การไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วร่วมกับพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

Co-pyrolysis of Waste Engine Oil with HPDE Plastic in the Presence of Catalysts

ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม[1]* มนฤดี ศรีดา[1] และณัฐณิชา ศรีวรรณ[1]

Srisuda Nithettham[1]*, Monruedee Srida[1] and Natthanicha Sriwan[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[1]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

*Corresponding author: srisudas@eng.buu.ac.th

Received: August 3, 2022

Revised: September 22, 2022

Accepted: September 28, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (WEO) ร่วมกับพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วและพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (WEO:HDPE) ในกระบวนการไพโรไลซิสร่วมและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ โดยใช้อัตราส่วน WEO:HDPE ที่ 1:0 1:0.25 และ 1:0.5 โดยน้ำหนัก และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดเท่ากับ 5 wt% 10 wt% และ 15 wt% จากการศึกษาพบว่าในการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วโดยไม่เติมพลาสติก HDPE การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสสูงขึ้นกว่ากรณีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 82.37 ในกรณีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 84.36 เมื่อใช้เพอร์ไลต์ และร้อยละ 87.56 เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ในการเร่งปฏิกิริยา กรณีการไพโรไลซิสร่วมระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE ทั้งอัตราส่วนของ WEO:HDPE และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะช่วยทำให้ได้น้ำมันไพโรไลซิสสูงขึ้น พบว่า ที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 ถ่านกัมมันต์ 10 wt% ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 79.44 และที่อัตราส่วน 1:0.50 เพอร์ไลต์ 10 wt% ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสสูงที่สุดเท่ากับ 81.20 แต่หากใช้อัตราส่วน WEO:HDPE สูงและใช้ถ่านกัมมันต์มากเกินไปจะทำให้เกิดไขและแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในปริมาณมากส่งผลให้น้ำมันไพโรไลซิสลดน้อยลง และส่งผลให้สมบัติทางเคมีทั้งความหนืดและความถ่วงจำเพาะเกินค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ในขณะที่น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการใช้เพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีค่าความหนืดและความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว สำหรับค่าจุดวาบไฟพบว่าต่ำกว่ามาตรฐานทุกตัวอย่าง ซึ่งจะต้องศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันที่ได้ต่อไป ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการไพโรไลซิสร่วมที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 โดยใช้เพอร์ไลต์ 15 wt% และที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.5 โดยใช้เพอร์ไลต์ 10 wt% พบว่า การใช้อัตราส่วนในการไพโรไลซิสร่วมสูงขึ้นส่งผลให้ได้น้ำมันที่มีองค์ประกอบของเคโรซีนและแก๊สออยล์สูงขึ้นด้วย

คำสำคัญ: ไพโรไลซิส น้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ เพอร์ไลต์

Abstract

This research focused on the co-pyrolysis process of Waste Engine Oil--WEO with HDPE plastic using activated carbon and perlite as catalysts. The objective is to study the effects of WEO:HDPE ratios and catalyst amounts on the yields and chemical properties of pyrolysis oil. The WEO:HDPE ratios were 1:0, 1:0.25 and 1:0.5, and the amounts of catalysts were 5 wt%, 10 wt% and 15 wt%. The results show that in WEO pyrolysis without HDPE plastic, the yield of pyrolysis oil increases from 82.37% to 84.36% and 87.56% with the presence of perlite and activated carbon, respectively, compared with non-catalytic pyrolysis. In the case of co-pyrolysis of WEO with HDPE plastic, the suitable ratio and amount of catalyst could result in a higher yield of pyrolysis oil. It was found that at the ratio of 1:0.25 and using 10 wt% activated carbon, the highest pyrolysis oil yield of 79.44% was obtained. We obtained an 81.20% pyrolysis oil yield at a ratio of 1:0.50 and using 10% perlite. However, the excessive amount of activated carbon catalyst and high ratio of WEO to HDPE could produce wax and a large amount of incondensable gas, resulting in a lower yield of pyrolysis oil. This also caused a higher viscosity and specific gravity than the standard value of diesel oil. Using perlite as a catalyst, on the other hand, produced pyrolysis oil with the viscosity and specific gravity of diesel oil. However, the flash point of all samples was much lower than the standard and must be improved in the future study. Finally, using a higher WEO:HDPE ratio could result in pyrolysis oil with a high kerosene and gas oil content.

