

การสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยกระบวนการไพโรไลซิส

Synthesis of Liquid Fuels from waste Lubricant oil by Pyrolysis Process

นรีรา วงศ์ทยานุวัตร และมาลี สันติคุณาภรณ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ชาญณรงค์ อัสวาทะนุภาพ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Neera Wongtyanuwat and Malee Santikunaporn*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Channarong Asavatesanupap

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วถูกศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งทั้งที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ภายใต้แก๊สไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมี 2 ส่วน คือ แก๊สและของเหลว ผลิตภัณฑ์ของเหลวแบ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติคล้ายแก๊สโซลีน (C7-C10) น้ำมันเจ็ท (C11-C15) และน้ำมันดีเซล (C15-C20) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สนใจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวได้ จากผลการศึกษา ผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ภายใต้สภาวะที่ใช้ศึกษา ระบบที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์แก๊สในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แต่สำหรับระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความเหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาไพโรไลซิส มากกว่าซีโอไลต์วาย สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการศึกษานี้คือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในระบบที่มีถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นในส่วนน้ำมันที่มีคุณสมบัติคล้ายแก๊สโซลีน น้ำมันเจ็ท และน้ำมันดีเซล คิดเป็น 42, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับ

คำสำคัญ : ไพโรไลซิส; น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว; ถ่านกัมมันต์; ซีโอไลต์วาย; เชื้อเพลิงสังเคราะห์

Abstract

Pyrolysis reaction of waste lubricant oil was studied in a fixed-bed reactor both with and without the presence of a catalyst in the temperature range of 300-400 °C under nitrogen atmosphere. Products are contained two parts including gas and liquid. Liquid products consist of gasoline-like fuel (C7-C10), jet oil-like fuel (C11-C15) and diesel-like fuel (C15-C20), which are desirable for liquid fuels. From the experimental study, the amount of gas product increases with temperature. Additionally, under these studied conditions the amount of gas product in the system without any catalysts was almost the same, approximately 50 wt%. However, for the catalytic system it was found that activated carbon is more suitable for pyrolysis reaction than zeolite catalyst. The optimum operating conditions in this study was at temperature of 400 °C over activated carbon. Liquid products consisting of gasoline-like fuel, jet oil-like fuel and diesel-like fuel are 42, 12, and 14 wt% respectively.

Keywords: pyrolysis; waste lubricating oil; activated carbon; y-zeolite; synthetic fuel

1. บทนำ

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ตามการเพิ่มปริมาณการใช้รถยนต์ในประเทศ จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าปริมาณการใช้ น้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันเครื่องที่ถูกใช้ในยานพาหนะภาคอุตสาหกรรมและกิจการอื่น ๆ สูงถึง 230 ล้านลิตรต่อปี [1] ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การจัดการหรือบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วยังคงเป็นปัญหาในปัจจุบัน โดยทั่วไป น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะถูกนำไปเผาไหม้เพื่อใช้เป็นพลังงาน หรือการกลั่นภายใต้ระบบสุญญากาศและการบำบัดโดยการเติมไฮโดรเจน [2,3] แต่อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวสามารถบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้เพียงบางส่วนและยังคงเหลือกากของเสียซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก [3] เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนั้นมีความเป็นกรดและความหนืดสูง การสัมผัสน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และถ้าหากสูดดมเข้าไปจะเกิดอาการวิงเวียน

ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจึงเป็นสิ่งที่ควรกระทำ ทางเลือกหนึ่ง คือ การไพโรไลซิส น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และสามารถช่วยลดปริมาณของเสียเพื่อนำไปกำจัดลง

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการย่อยสลายด้วยความร้อนในที่ในสภาพที่ไร้อากาศ ผลผลิตที่ได้เป็นแก๊สที่มีองค์ประกอบคล้ายกับแก๊สธรรมชาติ และน้ำมันที่มีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำมันดิบ แต่ไม่มียางมะตอย ทั้งแก๊สและน้ำมันที่ได้มีสารปิโตรเคมีเป็นองค์ประกอบ หากสกัดสารเหล่านี้ออกมา และนำไปป้อนเข้าสู่กระบวนการปิโตรเคมี ก็จะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีได้เหมือนปกติ ไม่ว่าจะเป็นพลาสติก ยาง เป็นต้น [4] ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน เวลา ชนิดของถังปฏิกรณ์ เป็นต้น การไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ภายใต้ระบบไมโครเวฟสามารถให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งได้แก่ แก๊สโซลีนและดีเซล มากถึง 67-88 เปอร์เซ็นต์

