



การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันชีวภาพโดยกระบวนการ เเผาแบบไร้อากาศบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์ Bio Fuel from Bio-Oil by Pyrolytic Catalysis on Dolomite

สว่างทิพย์ ผลาเลิศ¹ ทินกร คำแสน¹ และ กิติโรจน์ หวันตาหลา^{1, 2, 3*}

Sawangthip Palalerd¹ Tinakorn Kumsaen¹ and Kitirote Wantala^{1, 2, 3*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

²ศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

²Research Center for Environmental and Hazardous Substance Management (EHSM), Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

*E-mail: kitirote@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันชีวภาพ (น้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WCO)) ซึ่งการทดลองนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแฟลชเบดที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550°C ภายใต้ความดันบรรยากาศ WHSV = 0.5 h⁻¹ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะทำการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดและเผาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) X-ray diffraction (XRD) N₂ adsorption-desorption และ Field emission scanning mlectron Microscope (FESEM) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย CaO SiO₂ และ Fe₂O₃ นอกจากนั้นแล้วลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการเผาพบเฟสของ Ca(OH)₂ CaCO₃ CaO SiO₂ และหลังจากการเผาพบว่ามีเฟสของ Ca(OH)₂ CaO SiO₂ ซึ่งผลหลังจากการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้พื้นที่ผิวลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหรือการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปออกไซด์ สันฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์ก่อนการเผาประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่และมีลักษณะราบเรียบซึ่งแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์หลังการเผาซึ่งมีลักษณะอนุภาคเล็กลงและขรุขระ ผลผลิตกันท์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาพบว่า น้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีค่าปริมาตรสูงสุดเท่ากับ 90% นอกจากนั้นแล้วการทำปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 450°C สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้สูงสุด ในขณะที่ผลผลิตกันท์ที่ได้ของ น้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 550°C สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้สูงที่สุด ผลผลิตกันท์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยามากขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D86 แยกได้เป็น แก๊สโซลีนและดีเซล ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ซึ่งค่าความร้อนและค่าความหนืดที่ได้มีค่าผ่านตามมาตรฐาน ดังนั้นกระบวนการนี้สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: กระบวนการต่อเนื่อง น้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์

ABSTRACT

The aim of this work was to study the efficiency of biofuel production from bio-oils (Palm oil (PO) and Waste cooking oil (WCO)) in pack-bed reactor with reaction temperature at 450, 500, 550°C under atmospheric pressure and WHSV of 0.5 h⁻¹. The dolomite as a catalyst were pressed to cylindrical pellets and then calcined at 600°C for 4 hr. The physical and chemical properties of catalysts were characterized by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), X-ray diffraction (XRD), N₂ adsorption-desorption and Field emission scanning electron microscope (FE-SEM). The results found that the main compositions of catalyst were CaO, SiO₂ and Fe₂O₃. In addition, the crystalline structures of catalyst before calcination appeared Ca(OH)₂, CaCO₃, CaO and SiO₂. However, after calcination the crystalline structures showed Ca(OH)₂, CaO, SiO₂. The specific surface area decreased because of the phase transformation and thermal decomposition to oxide form of catalyst. The surface morphology of dolomite before calcination showed large particle sizes and smooth surface. The morphology was different after calcination, which obvious in small particle sizes and roughness surface. The highest pyrolytic oil products of PO and WCO were about 90%. Additionally, the products of PO reacted at 450°C gave the highest products, whereas the products of WCO reacted at 550°C showed the highest product yield. The liquid products were distilled following ASTM D86 to separate gasoline and diesel oils. Then, the properties of distilled products were analyzed for viscosity and heating value following ASTM D445 and ASTM D240, respectively. The heating value and viscosity of distilled products followed the standard values. Therefore, this process can produce the bio-fuel oils.