Keywords: pyrolysis, waste engine oil, HDPE, activated carbon, perlite

บทนำ

น้ำมันเครื่องยนต์ประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารเพิ่มคุณภาพ ซึ่งในการเผาไหม้เครื่องยนต์จะเกิดการสะสมผงเขม่าขนาดเล็ก ส่งผลให้น้ำมันเครื่องมีค่าความหนืดสูงขึ้น การหล่อลื่นจึงลดลงและเกิดสารประกอบอะโรมาติกและโลหะหนัก รถยนต์ทุกคันจำเป็นต้องได้รับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์ตามระยะทางหรือระยะเวลาที่กำหนด น้ำมันเครื่องยนต์ที่เสื่อมสภาพแล้วถูกจัดอยู่ในกลุ่มของเสียอันตรายและมีความเป็นพิษสูง การจัดการของเสียอันตรายต้องดำเนินการโดยผู้รับบำบัดกำจัดที่มีใบอนุญาตถูกต้องตามกฎหมาย การจัดการที่ไม่ถูกวิธีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์เป็นอย่างมาก (Su et al., 2016) ปัจจุบันแนวโน้มของปริมาณน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี เนื่องจากจำนวนรถยนต์จดทะเบียนใหม่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Department of Land Transport, 2022) จึงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของเสียอันตรายในสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วยังมีส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สามารถผ่านกระบวนการเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำกลับมาใช้ใหม่ นำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม หรือพัฒนาคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในรถยนต์ได้ ดังนั้นการศึกษาและพัฒนากระบวนการและเทคโนโลยีที่สามารถนำน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ซึ่งมีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Pilusa Muzenda & Shukla, 2013) การใช้เทคโนโลยีเมมเบรน (Li, Thongsukmak, Sirkar, Gross & Mordukhovich,

2011) การดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ (Salem, Salem & Babaei, 2015) และการชะล้างด้วยสารเคมี (Hamawand, Yusaf & Rafat, 2013) วิธีดังกล่าวนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของวิธีการดำเนินการที่ซับซ้อนยังคงทำได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการและวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการจะเกิดเป็นของเสียเพิ่มมากขึ้น นอกจากวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว การไพโรไลซิสนับเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว ซึ่งกากของแข็ง (residue) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสยังสามารถนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้อีก รวมถึงการไพโรไลซิสร่วมของน้ำมันที่เป็นของเสียร่วมกับวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ เช่น ขยะพลาสติก (Breyer, Mekhitarian, Rimez & Haut, 2017) ยางรถยนต์ (Suat, Selhan, Jale, Mehmet & Mithat, 2005) เป็นต้น พบว่า สามารถเพิ่มร้อยละผลได้ของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวให้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (Serrano, Aguado & Escola, 2012)

ในงานวิจัยนี้ สนใจการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถผลิตได้ง่ายจากวัสดุเหลือใช้หรือวัสดุตามธรรมชาติ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์และเพอร์ไลต์ (perlite) ถ่านกัมมันต์มีข้อดีที่สามารถกักเก็บความชื้นได้ สามารถดูดซับออกซิเจนออกจากน้ำมันได้ในขณะเกิดปฏิกิริยาการแตกสลาย (cracking) ส่งผลให้โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสน้อยลง (Su et al., 2016) งานวิจัยของ Prathiba, Shruthi and Miranda (2018) พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยไมโครเวฟ จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงขึ้นกว่าการไพโรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ งานวิจัยของ Wongtyanuwat et al. (2018) พบว่า น้ำมันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีคุณสมบัติคล้ายแก๊สโซลีน น้ำมันเจ็ทและน้ำมันดีเซล สำหรับเพอร์ไลต์นั้น มีโครงสร้างตามธรรมชาติที่มีความพรุนสูง จึงสามารถช่วยลดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างไพโรไลซิส ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากขึ้นด้วย ด้วย (Aydinli & Caglar, 2012) นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรงสามารถทนอุณหภูมิสูง ๆ ได้ และมีความต้านทานเชิงกลสูง (Acosta et al., 2006) โดยองค์ประกอบหลักของเพอร์ไลต์ คือ SiO_2 และ Al_2O_3 จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา SiO_2 และ Al_2O_3 จะช่วยปรับคุณภาพน้ำมันให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลได้ (Kar, 2011) ดังนั้นทั้งเพอร์ไลต์และถ่านกัมมันต์จึงจัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่น่าสนใจ อีกทั้งยังมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนไม่สูง และสามารถแยกออกและนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (Waste Engine Oil--WEO) ร่วมกับพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะศึกษาผลของอัตราส่วนการไพโรไลซิสร่วมระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE และศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

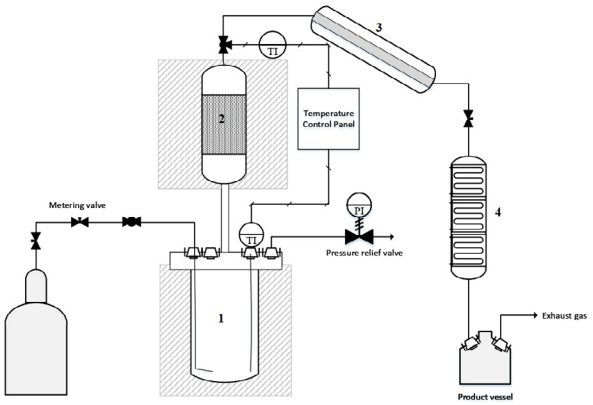
ศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วและพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในกระบวนการไพโรไลซิสร่วมและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี น้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วสำหรับการไพโรไลซิส ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สยามนิสสันชลบุรี สาขาหนองมน แกลลอนนมซึ่งเป็นพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene--HDPE) จากร้านเครื่องดื่มโดยรอบมหาวิทยาลัย นำมาล้างทำความสะอาดและตากแห้ง จากนั้นตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาดให้มีขนาด 1.8-3 mm ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ขนาดรูพรุนระหว่าง 5-15 nm พื้นที่ผิวรูพรุนประมาณ 1050-1150 m^2/g ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด และเพอร์ไลต์แบบขยายตัวแล้วจากร้านค้าต้นไม้ มีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 ประมาณ 65-75 wt% และ Al_2O_3 ประมาณ