โดยน้ำหนัก และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป [5] แต่สำหรับระบบไพโรไลซิสที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่าได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก๊สโซลีนประมาณ 65-85 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก [6] สำหรับระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวยซีโอไลต์และมีการเติมไฮโดรเจนโดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส นั้น พบว่า มีปริมาณเชื้อเพลิงเหลวเกิดขึ้นเพียง 31 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก [7]

งานวิจัยนี้ศึกษาการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้กลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้งหนึ่งในรูปของเชื้อเพลิงเหลว ภายใต้สภาวะที่มีแก๊สไนโตรเจนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์วาย (HY) และถ่านกัมมันต์ (AC) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อให้ได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ เป็นกลุ่มของแร่ ซึ่งเรียกว่าไฮเดรตอะลูมิโนซิลิเกต (hydrated aluminosilicate) คำว่า ซีโอไลต์ มาจากภาษากรีก “ซีโอ (Zeo)” แปลว่า “เดือด” และ “ลิธอส (Lithos)” แปลว่า “หิน” ซีโอไลต์พบได้ทั้งในธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ ซึ่งซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์จะสามารถควบคุมขนาดและโครงสร้างที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ซีโอไลต์ยังถูกพบในรูปอื่น ๆ เช่น โครงสร้างอะลูมิโนฟอสเฟต (aluminophosphate) หรือเมทัลโลซิลิเกต (metallo-silicate) ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันตามลักษณะทางโครงสร้างจึงส่งผลให้ซีโอไลต์ได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายในปัจจุบัน ปัจจัยหลักที่ทำให้ซีโอไลต์มีความสำคัญต่อการประยุกต์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี คือ การเป็นวัสดุที่มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง กระบวนการปิโตรเคมีประเภทแรกที่ประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

คือ กระบวนการแตกตัว (cracking process) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแตกของพันธะในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก นอกจากนี้ตัวอย่างการประยุกต์ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้แก่ การกลั่นน้ำมันปิโตรเคมี [8] โดยที่ตัวเร่งซีโอไลต์วายนั้นจะมีสูตรโครงสร้าง คือ $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4.8\text{SiO}_2 \cdot 8.9\text{H}_2\text{O}$ [9]

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการรวบรวมจากอู่ซ่อมรถบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี เริ่มจากการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองขนาดรูพรุน 70 นาโนเมตร (Whatman® No. 40) เพื่อนำเอาสิ่งสกปรกในส่วนที่เป็นของแข็งออก จากนั้นนำสารตัวอย่างไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Small Bench 104 series) เพื่อแยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กออก

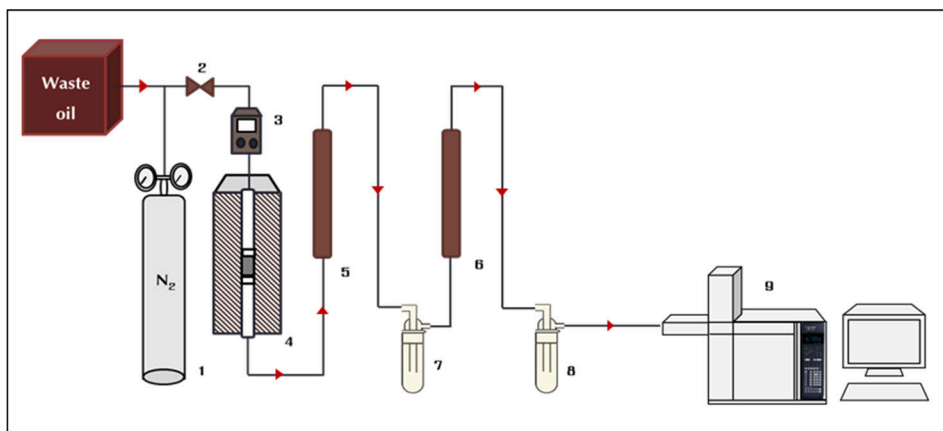
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ ซีโอไลต์วาย (HY, Zeolyst international) และถ่านกัมมันต์ (AC, Shirasagi) ก่อนนำตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวไปใช้งาน ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

2.2 ปฏิกิริยาไพโรไลซิส

ไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วถูกศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้แก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99 % (Praxair) ทั้งแบบที่ใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ทำจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว ยาว 45 เซนติเมตร ไว้ภายในกึ่งกลางของท่อสแตนเลสและบรรจุเม็ดแก้วขนาด 2-3