Keywords: Continuous process; Palm oil; Waste cooking oil; Dolomite catalyst

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งธรรมชาติสูงขึ้นมีผลมาจากการขาดแคลนของพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งจัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถหามาทดแทนได้และมีปริมาณลดลงทุกปี ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันดิบ 979 พันบาร์เรลต่อวันหรือ 14,009 ล้านลิตรต่อวัน นอกจากนั้นแล้วปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูป 149 ล้านลิตรต่อวันราคาน้ำมัน 69.49 ดอลลาร์/บาร์เรล [1] ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ประเทศไทยพึ่งพาการใช้พลังงานทดแทน เช่น โดยปัจจุบันมีการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงในการใช้งานรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะที่ใช้ในภาคขนส่งทั้งทางบก น้ำ และอากาศ มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นพลังงานทดแทนเรียกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและสามารถแปรรูปน้ำมันชีวภาพเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วย 2 กระบวนการหลักๆ คือ ผ่านกระบวนการทางความร้อน การสกัดด้วยตัวทำละลาย ส่วนใหญ่แล้วนิยมการใช้กระบวนการทางความร้อน เช่น กระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการานเอสเทอร์อพิเคชั่น ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างๆโดยมีการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากมูลไก่ [2] ด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์อพิเคชั่นพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 90% แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าความเป็นด่างสูงทำให้เกิดสูญผลพลอยได้ (by product) จากกระบวนการคือ กลิเซอรอลและน้ำเสียจากกระบวนการ ต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ ดังนั้นกระบวนการทางเลือกอื่นโดยมีการใช้กระบวนการ fast pyrolysis [3] ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนสูง ความชื้นสูงเสถียรภาพต่ำ ดังนั้นวิธีการที่สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพสูงและง่ายในการควบคุมกระบวนการคือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolytic Catalysis) ซึ่งได้มีการนำชีวมวลมาใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น การใช้ ZSM-5 [4, 5] ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในการกำจัดออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ (deoxygenation) จาก 39% เป็น 20.7-27.3% แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์เป็นกรดสามารถทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอย่าง

รวดเร็วในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากการเกิด coking ใน channels ของ ZSM-5 ตามหลักการของ ลูอิส-บรอนสเตท [6] คือเกาะบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งก่อให้เกิด carbonation ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา coking ถ้าพื้นที่ผิวการเกิดปฏิกิริยามีความเป็นกรดสูงจะทำให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้นส่งผลให้เกิดการสะสมของโค้กซึ่งโมเลกุลของการเกิดโค้กจะดูดซับบน Lewis acid site หากหนาแน่นหรือสูงขึ้นจะทำให้เกิดสารประกอบออกซิเจนหลายชนิดและทำให้เกิดโค้กเร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีการปรับปรุง ZSM-5 ใ้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกที่เป็นค่าพบว่าสามารถเพิ่มการเกิดอะโรมาติกส์และส่งผลให้คุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพดีขึ้นโดยการใช้ Al_2O_3 [7, 8] สามารถลดปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้จาก 41.68% เป็น 24% แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการมีปริมาณที่น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ของไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกส์มีเพียง 7.4% ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านการใช้ตัวเร่งร่วมกับกระบวนการไพโรไลซิสจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงธรรมชาติใ้มีการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด วิธีแก้ปัญหาคือการกำจัดออกซิเจนที่เหมาะสมโดยออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกในรูปแบบ H_2O CO_2 CO [9, 10] และการยับยั้งการเกิดโค้กในกระบวนการ โดยใช้ MgO [11] เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงจาก 39% ได้เป็น 25% นอกจากนี้แล้วพบว่าการใช้ CaO [12-14] เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความเป็นกรดที่เกิดจากการมีปริมาณออกซิเจนสูงได้และยังพบว่าการใช้ SiO_2 ในกระบวนการไพโรไลซิสร่วมกับกากของสับดูในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ O_2 ช่วยในการยับยั้งการเกิดโค้ก ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่างจึงสามารถกำจัดสารประกอบออกซิเจนจากน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้ และสามารถช่วยลดค่าความเป็นกรด ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงมีความเสถียรมากขึ้น ดังนั้น โดโลไมท์ [15, 16] จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่

น่าสนใจเนื่องจากหาง่ายพบได้ตามธรรมชาติในแต่ละท้องถิ่นและโดโลไมท์ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ [17-19] และมีเฟอร์ไรต์ ซิลิกาจำนวนเพียงเล็กน้อย เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงกลุ่มโดโลไมท์คาร์บอนจะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเฟสเป็น CaO และ MgO ซึ่ง CaO [18] เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีศักยภาพโดยจะเกิดกระบวนการ deoxygenation [3] สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพผ่านปฏิกิริยา cracking-decarboxylation และ decarbonylation ของไตรโอเลอิน (triolein) นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO สามารถดูดซับ CO_2 ได้มากทั้งในสถานะของเหลวและของแข็ง