11-14 wt% และพื้นที่ผิวรูพรุนอยู่ในช่วง 100-200 m^2/g (Herskovitch & Lin, 1996; Samar & Saxena, 2016; Köksal & Turp, 2017; Reka et al., 2019; Darmawan, Wahyudi, Mamby & Suherman, 2021)

การใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบคู่ (Two-stage reactor) มีส่วนประกอบแสดงดังภาพ 1 ประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (Pyrolysis reactor หมายเลข 1) สำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ต้องการไพโรไลซิส มีเตาให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนได้ ไอระเหยของน้ำมันจากเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสจะผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบกลั่น (Distillation reactor หมายเลข 2) ที่กำหนดอุณหภูมิการกลั่นไว้ที่ค่าหนึ่งซึ่งได้ออกแบบและศึกษาไว้สำหรับการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยเฉพาะ (Chompoonuch, Nithettham & Asnachinda, 2018) หลังจากนั้น ไอระเหยที่ผ่านเครื่องปฏิกรณ์แบบกลั่นและมีอุณหภูมิตามที่กำหนดจะผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ (Double pipe heat exchanger หมายเลข 3) สำหรับควบแน่นไอระเหยน้ำมันให้เป็นของเหลว และถูกลดอุณหภูมิลงด้วยชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเกลียว (Coil and shell heat exchanger หมายเลข 4) แล้วจึงเก็บไว้ในขวดเก็บผลิตภัณฑ์ (product vessel) เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพ 1 ชุดการทดลองไพโรไลซิสร่วมของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิสเริ่มต้นโดยการวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของวัตถุดิบน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วผสมกับพลาสติกชนิด HDPE ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis--TGA โดยให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 600 °C ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน และอัตราการให้ความร้อนที่ 5 °C/min แล้วนำผลที่วิเคราะห์ได้มากำหนดอุณหภูมิในการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วผสมกับพลาสติกชนิด HDPE ทั้งหมด 3 อุณหภูมิ โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE (WEO:HDPE) เท่ากับ 1:0.25 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่น้อยที่สุดที่จะกำหนดในการศึกษาครั้งนี้ ในการไพโรไลซิสจะใช้สภาวะต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ตามที่ได้ออกแบบและศึกษาไว้ในงานวิจัยของ Chompoonuch et al. (2018) ได้แก่ อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (ไนโตรเจน) เท่ากับ 30 mL/min ตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบกลั่นเท่ากับ 250 °C และใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 5 °C/min และเมื่อถึงอุณหภูมิไพโรไลซิสที่กำหนดแล้วคงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 2 hr บันทึกน้ำหนักของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้ในขวดเก็บผลิตภัณฑ์ และของแข็งที่เหลือจากการไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้คำนวณน้ำหนักของแก๊สจากผลต่างระหว่างน้ำหนักวัตถุดิบตั้งต้นและผลรวมของผลิตภัณฑ์น้ำมันและของแข็งที่เหลือ แล้วจึงนำมาคำนวณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 3 สถานะ ได้แก่ ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ด้วยสมการต่อไปนี้

ร้อยละผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (%Yield) = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (กรัม)/น้ำหนักของวัตถุดิบตั้งต้น (กรัม) X 100

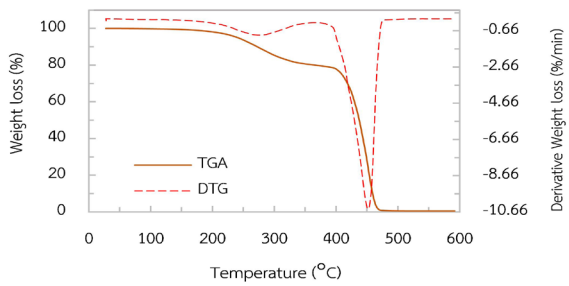
การไพโรไลซิสร่วมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ และเพอร์ไลต์ โดยถ่านกัมมันต์จะผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90°C สำหรับเพอร์ไลต์จะนำมาบดด้วยและร่อนคัดขนาดให้ได้ขนาดน้อยกว่า 200 mesh แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 90°C ก่อนนำมาใช้งาน เตรียมวัตถุดิบสำหรับการไพโรไลซิสโดยผสมน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE ในอัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0 1:0.25 และ 1:0.5

โดยน้ำหนัก และมีน้ำหนักรวม 100 g แล้วผสมตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ 5 wt% 10 wt% และ 15 wt% ของน้ำหนักรวม จากนั้นกวนของผสมด้วยเครื่อง Overhead stirrer ที่ความเร็วรอบ 300 rpm เป็นเวลา 1 hr ก่อนบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส กำหนดอุณหภูมิการไพโรไลซิสตามผลการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ และดำเนินการตั้งสภาวะต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์เช่นเดิม รวมถึงการเก็บตัวอย่างและบันทึกผล

