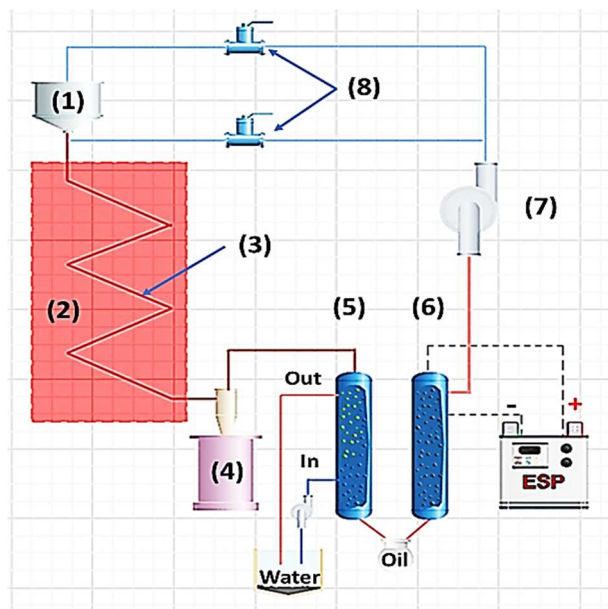


Figure 1 Schematic diagram of the free-fall reactor fast pyrolysis, Unitinclud

- 1) Hopper, 2) Infrared heater, 3) Free-fall reactor, 4) Cyclone and Storage, 5) Water-cooled condense, 6) Electrostatic precipitator condense, 7) Diaphragm pump, 8) Valve control

การทดลองปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าจะได้ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส โดยการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันเครื่องเก่าเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ดังสมการ 1 สมการ 2 และสมการ 3 ตามลำดับ (Balat et al., 2009)

$$\text{Liquid yield (\%)} = \frac{\text{weight of liquid (g)}}{\text{weigh of old engine oil (g)}} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Solid yield (\%)} = \frac{\text{weight of solid (g)}}{\text{weight of old engine oil (g)}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Gas yield (\%)} = \text{liquid yield (\%)} - \text{solid yield (\%)} \dots\dots\dots(3)$$

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ด้วยเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ที่ช่วงอุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาสมบัติน้ำมันเครื่องเก่าหลังการปรับปรุง ได้แก่ ค่าความร้อนสูง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนาแน่น จุดวาบไฟและจุดติดไฟ และค่าความหนืด

ของน้ำมันเครื่องเก่า และวิธีการทำสมมูลมวล จากสมการที่ 1-3 เพื่อหาปริมาณผลได้ของช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาและอัตราการป้อนน้ำมันเครื่องเก่า (Wongsiriwittaya & Pattiya, 2017) ซึ่งน้ำมันเครื่องเก่าที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการการไฟโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระจะได้ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยของเหลว (น้ำมันหนัก) ของแข็ง (ชาร์หรือเศษตะกอน) และแก๊ส งานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาปริมาณผลได้เชิงมวลด้วยการชั่งน้ำหนักทุกส่วนของเตาปฏิกรณ์ น้ำมันเครื่องเก่าและผลิตภัณฑ์ของน้ำมันหนัก ชาร์หรือเศษตะกอน โดยน้ำหนักตามลำดับทั้งก่อนและหลังการทดลองเพื่อหาผลต่าง ส่วนปริมาณผลได้ของแก๊สคำนวณจากส่วนต่างของปริมาณผลได้รวม และสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์สมบัติของของน้ำมันเครื่องเก่าจากกระบวนการไฟโรไลซิสแบบเร็วเรียกว่า “น้ำมันหนัก”

1. ค่าความหนืด (Suiyay et al., 2020)

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทดสอบความหนืด ยี่ห้อ Cannon-Fenske Routine 9721-B77 Size 350 ตามมาตรฐานของ ASTM D445 ทำการทดสอบที่ 40 องศาเซลเซียส และจับเวลาการไหลของตัวอย่างของเหลวผ่านหลอดแก้ว แล้วนำหน่วยที่วัดได้เป็นวินาทีมาคูณกับค่าคงที่ของหลอด (Factor 350 = 2.433 cSt/s) จะได้ค่าความหนืดมีหน่วยวัดเป็นเซนติสโตกส์