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพจากโดโลไมท์และทดสอบความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันปาล์ม โดยทำการแคลไซน์โดโลไมท์ ภายใ้ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังใ้ศึกษาตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใ้เทคนิคต่างๆดังนี้ การสลายตัวทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer - Differential thermal analyzer (DTG) โครงสร้างผลึกด้วย X-Ray diffractometer (XRD) การสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) การศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) การศึกษาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง N_2 Adsorption Desorption และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองถูกกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D445 และ ASTM D240 เป็นต้น

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ยี่ห้อ Aro ชุมพรอุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มจำกัดมหาชน) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (เทศบาลเมืองขอนแก่น) โดโลไมท์ (ตราดอกเตอร์ ชมรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรขอนแก่น) Potassium Hydroxide (85%V.S.CHEMHOUSE, Bangkok, Thailand), Ethanol (V.S. CHEM HOUSE, Bangkok, Thailand)

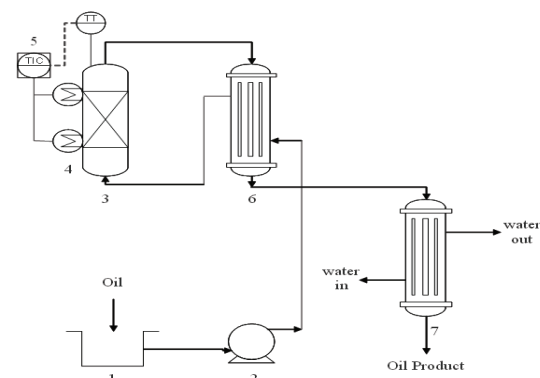
2.2 การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทำการบดโดโลไมท์ด้วยเครื่อง ball mill เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วย pellet machine และนำไปเผาในเตาเผาชนิด hot air oven furnace ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค N₂-Adsorption Desorption (ASPS2460, Micrometrics, USA) และคำนวณหาพื้นที่ผิวด้วยสมการ Brunaur-Emmet-Teller (BET) การวิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analyzer-Differential thermal analyzer (DTG 60, Shimadzu (Asia Pacific) Pte Ltd, Singapore) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของสารที่หายไป วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์โดยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD Model D8 Discover, Bruker AXS, Germany) ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 45 kV และกระแสไฟฟ้า 40 mA ช่วง 2θ จาก 20° ถึง 80° ที่ความยาวคลื่น λ = 1.5406 (Å) วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF model XGT-5200) วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM, Helios NanoLab G3 FIB, USA)

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

ขั้นตอนแรกของกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 250 กรัม ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดแพคเบด ดังรูปที่ 1 ป้อนน้ำมันชีวภาพ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม

และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเข้าสู่เครื่องปฏิกริยาแพคเบดที่ WHSV 0.5 h⁻¹ (120 ml/h)ให้ความร้อนตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 450°C 500°C และ 550°C น้ำมันชีวภาพจะกลายเป็นไอและทำปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์หลังจากนั้นเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจะถูกควบแน่นด้วยเครื่องควบแน่นเป็นของเหลวซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง และนำผลิตภัณฑ์พักไว้เพื่อรอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน กรองน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส 100 ml นำไปกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นเสร็จแล้วนำน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D445 และ ASTM D240 ตามลำดับ



รูปที่ 1 กระบวนการไพโรไลซิส

- 1. ปีกเกอร์ใส่น้ำมัน
- 2. ปั๊ม Peristaltic
- 3. เครื่องปฏิกรณ์ชนิดแพคเบด
- 4. heater
- 5. แผงควบคุมอุณหภูมิ
- 6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 7. เครื่องควบแน่น