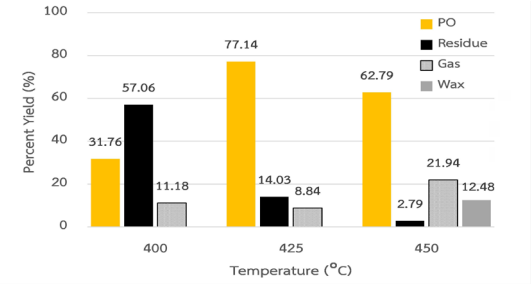
การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นน้ำมันไพโรไลซิสจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติและเปรียบเทียบกับน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วก่อนไพโรไลซิส โดยวิเคราะห์ความหนาแน่น (density) และความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน (specific gravity) ตามมาตรฐาน ASTM D 1298 วิเคราะห์ความหนืด (viscosity) ตามมาตรฐาน ASTM D 445 และวิเคราะห์จุดวาบไฟ (flash point) ตามมาตรฐาน ASTM D 93 (ทดสอบที่อุณหภูมิ 18 °C ขึ้นไป) และคัดเลือกตัวอย่างน้ำมันผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟี (Gas Chromatograph, Agilent 6890N)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิส จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของวัตถุดิบที่เป็นของผสมระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วและพลาสติกชนิด HDPE ด้วยเทคนิค TGA ผลที่ได้แสงดังภาพ 2 โดยกราฟ TG จะแสดงการลดลงของน้ำหนักวัตถุดิบ และกราฟ DTG จะแสดงพีคของการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งบ่งบอกให้ทราบว่าวัตถุดิบมีการสลายตัวทางความร้อน 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 170-400 °C เป็นช่วงที่น้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วเริ่มมีการสลายตัว และตำแหน่งที่สองอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 400-470 °C เป็นช่วงที่พลาสติกชนิด HDPE เริ่มมีการสลายตัวโดยน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วยังคงสลายตัวอย่างต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมินี้ และสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิประมาณ 470 °C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Singh (2011) ที่พบว่า พลาสติกชนิด HDPE ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 390–490 °C ซึ่งจากผลการวิเคราะห์นี้สามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการไพโรไลซิส คือ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 °C จึงได้กำหนดอุณหภูมิที่จะใช้ทดสอบการไพโรไลซิสไว้ 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 400 °C 425 °C และ 450 °C ผลการทดสอบการไพโรไลซิสทั้ง 3 อุณหภูมิ แสดงดังภาพ 3 ซึ่งใช้อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 โดยน้ำหนัก พบว่า การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 °C ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil--PO) ในสถานะของเหลวเพียงร้อยละ 31.8 ในขณะที่เหลือกากของแข็ง (residue) สูงถึงร้อยละ 57.1 คาดว่าเป็นพลาสติก HDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดเนื่องจาก จากผลการวิเคราะห์ TGA พลาสติก HDPE เพิ่งเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 400 °C และเมื่อใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้นเป็น 425 °C พบว่า มีน้ำมันไพโรไลซิสสูงขึ้นและเหลือกากของแข็งน้อยลงเท่ากับร้อยละ 77.1 และร้อยละ 14.0 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้นอีกเป็น 450 °C พบว่าปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสต่ำลงและมีไข (wax) เกิดขึ้นด้วย โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Singh (2013) ที่ได้รายงานไว้ว่าการไพโรไลซิสพลาสติกชนิด HDPE จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมค่าหนึ่งที่ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันในปริมาณสูงที่สุด หากอุณหภูมิไพโรไลซิสต่ำเกินไปจะเหลือกากของแข็งและเกิดแก๊สในปริมาณมาก แต่ถ้าอุณหภูมิไพโรไลซิสสูงเกินไปจะมีไขเกิดขึ้นมาด้วย และปริมาณไขจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นในส่วนถัดไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสเท่ากับ 425 °C



ภาพ 2 กราฟ TGA และ DTG ของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วผสมพลาสติกชนิด HDPE ในอัตราส่วน 1: 0.25



ภาพ 3 ผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสร่วมที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ในสถานะต่าง ๆ