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำมันหนักด้วยเครื่องวัด pH Meter แบบปากการุ่น pH5 แปรนด์ Sanxin แบบ 2 In 1 แสดงผลการวัดบนจอ LCD มีช่วงการวัด -2.00 - 16 pH, ความละเอียดและแม่นยำ: ± 0.01 pH

3. การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จากสมการ 4

$$D = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(4)$$

โดย D คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

M คือ มวล มีหน่วยเป็นกรัม หรือ กิโลกรัม

V คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร หรือ ลิตร

4. จุดวาบไฟและติดไฟ

เริ่มต้นโดยการเทตัวอย่างน้ำมันลงในถ้วยทดลองประมาณ 5 กรัม และวางถ้วยในตำแหน่งที่ให้ความร้อนของเครื่อง แล้วใช้เทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงในน้ำมันที่อยู่ถ้วยทดลอง จากนั้นใช้แก๊สจุดเปลวไฟทดสอบ โดยให้เปลวไฟผ่านไปมาประมาณ 1 วินาที และบันทึกค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลาที่ใช้ และทำอย่างนี้ไปจนกว่าจะถึงจุดวาบไฟ ส่วนจุดติดไฟก็ทำการทดลองเช่นเดียวกับจุดวาบไฟ แต่ต้องทำไปจนกว่าจะเกิดการติดไฟ และการติดไฟต้องต่อเนื่องกันประมาณ 10 วินาที ตามมาตรฐาน ASTM D93

5. ค่าความร้อนสูง

การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (bomb calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C5000 ตามมาตรฐาน ASTM D-1989 นำตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยเผาไหม้และนำถ้วยเผาไหม้ใส่ลงในลูกบอมบ์ ระบบการทำงานของเครื่องบอมบ์จะใช้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านเส้นลวดเพื่อสร้างการจุดระเบิด ความร้อนจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่ในเครื่องบอมบ์ ด้วยการเทียบผลต่างของอุณหภูมิกับสารมาตรฐาน เราสามารถหาอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นได้

ผลการวิจัย

การทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1) การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงและปริมาณผลได้ของน้ำมันหนัก และ 2) สมบัติของน้ำมันหนัก คือ ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง จุดวาบไฟและติดไฟ

1. การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงและปริมาณผลได้

จากภาพที่ 2-3 (Figure 2-3) แสดงปริมาณผลได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ที่ช่วงอุณหภูมิ 400 – 600 องศาเซลเซียส ภาพที่ 2 (Figure 2) แสดงการทดลองที่อัตราการป้อน 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และผลการทดลองแสดงปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ได้แก่ ของเหลวได้แก่ น้ำมันหนัก (heavy oil) ของแข็งได้แก่ ชาร์ (char) และแก๊ส (gas) ซึ่งทราบว่าปริมาณผลได้ของน้ำมันหนักลดลงจาก 85 เป็น 71 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนชาร์เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 14 ร้อยละโดยน้ำหนัก และแก๊สเพิ่มจาก 10 เป็น 15 ร้อยละโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงว่าที่อุณหภูมิสูงทำให้ น้ำมันหนักลดลง แต่กลับได้ค่าความร้อนสูงมากขึ้น