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

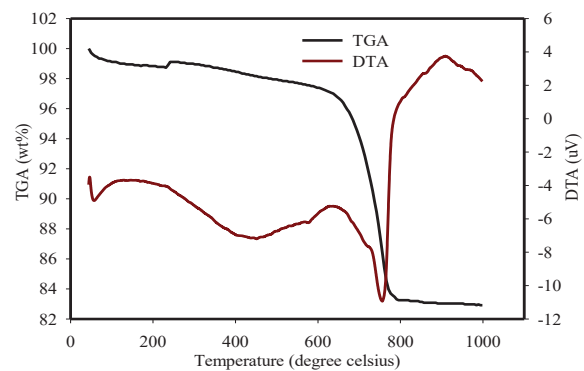
งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์ที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการทำปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมท์เผาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ การวิเคราะห์น้ำหนักของตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิด้วยเครื่อง Differential Thermal Analysis (DTG) เพื่อขึ้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาของตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง X-Ray diffractometer (XRD) X-Ray fluorescence spectrometer (XRF) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเครื่อง N₂ Adsorption-Desorption โดยใช้สมการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) และศึกษาลักษณะพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิการไพโรไลซิส 450 500 และ 550°C และผลิตภัณฑ์ที่ได้กลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 โดยกลั่นตามจุดเดือดแบ่งออกเป็น แก๊ส-โซลีน ดีเซล และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้แก่ วิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D240 และ ASTM D445 ตามลำดับ

3.1 ผลวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์

ในการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ที่ผ่านการเผาถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Thermal Analysis (DTG) ดังรูปที่ 2 เพื่อพิจารณาการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากเส้นกราฟของ TGA พบว่าลักษณะความชันของเส้นโค้งของกราฟจะลดลงเรื่อยๆ แสดงถึงเกิดการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิ 600°C และเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 786°C และการสลายตัวของโคโลไมท์สิ้นสุดลงที่อุณหภูมิ 800°C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 800 °C จากงานวิจัยของ Santos และคณะ [18, 21] พบว่าที่ 589°C แสดงถึงการสลายตัวของโครงสร้างโคโลไมท์จาก CaCO₃ เกิดการฟอร์มตัวอยู่ในรูปของ CaO และ CO₂ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึง

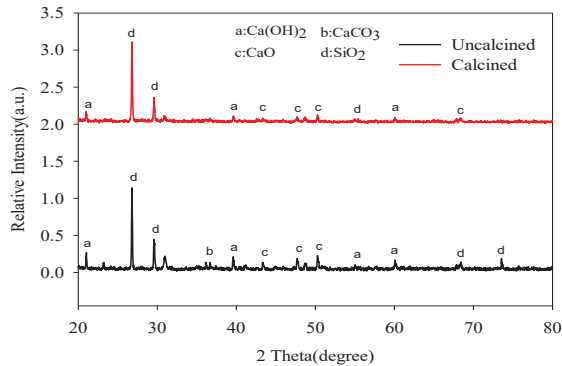
เลือกอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ เผาที่ 600 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) พบว่าโคโลไมท์ประกอบไปด้วยแคลเซียม (44.31%) เหล็ก (30.82%) ซิลิคอน (16.149%) และองค์ประกอบอื่นๆ อีกเล็กน้อยเช่น K₂O Al₂O₃ MnO และ TiO₂ จากงานวิจัยของ Sunarnoc และคณะ [4] แสดงให้เห็นว่าการมีอยู่ของ CaO ในองค์ประกอบของโคโลไมท์ ส่งผลให้สามารถเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวในน้ำมันเบนซินหรือดีเซล



รูปที่ 2 การวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฟสของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ เผาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) ดังรูปที่ 3 เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ ที่องศาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (2θ) อยู่ในช่วง 20 - 80 องศาที่ความยาวคลื่น λ = 1.5406 (Å) ของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมท์ก่อนและหลังการเผาที่ 600°C พบว่าฟิสิกของสารประกอบที่เกิดขึ้นของโคโลไมท์ที่ไม่ได้ผ่านการเผา คือ 21° 39.9° 55.2° 59.2° (Ca(OH)₂) 36.1° (CaCO₃) 43.37° 47.69° 50.23° (CaO) และ 26.82° 29.65° 68.37° 73.56° (SiO₂) โคโลไมท์ที่ผ่านการเผา คือ Ca(OH)₂ (21° 39.9° 55.2°) CaO (43.37° 47.69° 50.23° 68.37°) SiO₂ (26.82°

