ผลของน้ำมันขยะพลาสติกจากกระบวนการการไพโรไลซีสแบบเร็วต่อแรงม้าเบรกต่ำสุด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์

The Effect of Plastic Waste Oil from Fast Pyrolysis Process on Lowest Brake Horsepower and Maximum Engine Brake Specific Fuel Consumption

ชินภัทร ธุระการ[1] เกยูร ดวงอุปมา[1*] กัมปนาท ไชยเพชร[1] อภิชน มุ่งชู[1] สุพัตรา บุไธสง[1] และสุรสิทธิ์ พ่อค้า[1]

Chinnapat Turakarn[1] Keyoon Duanguppama[1*] Kumpanat Chaiphet[1] Aphichon Mungchu[1]
Supattra Boothaisong[1] and Surasit Phokha[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ 46000

[1]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University, Kalasin 46000

Received: 3 October 2020, Revised: 19 May 2021, Accepted: 20 June 2021, Published online: 23 August 2021

Abstract

The effect of plastic waste oil from fast pyrolysis process on lowest brake horsepower and maximum engine brake specific fuel consumption. Objective to study the fast pyrolysis of three types of plastic waste: plastic bags, plastic bottles, and PVC. At pyrolysis temperature of 500°C, the oils obtained were analyzed for fuel properties including heat, density, viscosity, flash point and ignition. All three types of oils were then tested for use in single-cylinder diesel engines. The research found that oil from plastic bags It has a maximum heating value of 42.7 MJ/kg, allowing the engine to have the highest brake horsepower 11.4 HP and lowest fuel consumption. While the oil from PVC plastic Has the lowest heating value 41.1 MJ/kg, resulting in the lowest engine braking horsepower and specific fuel consumption braking up to 14.5 kg/kW.hr.

Key words: Fuel, Plastic waste, Fast pyrolysis, Engine performance assessment

*Corresponding author: Tel.: 093 327 2292 E-mail address: k_duanguppama@hotmail.com

บทคัดย่อ

ผลของน้ำมันขยะพลาสติกจากกระบวนการการไพโรไลซีสแบบเร็วต่อแรงม้าเบรกต่ำสุดและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการไพโรไลซีสแบบเร็วของขยะพลาสติก 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก และพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิไพโรไลซีส 500°C แล้วนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงประกอบด้วย ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ จากนั้นนำน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ไปทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดียว ผลการวิจัย พบว่า น้ำมันจากถุงพลาสติก มีค่าความร้อนสูงสุด 42.7 MJ/kg ช่วยให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกสูงสุด 11.4 HP และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุด ขณะที่น้ำมันจากพลาสติกพีวีซี มีค่าความร้อนต่ำสุด 41.1 MJ/kg จึงส่งผลให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกต่ำสุด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุด 14.5 kg/kW.hr

คำสำคัญ: น้ำมันเชื้อเพลิง ขยะพลาสติก ไพโรไลซีสแบบเร็ว การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์

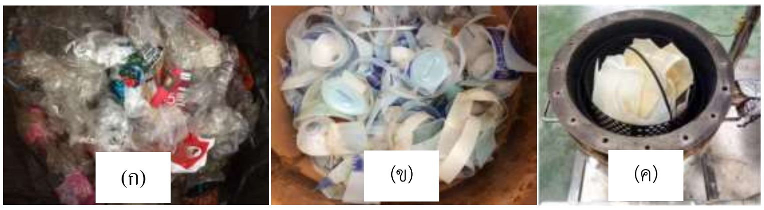
บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ทุกประเทศทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ เช่น การลดใช้พลาสติก การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเพื่อใช้ซ้ำ แต่ปริมาณขยะพลาสติกก็ยังไม่ลดลงเท่าที่ควร เพราะขยะพลาสติกบางอย่างไม่เหมาะที่จะนำกลับมาแปรรูปเพื่อใช้ซ้ำ ดังนั้น การแปรรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นอีกวิธีการที่สามารถช่วยให้ปริมาณขยะพลาสติกที่มีอยู่ลดลงได้ เช่น การแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส [1-5] และน้ำมันเชื้อเพลิง [6-10] ซึ่งการแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนี้มีความน่าสนใจเพราะน้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ เก็บรักษาได้ และขนส่งได้ง่าย

การแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถใช้หลักการไพโรไลซีสแบบเร็ว ซึ่งเป็นกระบวนการเคมีความร้อนที่ปราศจากออกซิเจนมีอุณหภูมิปฏิกิริยาประมาณ 500°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เชื้อเพลิงเหลวสูงสูงถึง 65 wt% [11] ในปี 2014 [9] ได้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงพลาสติกทั่วไปและพลาสติกความหนาแน่นสูงด้วยการไพโรไลซีส พบว่า มีสมบัติที่แตกต่างกัน คือ น้ำมันเชื้อพลิงจากพลาสติกทั่วไปมีความหนาแน่น 800 kg/m^3 ความหนืด 1.8 cSt และค่าความร้อน 46 MJ/kg ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงจากพลาสติกความหนาแน่นสูงมีความหนาแน่น 700 kg/m^3 ความหนืด 2.3 cSt และค่าความร้อน 42 MJ/kg [9] เมื่อพิจารณางานวิจัยนี้จะเห็นว่า ชนิดของพลาสติกส่งผลต่อสมบัติของน้ำมันอย่างชัดเจน แต่ยังไม่แน่ชัดว่าขยะพลาสติกจากถุง ขวด และพีวีซี จะสมบัติอย่างไร อีกทั้งยังไม่แน่ชัดว่าน้ำมันพลาสติกที่ได้จะสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้หรือไม่ ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไพโรไลซีสแบบเร็วขยะพลาสติก 3 ชนิด คือ ถุง ขวด และพีวีซี ที่อุณหภูมิ 500°C เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้และทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์เพื่อหาสมรรถนะ 2 ด้าน คือ แรงม้าเบรกของเครื่องยนต์ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ต่อไป

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบสำหรับการทำวิจัย คือ ขยะพลาสติก 3 ชนิดประกอบด้วย ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก และพลาสติกพีวีซี โดยพลาสติกทั้งหมดผ่านการตากแดดจนแห้งและทำความสะอาดเบื้อต้นเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน



ภาพที่ 1 ขยะพลาสติก (ก) ถุง (ข) ขวด (ค) พีวีซี

การไพโรไลซีสแบบเร็วของขยะพลาสติก เริ่มต้นจากนำขยะพลาสติกใส่ในตะแกรงแล้วบรรจุลงเครื่องปฏิกรณ์ดังภาพที่ 2 โดยแต่ละการทดลองจะใช้ขยะพลาสติกหนัก 1 กิโลกรัม ใส่ใยแก้วในชุดกรองไอร้อน 20 กรัม และตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดควบแน่นรวมทั้งเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตย์ หลังจากประกอบอุปกรณ์ทุกส่วนเรียบร้อยเริ่มเปิดการทำงานของชุดทำความเย็นให้มีอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส โดยชุดนี้มีหลักการทำความเย็นด้วยคอมเพรสเซอร์แบบตู้แช่ภายในชุดควบแน่นออกแบบเพื่อรองรับไอที่เกิดจากการสลายตัวของพลาสติก เมื่ออุณหภูมิชุดควบแน่นได้ตามกำหนด เริ่มเปิดการทำงานของขดลวดความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ ตามเงื่อนไขของการทดลอง คือ อุณหภูมิไพโรไลซีสและอุณหภูมิกรองไอร้อน 500 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดการทำงานของเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตย์

ภาพที่ 2 การไพโรไลซีสแบบเร็วของขยะพลาสติก

เมื่อการไพโรไลซีสเสร็จสิ้นน้ำมันจากขยะพลาสติกถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติ เพื่อประเมินคุณภาพตามมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนี้

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพลาสติก

ลำดับที่	การวิเคราะห์	มาตรฐาน
1	ค่าความร้อน	DIN 51900
2	ความหนาแน่น	ASTM D4052
3	ความหนืด	ASTM D445
4	จุดวาบไฟ	ASTM D93
5	จุดติดไฟ	ASTM D93

ขั้นตอนต่อไป คือ นำน้ำมันพลาสติกไปทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์ เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ แรงม้าเบรกเครื่องยนต์ และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดียวยี่ห้อคูโบต้า ขนาด 12 แรงม้า ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดียว

ซึ่งมีสมการการคำนวน ดังนี้

1. กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Engine brake power)

$$P = \frac{2\pi T n}{60} \tag{1}$$

เมื่อ	P	=	กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (W)
	T	=	แรงบิด (N-m)
	n	=	รอบของเครื่องยนต์ (rpm)

2. ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Combustion)

$$Q_{mf} = Q_{vf}\rho_f \tag{2}$$

เมื่อ	Q_{mf}	=	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/s)
	Q_{vf}	=	ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิง (m^3/s)
	ρ_f	=	ความหนาแน่นน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/m^3)

3. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption)

$$Bsfc = \frac{3600 Q_{mf}}{P} \tag{3}$$

เมื่อ	$Bsfc$	=	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (kg/kW.hr)
	P	=	กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (kW)
	Q_{mf}	=	ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/s)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของชนิดน้ำมันขยะพลาสติกต่อสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

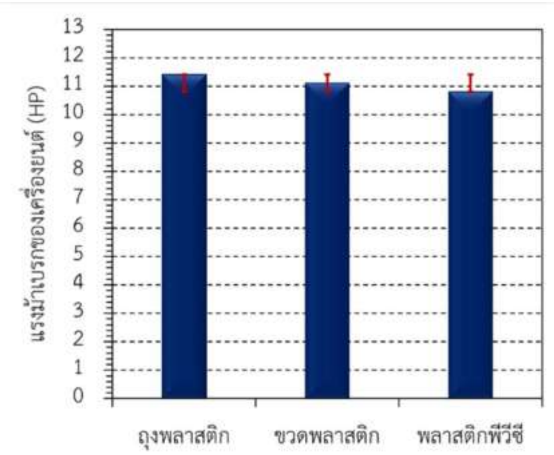
สมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกที่แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่า น้ำมันจากถุงพลาสติกมีค่าความร้อนสูงสุด 42.7 MJ/kg และน้ำมันจากขวดพลาสติกมีค่าความร้อนต่ำสุด 41.1 MJ/kg นอกจากนี้น้ำมันจากถุงพลาสติกยังมีติดไฟได้ง่ายที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันชนิดนี้มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ได้จากขยะอีกสองชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ แต่เมื่อพิจารณาความหนาแน่นและความหนืดแล้วจะเห็นว่าน้ำมันจากถุงพลาสติกมีค่าสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากส่วนผสมในขยะถุงพลาสติกที่มีความแตกต่างจากขวดพลาสติกและพลาสติกพีวีซี อย่างไรก็ตามหากพิจารณาภาพรวมของสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ด้าน จากขยะพลาสติก 3 ชนิด ก็แสดงให้เห็นว่า น้ำมันจากขยะถุงพลาสติกมีสมบัติที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 สมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง

ชนิดพลาสติก	สมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง				
	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด (cSt)	จุดวาบไฟ (°C)	จุดติดไฟ (°C)
ถุงพลาสติก	42.7	967.5	1.3	230.1	233.3
ขวดพลาสติก	41.4	959.4	1.3	240.6	244.7
พลาสติกพีวีซี	41.1	896.6	1.2	234.7	243.3

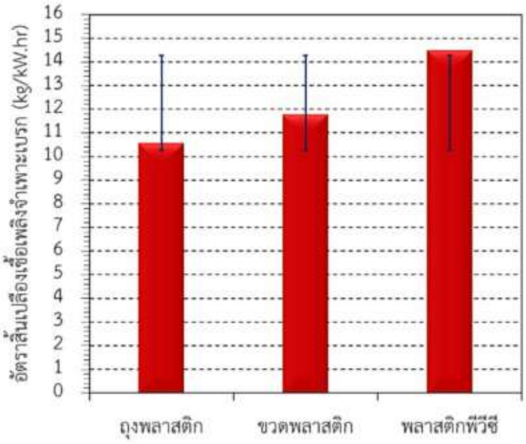
ผลของชนิดน้ำมันขยะพลาสติกต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ตามภาพที่ 4 จะเห็นว่า น้ำมันจากถุงพลาสติกช่วยให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกสูงสุด 11.4 HP ขณะที่น้ำมันจากพลาสติกพีวีซีส่งผลให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกต่ำสุด 10.8 HP นั้นเป็นผลมาจากน้ำมันจากถุงพลาสติกที่มีค่าความร้อนสูงสุด 42.7 MJ/kg จึงส่งผลให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกสูงสุด และด้วยเหตุนี้น้ำมันจากขวดพลาสติกจึงทำให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกสูงกว่าน้ำมันจากพลาสติกพีวีซี