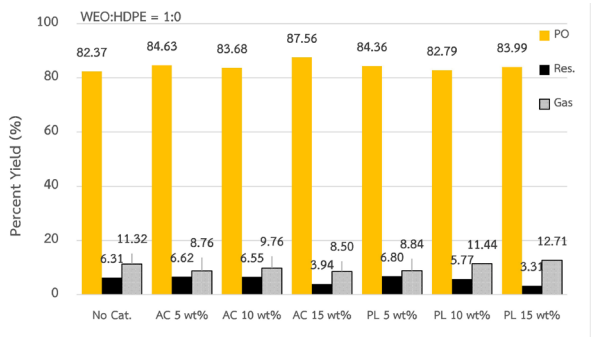
ผลการศึกษาการไพโรไลซิสร่วมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ภาพ 4 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไพโรไลซิส และผลิตภัณฑ์ในสถานะของแข็งและแก๊สจากการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วร่วมกับพลาสติกชนิด HDPE ที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0 1:0.25 และ 1:0.5 โดยน้ำหนัก โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์และเพอร์ไลต์ในปริมาณ 5 wt% 10 wt% และ 15 wt% พบว่า การเติมตัวเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มในการเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไพโรไลซิสให้สูงขึ้น สังเกตผลได้ชัดในการทดลองที่ใช้อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0 (ไม่มี HDPE) และ 1:0.25 โดยน้ำหนัก กรณีไม่เติมพลาสติก HDPE ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มจากร้อยละ 82.4 เป็นร้อยละ 87.6 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ 15 wt% และร้อยละ 84.4 ในการใช้เพอร์ไลต์ 5 wt% และกรณีใช้อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มจากร้อยละ 77.1 เป็นร้อยละ 79.4 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ 10 wt% และร้อยละ 78.1 ในการใช้เพอร์ไลต์ 15 wt% จะเห็นได้ว่าการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มที่จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสสูงกว่าการใช้เพอร์ไลต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าเพอร์ไลต์ประมาณ 5-11 เท่า แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนในระหว่างการไพโรไลซิส มากกว่าการมี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบ ซึ่งในงานวิจัยของ Pratiba et al. (2018) แสดงให้เห็นเช่นกันว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ในการไพโรไลซิสพอลิสไตรีนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 80.68 เป็นร้อยละ 83.44 ซึ่ง Pratiba et al. (2018) ได้ให้เหตุผลไว้ว่าถ่านกัมมันต์เป็นตัวกักเก็บและส่งผ่านความร้อนไปยังวัตถุดิบมากขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิส จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกสลายทางความร้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณพลาสติก HDPE ที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.50 โดยน้ำหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีไขเกิดขึ้น และหากไม่มีการผสมพลาสติก HDPE ในน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วตั้งต้น ก็จะไม่มีไขเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์น้ำมันไพโรไลซิส นั่นแสดงว่าไขที่เกิดขึ้นมาจากองค์ประกอบของพลาสติก HDPE ที่มีโมเลกุลใหญ่บางส่วนเกิดการแตกสลายด้วยความร้อนได้มากขึ้นเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่คงอุณหภูมิไว้ไม่นานพอที่จะทำให้โมเลกุลใหญ่เหล่านั้นแตกสลายอย่างสมบูรณ์ (Kumar & Singh, 2011) เมื่ออุณหภูมิเย็นลงจึงทำให้เกิดการรวมตัวกลับมาเป็นไข ในขณะที่การใช้อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.50 โดยน้ำหนัก และมีถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมากที่สุด คือ 15 wt% กลับไม่ได้ช่วยเพิ่มร้อยละผลได้ของน้ำมันไพโรไลซิสแต่กลับทำให้เกิดแก๊สมากขึ้น การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่หากใช้ปริมาณมากเกิดไปในขณะที่มีวัตถุดิบประเภทพลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ในปริมาณมากเช่นกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิด repolymerization ของโมเลกุลแก๊สที่แตกตัวออกมาจากพลาสติกทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ตามมาและมีปริมาณมากกว่าน้ำมันที่เป็นของเหลว (Kar, 2011)

เมื่อพิจารณาผลกรณีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (No Cat.) พบว่า การผสมพลาสติกชนิด HDPE ในการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วส่งผลให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงประมาณร้อยละ 5 และมีปริมาณกากของแข็งสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมพลาสติกชนิด HDPE ไม่ส่งผลในการเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อย่างไรก็ตามจะต้องทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้ในลำดับถัดไป

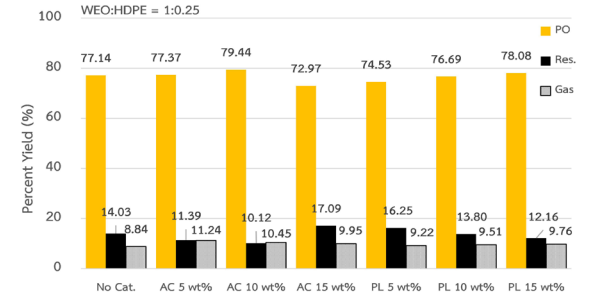
ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิส เมื่อนำน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการไพโรไลซิสร่วมมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และจุดวาบไฟ เปรียบเทียบกับน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว และเปรียบเทียบกับมาตรฐานสมบัติน้ำมันดีเซลตามประกาศกระทรวงพลังงานปี 2558 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 1 พบว่า น้ำมันไพโรไลซิสทุก ๆ สภาวะมี

ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว ค่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ยกเว้นน้ำมันไพโรไลซิสที่ไม่เติมพลาสติกและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากกรณีใช้อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.5 และเติมถ่านกัมมันต์ 10 wt% และ 15 wt% ซึ่งมีค่าความหนืดเกินมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว นอกจากนั้น น้ำมันไพโรไลซิสทั้งหมดนี้มีค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของสมบัติทางกายภาพ ทั้งความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการไพโรไลซิสร่วมและใช้เพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วทุกสภาวะการไพโรไลซิส ซึ่งจะเป็นตัวแทนตัวอย่างในการนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป สำหรับค่าจุดวาบไฟนั้นพบว่า น้ำมันไพโรไลซิสทั้งหมดมีค่าจุดวาบไฟใกล้เคียงกันซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และมีค่าต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วเช่นเดียวกัน ซึ่งงานวิจัยของ Chompoonuch et al. (2018) พบว่าการเพิ่มจุดวาบไฟนั้นสามารถทำได้ด้วยการกลั่นซ้ำเพื่อกลั่นแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำและระเหยง่ายออกไป