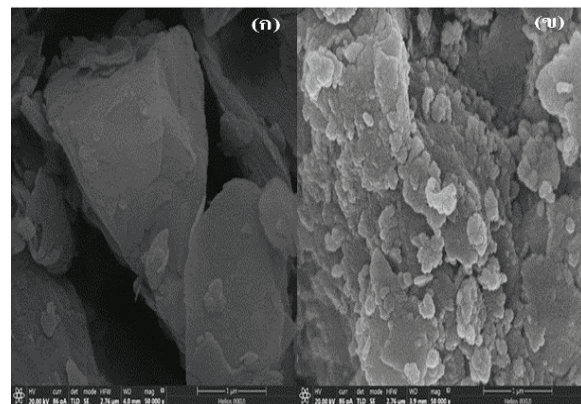
29.65°) [19] พบว่าโดโลไมต์เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง CaCO₃ เกิดการสลายตัวเนื่องจากเกิดเฟสของ CaO ซึ่งสอดคล้องกับผลของ TGA ที่อุณหภูมิการเผาที่ 600°C ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสอยู่ในรูปของออกไซด์เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคาร์บอนेट และพบว่าเมื่อผลต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 3 รูปแบบโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์จากการวิเคราะห์ด้วย XRD

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของโดโลไมต์ก่อนและหลังการเผาด้วยเทคนิค N₂ Adsorption-Desorption และคำนวณหาพื้นที่ผิวด้วยสมการ Brunauer-Emmet-Teller (BET) พบว่าโดโลไมต์มีพื้นที่ผิว 15 m²/g และจากการแคลไซน์ที่ 600°C ทำให้พื้นที่ผิวลดลงซึ่งการลดลงของพื้นที่ผิวและรูพรุนแสดงให้เห็นว่าเกิดการดีคาร์บอนชั่นของคาร์บอนไดออกไซด์จากการแคลไซน์ที่ 600°C ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวน้อย และจากงานวิจัยของ Santos และคณะ [18] บ่งบอกถึงการลดลงของพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ซึ่งบ่งบอกได้ว่าตำแหน่งที่ว่างไว้ในการทำปฏิกิริยา (active site) ไม่ได้เกิดการแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาภายในรูพรุนแต่เกิดการทำปฏิกิริยาบนพื้นที่ผิวภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา และการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์โดยใช้เครื่อง FE-SEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่าดังรูปที่ 4 จากรูปที่ 4 (ก) สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ก่อนการแคลไซน์ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่และพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะราบเรียบและเป็นเนื้อ

เดียวกันซึ่งแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์เผาที่ 600°C ดังรูปที่ 4 (ข) สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะอนุภาคเล็กลงและลักษณะพื้นผิวขรุขระ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Santos และคณะ [18] เนื่องจากกระบวนการเผาทำให้เกิดการแตกพันธะโมเลกุลของคาร์บอน ดังนั้นจึงเกิดการสลายตัวของกลุ่มคาร์บอนेट เกิดการฟอร์มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และ CaO



รูปที่ 4 ภาพถ่าย FE-SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของโดโลไมต์ (ก) โดโลไมต์ก่อนเผา (ข) โดโลไมต์เผาที่ 600°C

3.2 ผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์

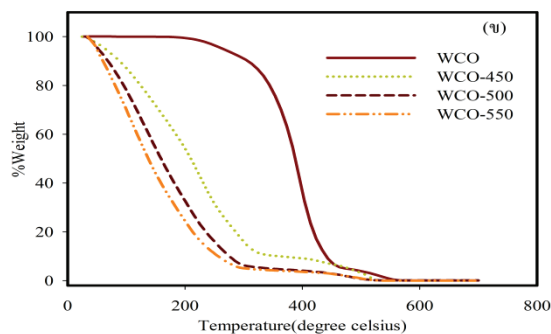
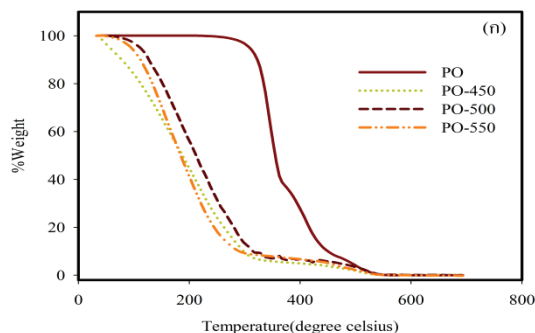
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มปริมาณที่ได้อยู่ในช่วง 70-90% และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วอยู่ในช่วง 83-90% ทุกอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 1 และพบว่าค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่ได้ของน้ำมันปาล์มมีค่าน้อยกว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ตารางที่ 1 ผลผลิตที่ได้ออกจากการทำปฏิกิริยาและการกลั่น