มิลลิเมตร ไว้ภายในท่อในส่วนที่เหลือทั้งหมด จากนั้นเปิดวาล์วแก๊สไนโตรเจนและตั้งค่าอัตราการไหลคงที่ที่ 20 มิลลิลิตรต่อนาที นาน 4 ชั่วโมง โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 3 ค่า คือ 300 350 และ 400 องศาเซลเซียส

เมื่ออุณหภูมิภายในระบบคงที่ตามที่ได้ตั้งค่าไว้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วถูกปั๊มเข้าเครื่องปฏิกรณ์ด้วย LHSV เท่ากับ 1 ต่อชั่วโมง รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของระบบไพโรไลซิส



รูปที่ 1 ไดอะแกรมระบบไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วภายใต้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (1 = ถังแก๊สไนโตรเจน; 2 = วาล์ว; 3 = เครื่องวัดอัตราการไหล; 4 = เครื่องปฏิกรณ์; 5, 6 = เครื่องทำความเย็น; 7, 8 = อุปกรณ์การควบแน่นด้วยความเย็น; 9 = เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

2.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) แก๊ส ซึ่งจะนำไปผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID) และ (2) ของเหลวที่ได้จากการควบแน่น ซึ่งเรียกว่า pyrolysis oil งานวิจัยนี้สนใจของเหลวที่ได้จากการควบแน่น ซึ่งเมื่อนำไปผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ของเหลวในส่วนนี้สามารถแบ่งออกเป็นเชื้อเพลิงเหลว 4 กลุ่ม ซึ่งถูกแบ่งตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและผลิตภัณฑ์ของเหลวจะนำไปผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter, IKA® C600) และค่าความหนืด (Cannon®-Fenske Routine)

ตารางที่ 1 จำนวนอะตอมของคาร์บอนและจุดเดือดของสารประกอบต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	จำนวนอะตอมของคาร์บอน	จุดเดือด (°C)
1. แก๊ส	C1 ถึง C6	
2. ของเหลวที่ผ่านการควบแน่น		
- แก๊สโซลีน	C7 ถึง C10	140-180
- เคโรซีน (น้ำมันเจ็ท)	C11 ถึง C14	180-250
- น้ำมันดีเซล	C15 ถึง C20	250-350
- ไฮโดรคาร์บอนหนัก	>C20	350-500

3. ผลการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

และผลิตภัณฑ์ในส่วนของเหลวที่เกิดขึ้น น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดค่อนข้างสูง สีน้ำตาลและมีอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ ส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เป็นของเหลวใส สีเหลือง และมีความหนืดต่ำ ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและของผสมที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสซึ่งในที่นี้คือ pyrolysis oil ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและผลิตภัณฑ์ในส่วนของเหลวที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2 สมบัติของสารตั้งต้นและของผสมที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis oil)

สมบัติ	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	Pyrolysis oil		แก๊สโซลีน [10]	ดีเซล [10]
		HY	AC		
ความหนาแน่น (kg/m^3)	890	906	857	767	720-850
ค่าความหนืด ที่ 40°C (cSt)	77.3	26.6	14.3	0.7	1.0-4.0
ค่าความร้อน (MJ/kg)	47.1	45.2	44.8	46.1	36-48

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่นำมาเป็นสารตั้งต้น

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%)
แก๊สโซลีน (C7-C10)	1.0
น้ำมันเจ็ท (C11-C14)	0.3
ดีเซล (C15-C20)	1.0
ไฮโดรคาร์บอนหนัก (>C20)	97.7

ตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า pyrolysis oil ซึ่งเป็นของผสมระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและสารตั้งต้นที่ยังหลงเหลืออยู่ในระบบนั้นมีสมบัติแตกต่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนของเหลวนี้จัดอยู่ในส่วนของเชื้อเพลิงเหลว (แก๊สโซลีนและดีเซล) โดยจะเห็นได้จากความหนาแน่น ค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนของ pyrolysis oil มีค่าอยู่ระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและเชื้อเพลิงเหลว

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (wt%)	
		Pyrolysis oil	Gas
Blank	300	52.5	47.5
	400	48.6	51.4
Y-Zeolite (HY)	400	89.8	10.2
Activated carbon (AC)	400	95.2	4.8