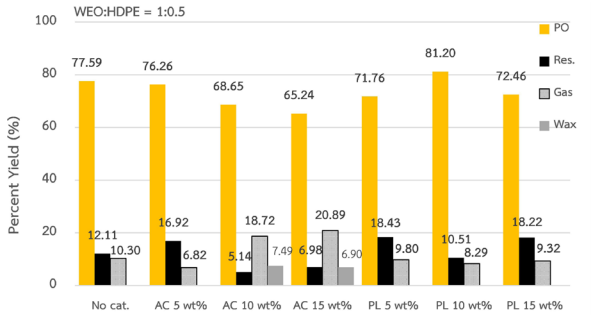
ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันไพโรไลซิส จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสทุกตัวอย่างข้างต้น ตัวอย่างที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดในแต่ละอัตราส่วนจะถูกเลือกมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟี (Gas Chromatography–GC) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสร่วมที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 โดยน้ำหนัก และใช้เพอร์ไลต์ 15 wt% และน้ำมันไพโรไลซิสร่วมที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.5 โดยน้ำหนัก และใช้เพอร์ไลต์ 10 wt% เปรียบเทียบกับน้ำมันไพโรไลซิสที่ไม่ผสมพลาสติก HDPE และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพ 5 จากภาพ 5 (ก) จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของน้ำมันไพโรไลซิสที่ไม่มีการเติมพลาสติก HDPE และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีการกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C8–C20 จากภาพฮิสโตแกรมที่มีลักษณะเบ้ขวาบ่งชี้ถึงองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสายโซ่สั้นที่มีปริมาณสูงกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวอย่างเห็นได้ชัด และจากผลการวิเคราะห์ GC-MS ในภาพ 5 (ข) เมื่อใช้อัตราส่วน WEO:HDPE ที่ 1:0.25 และเพอร์ไลต์ 15 wt% (กราฟแท่งสีเหลือง 1:0.25 PL 15) และกรณีใช้อัตราส่วน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 4 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสร่วมของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติก HDPE โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วน WEO:HDPE (ก) 1:0 (ข) 1:0.25 และ (ค) 1:0.5

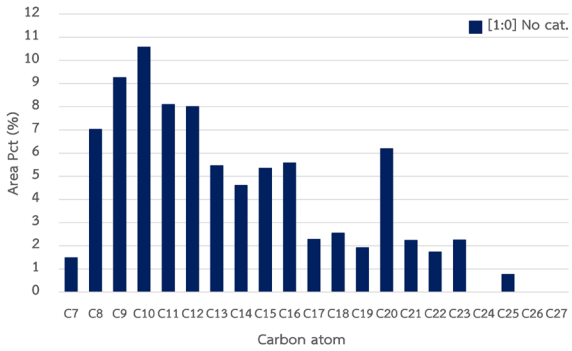
WEO:HDPE ที่ 1:0.50 และเพอร์ไลต์ 10 wt% (กราฟแท่งสีเทา 1:0.5 PL 10) เปรียบเทียบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า จากกราฟที่มีลักษณะฮิสโตแกรมแบบเบ้ขวาเช่นเดียวกันนั้นแสดงให้เห็นว่าน้ำมันไพโรไลซิสมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสายโซ่สั้น และยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวในช่วง C24–C27 เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

ตาราง 1

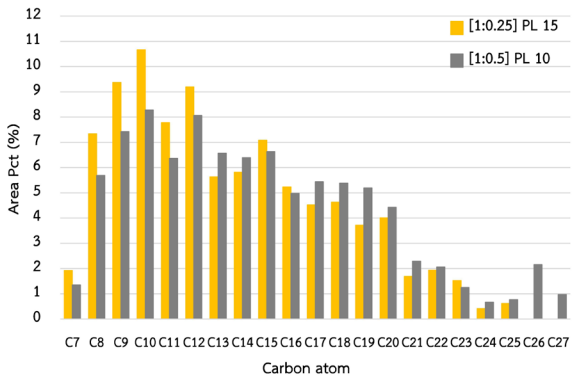
สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิส

ประเภทของน้ำมัน		ความถ่วงจำเพาะ	ความหนืด (cSt)	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ตามมาตรฐานคุณสมบัติน้ำมันดีเซล 2558)		0.81-0.87	1.8-4.1	>52
น้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วที่ไม่ได้ผ่านการไพโรไลซิส		0.87	45.57	53
น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว*		0.83	5.11	18.3
น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วร่วมกับพลาสติก HDPE อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0.25	No cat.	0.82	3.50	<18
	AC 5 wt%	0.82	3.66	<18
	AC 10 wt%	0.82	4.26	<18
	AC 15 wt%	0.82	3.80	<18
	PL 5 wt%	0.82	3.61	<18
	PL 10 wt%	0.81	3.40	<18
	PL 15 wt%	0.82	3.41	<18
น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วร่วมกับพลาสติก HDPE อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0.5	No cat.	0.81	3.37	<18
	AC 5 wt%	0.81	2.72	<18
	AC 10 wt%	0.82	5.23	N/A
	AC 15 wt%	0.82	4.00	N/A
	PL 5 wt%	0.81	2.52	<18
	PL 10 wt%	0.81	3.30	<18
	PL 15 wt%	0.81	2.48	<18

หมายเหตุ *ไม่มีการผสม HDPE และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



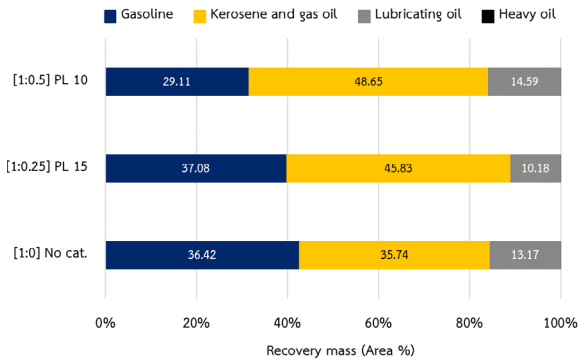
(ก)



(ข)

ภาพ 5 ผลการวิเคราะห์ GC-MS ของน้ำมันไพโรไลซิส (ก) ไม่เติม HDPE และไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และ (ข) เติม HDPE และมีตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ GC-MS มาทำการแบ่งช่วงองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตามช่วงการกลั่นของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมของ Coker (2018) ซึ่งอ้างอิงจากจำนวนอะตอมคาร์บอน โดย Gasoline มีจำนวนอะตอมคาร์บอน C5-C11 Kerosene and gas oil มีจำนวนอะตอมคาร์บอน C12-C19 Lubricating oil มีจำนวนอะตอมคาร์บอน C20-C27 และ Heavy oil มีจำนวนอะตอมคาร์บอนมากกว่า C28 ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพ 6 พบว่า ผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสร่วมของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วและพลาสติก HDPE โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยามีองค์ประกอบของเคโรซีนและแก๊สออยล์สูงขึ้นกว่ากรณีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้อัตราส่วนไพโรไลซิสร่วม WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.5 จะให้น้ำมันที่มีองค์ประกอบของเคโรซีนและแก๊สออยล์สูงกว่าที่อัตราส่วน 1:0.25 ซึ่งเท่ากับ 48.65% (ตัวอย่าง 1:0.5 PL 10) และ 45.83% (ตัวอย่าง 1:0.25 PL 15) ตามลำดับ ในขณะที่กรณีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณเคโรซีนและแก๊สออยล์เท่ากับ 35.7% (ตัวอย่าง 1:0 No cat.)



ภาพ 6 องค์ประกอบของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้ แบ่งตามช่วงการกลั่นของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วร่วมกับพลาสติกชนิด HDPE โดยมี ถ่านกัมมันต์และเพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิ 425 °C เหมาะสมกับการทำไพโรไลซิสร่วมซึ่งจะทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงถึง 77.1 wt% การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในการไพโรไลซิสน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ได้ร้อยละของน้ำมันไพโรไลซิสสูงขึ้น และกรณีการไพโรไลซิสร่วมระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วกับพลาสติกชนิด HDPE ทั้งอัตราส่วนของ WEO:HDPE และการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวทางความร้อนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไพโรไลซิสสูงขึ้น แต่หากใช้อัตราส่วน WEO:HDPE สูงและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์มากเกินไปจะทำให้เกิดไขและเกิดแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในปริมาณมากส่งผลให้น้ำมันไพโรไลซิสลดน้อยลง ส่งผลให้สมบัติทางเคมีทั้งความหนืดและความถ่วงจำเพาะเกินค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการใช้เพอร์ไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีค่าความหนืดและความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว สำหรับค่าจุดวาบไฟพบว่า ต่ำกว่ามาตรฐานทุกตัวอย่าง ซึ่งจะต้องศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันที่ได้ต่อไป

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสร่วมที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.25 โดยใช้เพอร์ไลต์ 15 wt% และที่อัตราส่วน WEO:HDPE เท่ากับ 1:0.5 โดยใช้เพอร์ไลต์ 10 wt% พบว่า การใช้อัตราส่วนในการไพโรไลซิสร่วมสูงขึ้นส่งผลให้ได้น้ำมันที่มีองค์ประกอบของเคโรซีนและแก๊สออยล์สูงขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

น้ำมันไพโรไลซิสที่สังเคราะห์ได้นั้นพบว่ามีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสมบัติน้ำมันดีเซลหมุนเร็วทุกตัวอย่าง และจากแนวคิดในงานวิจัยของ Chompoonuch et al. (2018) พบว่า การเพิ่มจุดวาบไฟของน้ำมันสามารถทำได้ด้วยวิธีการกลั่นซ้ำ หากนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ จะทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนสนับสนุนโครงงานทางวิศวกรรมสำหรับนิสิตปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 (สัญญาเลขที่ PJ.5/2563)