ชนิดของน้ำมัน	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำการปฏิกิริยา	ปริมาณผลผลิตที่ได้ออก (%yield)	ปริมาณที่ได้จากการกลั่น (%)
น้ำมันปาล์ม (PO)	450°C	90	86
	500°C	70	73
	550°C	77	91
น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WCO)	450°C	83	79
	500°C	87	85
	550°C	90	96

วิเคราะห์ความเสถียรภาพทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ที่ได้จากการบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550°C ผลการศึกษาความเสถียรทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว วิเคราะห์น้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) อัตราการให้ความร้อน 10°C/นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 30°C จนถึง 700°C ทดสอบภายใต้ความดันบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ดังรูปที่ 5 (ก) น้ำมันปาล์ม พบว่ามีความเสถียรทางความร้อนเริ่มที่อุณหภูมิ 270°C และช่วงเกิดการสลายตัวของน้ำมันปาล์มอยู่ในช่วงระหว่าง 270-480°C และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 0 - 355°C และสลายตัวอย่างต่อเนื่องถึงอุณหภูมิ 445°C เป็นช่วงของอุณหภูมิที่มีอัตราการสลายตัวสูงสุดหลังจากนั้นอุณหภูมิเริ่มคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 445-500°C และสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิ 543°C เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันพืชที่ใช้แล้วดังรูปที่ 5 (ข) พบว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีความเสถียรภาพทางความร้อนเริ่มที่อุณหภูมิ 190°C และสลายตัวอยู่ในช่วง 190 - 430°C

และผลิตภัณฑ์จากการกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 0 - 325°C และอุณหภูมิเริ่มคงที่ในช่วง 325 - 500°C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วพบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มค่าเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันอาจเป็นไปได้ว่าขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันซึ่งน้ำมันที่มีความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะมีความไวต่อความร้อนมากกว่าและมีสารประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน ดังนั้นน้ำมันปาล์มจึงมีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนมากกว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว [21]



รูปที่ 5 การสลายตัวทางความร้อนของ (ก) น้ำมันปาล์ม (PO) และ (ข) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WCO) เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่างกัน

และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 ดังรูปที่ 6 คือความสัมพัทธ์

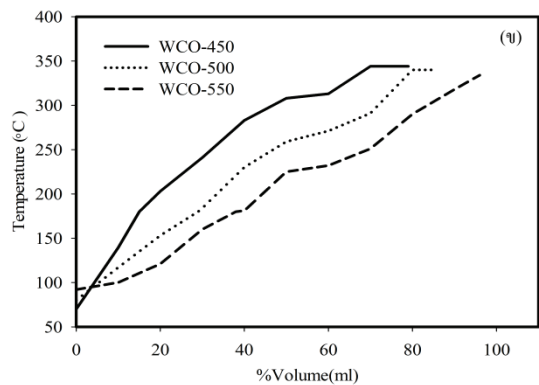
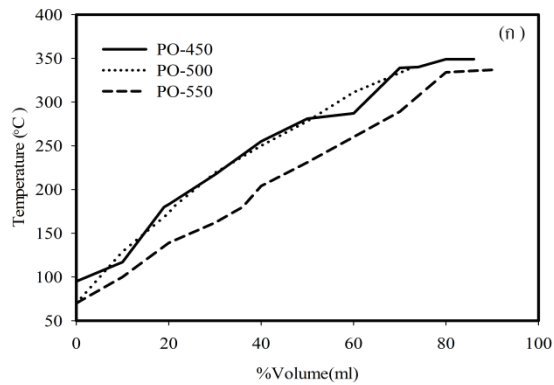
ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรของน้ำมันที่ได้จากการกลั่น เพื่อการศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 450, 500, 550°C ต่อปริมาตรการกลั่น ใน ทุก ๆ 10 ml ของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันปาล์มตาม มาตรฐาน ASTM D86 และดังตารางที่ 1 แสดงปริมาตร ที่ได้จากการกลั่นพบว่ามีความมากกว่า 70% และปริมาตรที่ กลั่นได้สูงสุดของน้ำมันปาล์มได้ 91% และน้ำมันพืชที่ใช้ แล้วได้ 96% ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 550°C