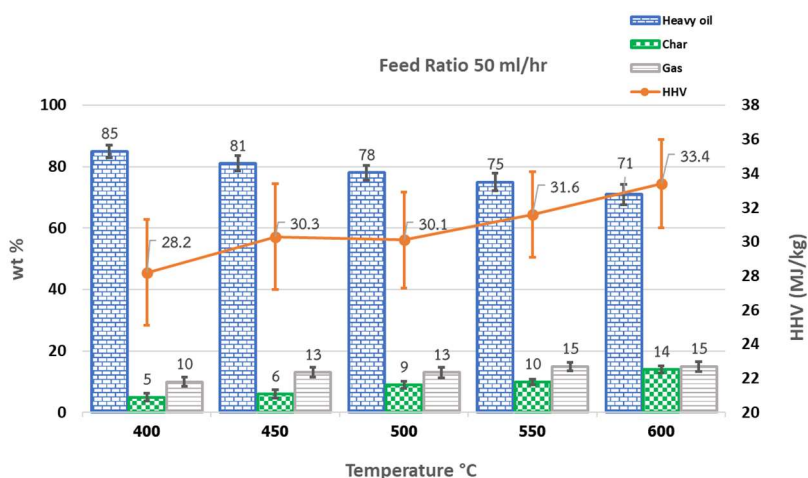


Figure 2 Profiles of liquid, solid, gas products and HHV from feed ratio 50 ml/hr, by Used engine oil different temperatures.

ภาพที่ 3 (Figure 3) การทดลองที่อัตราการป้อน 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบว่าปริมาณผลได้ของน้ำมันหนักลดลงจาก 90 เป็น 78 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนชาร์เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 12 ร้อยละโดยน้ำหนัก และแก๊สเพิ่มจาก 6 เป็น 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก ซึ่งการทดลองที่อัตราการป้อนแตกต่างกัน มีผลเล็กน้อย แสดงว่าที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อการย่อยสลายและส่งผลต่อปริมาณผลได้ของน้ำมันหนักลดลง โดยปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1-3

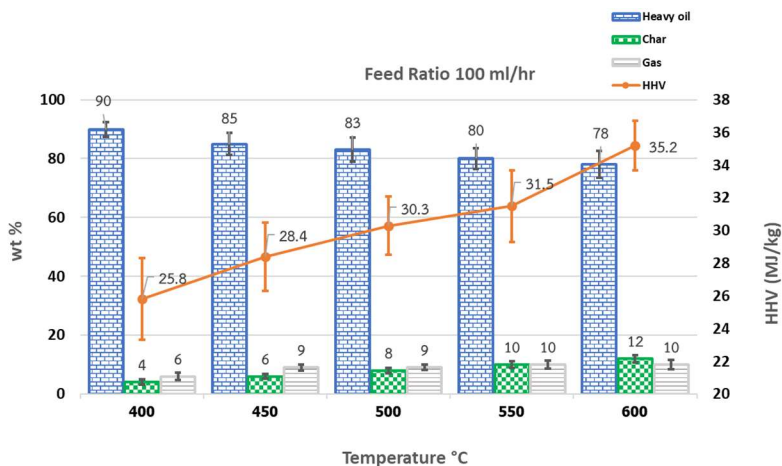


Figure 3 Profiles of liquid, solid, gas products and HHV from feed ratio 100 ml/hr, by Used engine oil different temperatures.

การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของน้ำมันหนักโดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ที่อัตราการป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบว่าสมบัติความร้อนของน้ำมันหนักมีแนวโน้มสูงตามลำดับช่วงอุณหภูมิทดลอง ซึ่งมีผลมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนจากระบบการไฟโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

ภาพที่ 2-3 (Figure 2-3) แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันหนักมีค่าที่สูงขึ้นที่ช่วงอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการย่อยสลายของตัวอย่างน้ำมันเครื่องเก่าและเกิดการระเหยของสิ่งเจือปน และทราบว่ากระบวนการไฟโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระนี้สามารถปรับค่าความร้อนของน้ำมันเครื่องเก่าเป็นน้ำมันหนักที่มีค่าความร้อนสูงถึง 33.4 และ 35.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับอัตราป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

2. การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมัน

การปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไฟโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เพื่อทำการปรับปรุงสมบัติได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด จุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยมาตรฐาน ASTM ที่ช่วงอุณหภูมิ 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แสดงในตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 Properties of old engine oil by fast pyrolysis in free fall reactor at different temperatures from process