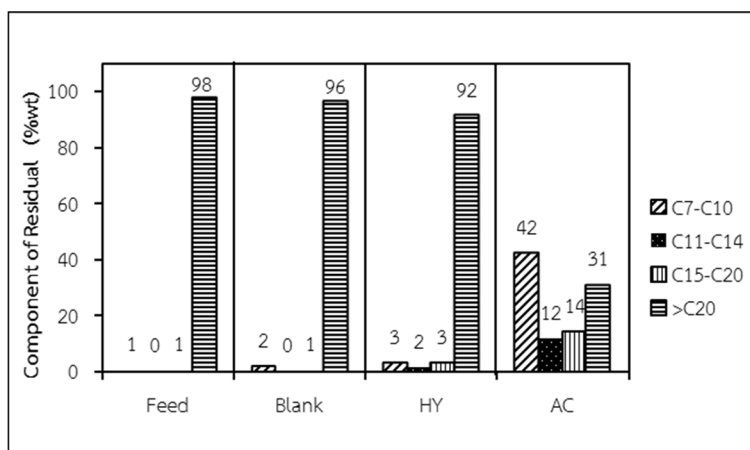
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดต่าง ๆ ถูกนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของน้ำมันหล่อลื่น คิดเป็น 97.7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3

3.1. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์วายและถ่านกัมมันต์

เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วทั้งที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่มีแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4 ระบบที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาใด ๆ ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สสูงถึง 51.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในขณะที่ระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา HY และ AC ได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส 10.2 และ 4.8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใด ๆ โดยระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา AC ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงถึง 95.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อาจเนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา AC มีขนาดรูพรุนขนาดใหญ่และมีจำนวนมากทำให้สารตั้งต้นสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยา

ได้ดียิ่งขึ้น [10,11] ในส่วนของผลิตภัณฑ์ในสถานะแก๊สนั้นจากการวิเคราะห์พบว่า แก๊สประกอบด้วย มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่

ตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก คือ (1) C7-C10 (2) C11-C14 (3) C15-C20 และ (4) C>20 ซึ่งในส่วน of C>20 เป็นส่วนของสารตั้งต้นนั่นเอง จากรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ของเหลว พบว่าระบบที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาใด ๆ องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวคล้ายกับของสารตั้งต้นมาก ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C>20 นั้นแสดงว่าสารตั้งต้นเกือบทั้งหมดเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง สำหรับระบบที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HY ก็ให้ผลเช่นเดียวกับระบบที่ไม่มีเติมตัวเร่งปฏิกิริยา กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น C>20 ในทางตรงกันข้ามกับระบบที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา AC กลับพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวมีองค์ประกอบช่วง C7-C10 อยู่ 42 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ช่วง C11-C14 อยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ช่วง C15-C20 อยู่ 14 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และช่วง



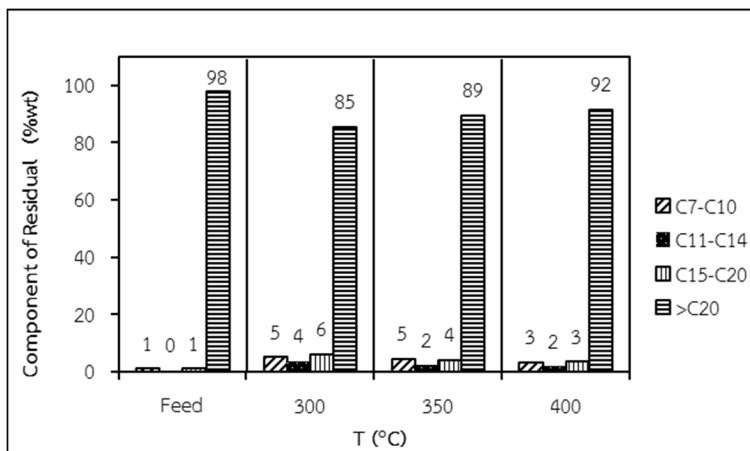
รูปที่ 3 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากระบบที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

C>20 อยู่เพียง 31 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเนื่องจากความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา HY มีความเป็นกรดสูงมาก เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา AC [11,12]

3.2. ผลของอุณหภูมิ

ผลการทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วภายใต้เครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งในสถานะที่มีแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 3 จะพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สมีมากกว่า 50

เปอร์เซ็นต์ (51.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาสูงเกินไป ดังนั้นกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วถูกทดสอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สลง จากผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิช่วง 300 ถึง 400 องศาเซลเซียสมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก คือ ผลิตภัณฑ์แก๊สเกิดขึ้น 47.5 และ 51.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 และ 400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