References

Acosta, D., Martinez, J., Carrera, C., Erdmann, E., Gonzo, E., & Destefanis, H., (2006). New material as support for nickel boride catalyst. *Latin American Applied Research, 36*, 317–320. http://www.scielo.org.ar/pdf/laar/v36n4/v36n4a17.pdf

Aydinli, B., & Caglar, A. (2012). The investigation of the effects of two different polymers and three catalysts on pyrolysis of hazelnut shell. *Fuel Processing Technology, 93*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.07.009

Breyer, S., Mekhitarian, L., Rimez, B., & Haut, B. (2017). Production of an alternative fuel by the co-pyrolysis of landfill recovered plastic wastes and used lubrication oils. *Waste Management (New York, N.Y.), 60*, 363–374. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.011

Chompoonuch, N., Nithettham, S., & Asnachinda, E. (2018). Recovery of waste engine oil by pyrolysis distillation process. *Proceedings of the Annual Conference on Management and Social Science* (pp. 439-449). Osaka: Osaka Gakuin University.

Coker, A. K. (2018). *Petroleum refining design and applications handbook (vol. 1)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Darmawan, D. A., Wahyudi, A., Mamby, H. E., & Suherman, I. (2021). Characterization of perlite and expanded perlite from West Sumatera, Indonesia. *International Seminar on Mineral and Coal Technoloty, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 882*, 012010. doi: 10.1088/1755-1315/882/1/012010

Department of Land Transport, Planning division, Transport statistics group. (2022). *Number of new register vehicles*. Retrieved from https://web.dlt.go.th/statistics/ (in Thai)

Hamawand, I., Yusaf, T., & Rafat, S. (2013). Recycling of waste engine oils using a new washing agent. *Energies, 6*(2), 1023-1049; https://doi.org/10.3390/en6021023

Herskovitch, D., & Lin, I. J. (1996). Upgrading of raw perlite by a dry magnetic technique. *Magnetic and Electrical Separation, 7*, 145-161. https://doi.org/10.1155/1996/58505

Kar, Y. (2011). Catalytic pyrolysis of car tire waste using expanded perlite. *Waste Management, 31*(8), 1772-1782. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.04.005

Köksal, K., & Turp, S. M. (2017). Hydrogen storage in expanded perlite. *International Porous and Powder Materials Symposium and Exhibition (PPM 2017)*. Kuşadası, Turkey: BIDEP.

Kumar, S., & Singh, R. K. (2011). Recovery of hydrocarbon liquid from waste high density polyethylene by thermal pyrolysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering, 28*(4), 659–667. https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000400011

Kumar, S., & Singh, R. K. (2013). Thermolysis of high-density polyethylene to Petroleum products. *Journal Petroleum Engineering, 2013*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2013/987568

Li, Y., Thongsukmak, A., Sirkar, K. K., Gross, B. K., & Mordukhovich, G. (2011). Bio-inspired onboard membrane separation of water from engine oil. *Journal of Membrane Science, 378*(1-2), 138-148. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.04.038

Pilusa, T. J., Muzenda, E., & Shukla, M. (2013). Thermo-chemical extraction of fuel oil from waste lubricating grease. *Waste Management, 33*(6), 1509-1515. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.014

Prathiba, R., Shruthi, M., & Miranda, L. R. (2018). Pyrolysis of polystyrene waste in the presence of activated carbon in conventional and microwave heating using modified thermocouple. *Waste Management (New York, N.Y.), 76*, 528–536. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.029

Reka, A. A., Pavlovski, B., Lisichkov, K., Jashari, A., Boev, B., Boev, I., Lazarova, M., Eskizeybek, V., Oral, A., Jovanovski, G., & Makreski, P. (2019). Chemical, mineralogical and structural features of native and expanded perlite from Macedonia. *Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society, 72*(3), 215-221. https://doi.org/10.4154/gc.2019.18

Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. A. (2015). Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 23*, 154-162. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.08.009

Samar, M., & Saxena, S. (2016). Study of chemical and physical properties of perlite and its application in India. *International Journal of Science Technology and Management, 5*(4), 70-80. http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1460020555_434V.pdf

Serrano, D. P., Aguado, J., & Escola, J. M. (2012). Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals. *ACS Catalysis, 2*, 1924–1941. https://doi.org/10.1021/cs3003403

Su, L. S., Rock, L. K., Ahmad, J., Cheng, C.T., Farid, A. N., & Mithat, Y. (2016). Progress in waste oil to sustainable energy, with emphasis on pyrolysis techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53*, 741-753. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.005

Suat, U., Selhan, K., Jale, Y., Mehmet, S., & Mithat, Y. (2005). Copyrolysis of scrap tires with waste lubricant oil. *Fuel Processing Technology, 87*, 53–58. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.06.001

Wongtyanuwat, N., Santikunaporn, M., & Asavatesanupap, C. (2018). Synthesis of liquid fuels from waste lubricant oil by pyrolysis process. *Thai Science and Technology Journal, 26*(2), 354-362. (in Thai)