Temp. (°C)	pH value	Density (kg/m ³)	Flash point (°C)	Fire point (°C)	viscosity (cSt. 40 °C)
FEED RATIO 50 ml/hr					
400	6.1±0.5	912±60	80±2.2	89±2.3	6.1±0.5
450	5.8±0.6	905±68	76±2.2	85±2.8	5.8±0.6
500	5.7±0.5	890±70	72±2.5	81±2.6	5.5±0.3
550	5.6±0.8	878±43	70±2.1	77±2.8	5.1±0.6
600	5.5±0.5	841±35	69±2.8	76±2.9	3.9±0.5
FEED RATIO 100 ml/hr					
400	6.0±0.5	932±56	83±2.5	91±2.3	6.3±0.5
450	5.9±0.5	925±62	81±2.2	90±3.1	6.1±0.8
500	5.8±0.8	893±44	80±3.1	87±3.2	5.4±0.9
550	5.6±0.6	882±38	76±2.4	84±2.9	5.1±0.4
600	5.5±0.5	853±89	73±2.8	79±2.5	4.5±0.5

อภิปรายผล

จากการทดลองครั้งนี้ทราบว่าการปรับปรุงสมบัติน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระที่อุณหภูมิทดลอง 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนน้ำมันเครื่องเก่า 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ได้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจที่สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ปริมาณผลได้หลังการทดลองกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระน้ำมันเครื่องเก่า และได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ ของเหลว ได้แก่ น้ำมันหนัก ของแข็ง ได้แก่ ชาร์ และแก๊ส จากช่วงอุณหภูมิศึกษาและอัตราการป้อน 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิการทดลองที่ 400-600 องศาเซลเซียส มีปริมาณผลได้ของน้ำมันลดลงจาก 85 เป็น 78 ร้อยละโดยน้ำหนัก และการทดลองที่อัตราการป้อน 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบว่าปริมาณผลได้ลดลงจาก 85 เป็น 71 ร้อยละโดยน้ำหนัก และเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Balat et al. (2009) พบว่าสามารถผลิตน้ำมันหนัก (ของเหลว) ได้เป็นร้อยละ 84.7 โดยน้ำหนัก แสดงว่ากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วสามารถปรับน้ำมันเครื่องเก่าและควบแน่นเป็นน้ำมันหนักได้ และจากการทดลองงานวิจัยพบว่าปริมาณผลได้ของน้ำมันหนักลดลงซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือการย่อยสลายของน้ำมันเครื่องเก่าในเตาปฏิกรณ์กลายเป็นไอไพโรไลซิสและไหลผ่านท่อที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ไปยังชุดไซโคลน (Cyclone) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการแยกฝุ่นและทำให้ไอไพโรไลซิสสะอาดมากขึ้น และต่อมาไอไพโรไลซิสจะถูกลด

อุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว และควมแน่นให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส จึงเป็นการเรียงโครงสร้างใหม่และมีผลต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติอื่นได้ดี

2. ค่าความร้อนสูง: ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วทำให้น้ำมันเครื่องมีค่าความร้อนสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการเรียงโครงสร้างใหม่ของโมเลกุล (Budianto et al., 2018) และจากกระบวนการแยกฝุ่นออกด้วยไซโคลนด้วย และการทดลองที่อัตราการป้อนของน้ำมันเครื่องเก่า ทราบว่าในช่วงอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นมีผลโดยต่อค่าความร้อนที่สูงขึ้นตามลำดับแต่ในทางกลับกันจะได้ปริมาณของน้ำมันที่ลดลง (Santhoshkumar & Ramanathan, 2020) และปริมาณผลได้ที่ลดลงนี้เกิดจากการการย่อยสลายและแยกสิ่งสกปรก (ของแข็งที่เรียกว่าชาร์หรือตะกอน) ออกจากไฮโดรคาร์บอน และทำการควมแน่นใหม่จึงมีผลต่อการลดลงของปริมาณ

3. การทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันหนักจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ และทราบว่าการที่ช่วงอุณหภูมิการทดลองที่สูงขึ้นมีผลต่อการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างได้เล็กน้อย เนื่องจากเป็นกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่ไม่ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่สามารถลดความเป็นกรดได้มากเท่าที่ควรได้ ดังนั้นการแนะนำควมมีขั้นตอนของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มในกระบวนการ และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันหนักที่อุณหภูมิการทดลองที่ 600 องศาเซลเซียส โดยนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมีค่าความเป็นกรดระดับ 5 ดังตารางที่ 1 (Table 1) มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และผลการทดลองนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

4. ผลการทดลองจุดวาบไฟและจุดติดไฟของช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 2 (Table 2) เห็นได้ว่าการทดลองอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิจุดวาบไฟและติดไฟลดลงตามลำดับตามการทดลอง ซึ่งทราบว่าการกระบวนการไพโรไลซิสสามารถปรับโครงสร้างและการเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อค่าการวาบไฟและติดไฟได้ดี (Santhoshkumar & Ramanathan, 2020) และนำการวิจัยก่อนหน้านี้มาเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบค่าของจุดวาบไฟและจุดติดไฟเป็น 69 และ 79 องศาเซลเซียส และ อัตราการป้อน 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบค่าของจุดวาบไฟและจุดติดไฟเป็น 69 และ 79 องศาเซลเซียส และการทดลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วสามารถปรับปรุงให้จุดวาบไฟและติดไฟได้ดีขึ้น

5. ค่าความหนืดของน้ำมันหนักจากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D445 (Santhoshkumar & Ramanathan, 2020) แสดงผลในตารางที่ 1 (Table 1) ทราบว่าการทดลองที่อัตราการป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในขณะเดียวกันที่อุณหภูมิการทดลองที่สูงขึ้นมีผลให้ค่าความหนืดลดลงเล็กน้อยจากประมาณ 6 ลงมาเป็น 4 เซนติสโตกส์ (cSt)

6. จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D1448 ทราบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องเก่าเป็น 952 ± 58 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) และผลการทดลองของน้ำมันหนักในช่วงอุณหภูมิ

ทดลองและอัตราการป้อนทราบว่าคุณสมบัติมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำมันหนัก (Zahir et al., 2020) และการทดลองนี้ยังชี้ให้เห็นว่ากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระได้ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนและเกิดการย่อยสลายของแข็งที่มีในน้ำมันเครื่องเก่าเกิดการย่อยสลาย (Santhoshkumar & Ramanathan, 2020) และกลายเป็นฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กไหลไปกับไอไพโรไลซิสเข้าสู่ชุดแยกฝุ่นด้วยไซโคลนทำการแยกฝุ่นออกจากไอไพโรไลซิส ส่วนไอไพโรไลซิสที่เหลือไหลเข้าสู่ชุดควบแน่นด้วยน้ำและไฟฟ้าสถิตกลายเป็นน้ำมันหนัก จึงทำให้น้ำมันหนักลดลงและน้ำมันหนักมีความสะอาดมากขึ้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระที่ช่วงอุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทราบว่าคุณสมบัติมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติ ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง จุดวาบไฟและติดไฟ ของน้ำมันหนัก และการปรับปรุงที่มีผลต่อสมบัติ คือ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อน 100 มิลลิลิตร ซึ่งมีสมบัติความร้อนที่สูงขึ้นเป็น 35.2 ± 1.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ค่าความหนาแน่นน้ำมันหนักเป็น 853 ± 89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ค่าความหนืดเป็น 4.5 ± 0.5 เซนติสโตกส์ (cSt) จุดวาบไฟและติดไฟเป็น 73 ± 3 และ 79 ± 3 องศาเซลเซียสตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.5 - 6