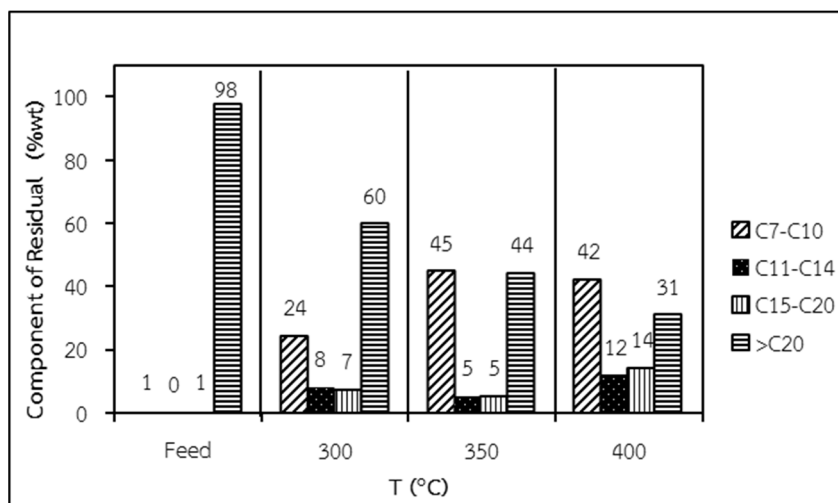
รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา HY ในระบบ

รูปที่ 4 แสดงผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา HY ในระบบ จากผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไม่แตกต่างกันในทุกค่าอุณหภูมิที่ใช้ศึกษา ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C>20 ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา AC ในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวช่วง C>20 พบว่ามีปริมาณลดลงจาก 60 เป็น 31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 400 องศา

เซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวต่าง ๆ เช่น แก๊สโซลีน เจ็ท และน้ำมันดีเซลมีปริมาณมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ศึกษาเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ปริมาณแก๊สโซลีนเพิ่มขึ้นจาก 24 เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แต่ปริมาณน้ำมันเจ็ทและดีเซลค่อนข้างคงที่ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 350 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 350 เป็น 400 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำมันเจ็ทและดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากถ่าน

กัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูง มีปริมาณรูพรุนเป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดจุดร้อน (hot spot) ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous reaction) ระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกับตัวเร่งปฏิกิริยาได้มีประสิทธิภาพมาก

ยิ่งขึ้น [13,14] จึงสามารถสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา AC ในระบบ

4. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการไพโรไลซิสด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งสามารถบำบัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยอาศัยหลักการการแตกตัวด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ในส่วนของการเชื้อเพลิงเหลวที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักซึ่งแยกเป็นแก๊สโซลีน น้ำมันเจ็ท และดีเซลอยู่ 42 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยเพื่อพัฒนาลำดับขั้น หอวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. รายการอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, PCD: Risk of waste lubricant oil, Available Source: http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_lubri.html#s1, May 1, 2016.
- [2] Siriporn Kansiya, 2003, Waste lube oil management, Environ. J. 7(26): (in Thai)
- [3] Ali, M.F., Rahman, F. and Hamdan, A.J., 1995, Techno-economic evaluation of waste lube oil refining, Int. J. Prod. Econ. 42: 263-273.
- [4] News: Sustainability at Chulalongkorn

- University, Available Source: <http://www.green.chula.ac.th/news012.html>.
- [5] Wisa Manasomboonphan, S.J., 2556, Study on optimum pyrolytic conditions of waste lube oil for producing liquid fuel, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [6] Khowatimy, F.A., Yoga Priastomo, E.F., 2014, Study of waste lubricant hydrocracking into fuel fraction over the combination of Y-Zeolite and ZnO catalyst, Proc. Environ. Sci. 20: 225-234.
- [7] Lam, S.S., Russell, A.D., Lee, C.L. and Chase, H.A., 2012, Microwave-heated pyrolysis of waste automotive engine oil: Influence of operation parameters on the yield, composition, and fuel properties of pyrolysis oil, Fuel 91: 327-339.
- [8] Loiha, S., 2556, Zeolite and Zeolite Technology, KKU Sci. J. 41(1): 56-66.
- [9] Dimitar Georgiev, B.B., 2009, Synthetic Zeolites-Structure, Classification, Current Trends in Zeolite Synthesis, Economics and Society development on the Base of Knowledge, Bulgaria.
- [10] Yoomee, P., 2015, Preparation of activated carbons with high surface area from wood charcoal powder by dry chemical activation, KKU Sci. J. 43: 788-798.
- [11] Crosvel Aguilar, R.G.G., 2003, Catalytic wet air oxidation of aqueous ammonia with activated carbon, Appl. Catal. B Environ. 46: 229-237.
- [12] Seghers, L.P., 2016, Improving the efficiency of the Diels-Alder process by using flow chemistry and zeolite, Royal Soc. Chem. Catal. 19: 237-248.
- [13] Lam, S.S., Liew, R.K., Cheng, C.K. and Chase, H.A., 2015, Catalytic microwave pyrolysis of waste engine oil using metallic pyrolysis char, Appl. Catal. B Environ. 176-177: 601-617.