ภาพที่ 4 ผลของน้ำมันจากขนิดขยะพลาสติกต่อแรงม้าเบรกเครื่องยนต์

เมื่อคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จะเห็นว่าข้อมูลในภาพที่ 5 น้ำมันจากพลาสติกพีวีซีมีอัตราการสิ้นเปลืองสูงสุด 14.5 kg/kW.hr ขณะที่น้ำมันจากถุงพลาสติกมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุด 10.6 kg/kW.hr นั้นเป็นผลมาจากน้ำมันที่มีค่าความร้อนสูงช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เครื่องยนต์จึงมีแรงม้าสูงและอัตราการสิ้นเปลืองต่ำ ดังนั้น น้ำมันจากขยะถุงพลาสติกจึงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสมบัติดีที่สุดเหมาะสำหรับนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เพราะช่วยให้เครื่องยนต์มีแรงม้าสูงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขยะจากขวดพลาสติกและพลาสติกพีวีซี



ภาพที่ 5 ผลของน้ำมันจากชนิดขยะพลาสติกต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

สรุปผลการวิจัย

การไพโรไลซีสแบบเร็วของขยะพลาสติก 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก และพลาสติกพีวีซี พบว่า น้ำมันจากถุงพลาสติก มีค่าความร้อนสูงสุด 42.7 MJ/kg จุดวาบไฟต่ำสุด 230.1°C จุดติดไฟต่ำสุด 233.3°C ช่วยให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกสูงสุด 11.4 HP และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุด ขณะที่น้ำมันจากพลาสติกพีวีซี มีค่าความร้อนต่ำสุด 41.1 MJ/kg จึงส่งผลให้เครื่องยนต์มีแรงม้าเบรกต่ำสุด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุด 14.5 kg/kW.hr สำหรับน้ำมันจากขวดพลาสติกมีสมบัติอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันจากขยะอีก 2 ชนิด จึงทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์อยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ที่สนับสนุนทุนวิจัย ปีงบประมาณ 2562 และขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Acomb J.C., Wu C., Williams P.T. (2014). Control of steam input to the pyrolysis-gasification of waste plastics for improved production of hydrogen or carbon nanotubes. **Applied Catalysis B: Environmental**, 147, 571-584.

[2] Acomb J.C., Wu C., Williams P.T. (2015). Effect of growth temperature and feedstock:catalyst ratio on the production of carbon nanotubes and hydrogen from the pyrolysis of waste plastics. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 113, 231-238.

[3] Acomb J.C., Wu C., Williams P.T. (2016). The use of different metal catalysts for the simultaneous production of carbon nanotubes and hydrogen from pyrolysis of plastic feedstocks. **Applied Catalysis B: Environmental**, 180, 497-510.

[4] Cho M.-H., Jung S.-H., Kim J.-S. (2010). Pyrolysis of Mixed Plastic Wastes for the Recovery of Benzene, Toluene, and Xylene (BTX) Aromatics in a Fluidized Bed and Chlorine Removal by Applying Various Additives. **Energy & Fuels**, 24 (2), 1389-1395.

[5] Yun Y.M., Seo M.W., Ra H.W., Koo G.H., Oh J.S., Yoon S.J., et al. (2015). Pyrolysis characteristics of glass fiber-reinforced plastic (GFRP) under isothermal conditions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 114, 40-46.

[6] Devaraj J., Robinson Y., Ganapathi P. (2015). Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. **Energy**, 85, 304-309.

[7] Muhammad C., Onwudili J.A., Williams P.T. (2015). Catalytic pyrolysis of waste plastic from electrical and electronic equipment. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 113, 332-339.

[8] Paraschiv M., Kuncser R., Tazerout M., Prisecaru T. (2015). New energy value chain through pyrolysis of hospital plastic waste. **Applied Thermal Engineering**, 87, 424-433.

[9] Syamsiro M., Saptoadi H., Norsujianto T., Noviasri P., Cheng S., Alimuddin Z., et al. (2014). Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors. **Energy Procedia**, 47, 180-188.

[10] Xue Y., Zhou S., Brown R.C., Kelkar A., Bai X. (2015). Fast pyrolysis of biomass and waste plastic in a fluidized bed reactor. **Fuel**, 156, 40-46.

[11] Duanguppama K., Rueangsan K., Kraisoda P., Turakan C., Phinnarat C., Simmee K., et al. (2016). Catalytic Fast Pyrolysis of Leucaena Leucocepphala in Fluidised-bed Reactor with In-situ and Ex-situ Vapors Upgrading. **7th TSME International Conference on Mechanical Engineering** , 117.