การปรับปรุงน้ำมันเครื่องเก่าด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระสามารถปรับปรุงสมบัติให้มีค่าที่ดีกว่าเดิม แต่ยังมีค่าความแตกต่างจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลอยู่เล็กน้อย แต่ถ้าจะให้สมบัติที่ดีได้จะต้องติดตั้งกระบวนการเร่งปฏิกิริยาให้ไอไพโรไลซิสเกิดการแตกตัวอีกครั้ง ซึ่งอาจทำให้ได้สมบัติที่ใกล้เคียงน้ำมันดีเซลได้

ข้อเสนอแนะการนำน้ำมันหนักจากงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ แนะนำผู้ใช้งานทำการผสมระหว่างน้ำมันหนักจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วนี้และน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วนเหมาะสมและสามารถใช้ได้ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวได้ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของ นักศึกษา อาจารย์และเจ้าหน้าที่ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พร้อมทั้งสถานที่ในการทำวิจัย และความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์พื้นที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเภททุนนักวิจัยรุ่นใหม่ และนวัตกรรมรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2565 สัญญารับทุนเลขที่ RDI-2-65-35

เอกสารอ้างอิง

- Auti SM, Rathod WS. Effect of hybrid blends of raw tyre pyrolysis oil, karanja biodiesel and diesel fuel on single cylinder four stokes diesel engine. *Energy Reports* 2021;7:2214-2220.
- Balat M, Demirbas MF, Balat M. Pyrolysis of waste engine oil in the presence of wood ash. *energy sources, part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2009;31(16):1494-1499.
- Budianto MA, Anis S, Sumbodo, W. Study of thermal heating of waste engine oil in a microwave pyrolysis reactor. *Journal of Physical Science* 2018;29(2):39-52.
- Ellens CJ, Brown RC. Optimization of a free-fall reactor for the production of fast pyrolysis bio-oil. *Bioresour Technol* 2012;103(1):374-380.
- Kumar S, Singhal MK, Sharma MP. Analysis of oil mixing for improvement of biodiesel quality with the application of mixture design method. *Renewable Energy* 2023;202:809-821.
- Wongsiriwittaya M, Pattiya A. Bio-oil from catalytic fast pyrolysis of sugarcane leaves and tops in a bubbling fluidised bed reactor. *SWU Engineering Journal* 2017;12(1):114-126.
- Ninpanit P, Malik A, Wakiyama T, Geschke A, Lenzen M. Thailand's energy-related carbon dioxide emissions from production-based and consumption-based perspectives. *Energy Policy* 2019;133:110877.
- Onwudili JA, Sharma V, Scaldaferri CA, Hossain AK. Production of upgraded fuel blend from fast pyrolysis bio-oil and organic solvent using a novel three-stage catalytic process and its combustion characteristics in a diesel engine *Fuel* 2023;15(4):335-346.
- Santhoshkumar A, Ramanathan A. Recycling of waste engine oil through pyrolysis process for the production of diesel like fuel and its uses in diesel engine *Energy*; 2020.
- Shoaib AM, El-Adly RA, Hassanean MHM, Youssry A, Bhran AA. Developing a free-fall reactor for rice straw fast pyrolysis to produce bio-products. *Egyptian Journal of Petroleum* 2018;27(4):1305-1311.
- Suiyay C, Laloon K, Katekaew S, Senawong K, Noisuwan P, Sudajan S. Effect of gasoline-like fuel obtained from hard-resin of Yang (*Dipterocarpus alatus*) on single cylinder gasoline engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy* 2020;153: 634-645.
- Sunarno Zahrina I, Reni Yenti S, Sri Irianty R, Setia Utama P. Catalytic co-pyrolysis of palm oil empty fruit bunch and waste tire using calcium oxide catalysts for upgrading bio-oil. *Materials Today: Proceedings*; 2023.
- Zahir Hussain A, Santhoshkumar A, Ramanathan A. Assessment of pyrolysis waste engine oil as an alternative fuel source for diesel engine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2020;141(6): 2277-2293.
- Zandie M, Ng HK, Gan S, Muhamad Said MF, Cheng X. Development of a reduced multi-component chemical kinetic mechanism for the combustion modelling of diesel-biodiesel-gasoline mixtures. *Transportation Engineering* 2022;13(2):256-269.