ผลการกลั่นพบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 และ 500°C อุณหภูมิการกลั่นที่ใกล้เคียง กันและสูงกว่าที่ 550°C เมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสที่ สูงขึ้นพบว่าอุณหภูมิของการกลั่นมีค่าลดลง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรที่ได้จากการกลั่นกับ อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ 450 500 550°C ดังรูปที่ 6 (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว พบว่าน้ำมันพืชที่ ใช้แล้วมีอุณหภูมิที่ได้จากการกลั่นต่ำกว่าน้ำมันปาล์มทุก อุณหภูมิการไพโรไลซิสและเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ การกลั่นระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันพืชที่ใช้แล้วพบว่า น้ำมันพืชที่ใช้แล้วสามารถกลั่นได้สูงสุดถึง 96% ที่ อุณหภูมิ 550°C เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วผ่านการทำ ปฏิกิริยาด้วยความร้อนก่อนนำมาทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส ทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนใน การตัดพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชที่ใช้ แล้วจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกลั่นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำมัน ปาล์ม และเปรียบเทียบปริมาตรในการกลั่นดังรูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรของน้ำมันที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ และชนิดของน้ำมันที่ต่างกัน ผลการกลั่นของน้ำมันจาก การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างกัน และเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาตรของน้ำมันที่ได้จากการกลั่นระหว่างน้ำมันปาล์ม และน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งการกลั่นแยกออกเป็น 2 ช่วง คือ อุณหภูมิช่วงของน้ำมันแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิ 75-180°C (C₅-C₁₂) และช่วงของน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 180-350°C (C₁₃-C₂₀) ซึ่งจะใช้ปริมาณของน้ำมันที่ใช้ในการกลั่นแยก 100 ml พบว่าอุณหภูมิในการไพโรไลซิสมีผลต่อสัดส่วน เปอร์เซ็นต์ของแก๊สโซลีนเพิ่มขึ้นและน้ำมันดีเซลจะลดลง

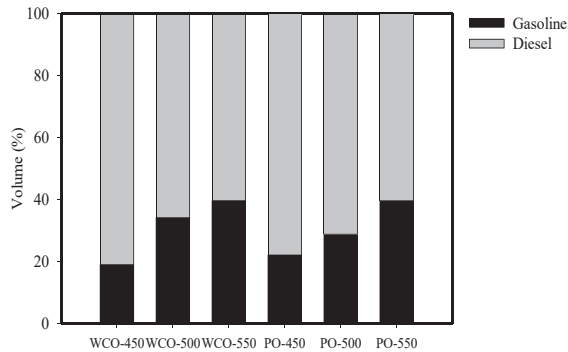
ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และคณะ [10] การ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมัน เกิดการตัดพันธะของสายโซ่คาร์บอนจึงทำให้น้ำมันแก๊ส โซลีนมีปริมาณสูงขึ้นและแก๊สโซลีนประกอบด้วยมวล โมเลกุลที่ต่ำคือ C₅-C₁₂ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการตัด พันธะมวลโมเลกุลของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้ดีและทำ ให้น้ำมันดีเซลมีปริมาตรลดลงเนื่องจากเกิดการตัดพันธะ ครั้งที่สองของไอที่ควบแน่น (secondary cracking) [23, 24] ทำให้น้ำมันดีเซลลดลงเมื่ออุณหภูมิการไพโร-ไลซิสที่สูงขึ้น

3.3 ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ชีวภาพ

ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการกลั่น ได้แก่ ค่าความร้อน และค่าความหนืดของน้ำมันตาม มาตรฐาน ASTM D240 และ ASTM D445 ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันที่ได้จากการกลั่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ของแก๊สโซลีนและดีเซลที่อุณหภูมิในการไพโรไลซิส ต่างกันดังรูปที่ 8 จากรูปที่ 8 (ก) พบว่าน้ำมันปาล์มมีค่า ความร้อนของแก๊สโซลีนสูงขึ้นแต่น้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีค่า ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสและ ค่าความร้อนที่ได้สูงสุดคือที่อุณหภูมิ 550°C เท่ากับ 43.50 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จาก น้ำมันดีเซลของน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วดังรูปที่ 8 (ข) พบว่าของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วให้ค่าความร้อนลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสและค่า ความร้อนที่ได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 450°C เท่ากับ 42.67 MJ/kg และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับมาตรฐานเชิง พหุคูณของน้ำมันแก๊สโซลีนอยู่ในช่วง 44-45 MJ/kg และของน้ำมันดีเซลอยู่ในช่วง 42-46 MJ/kg พบว่ามีค่า ความร้อนอยู่ในช่วงมาตรฐานเชิงพหุคูณ ซึ่งผลที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramírez-Verduzco และ คณะ [24]



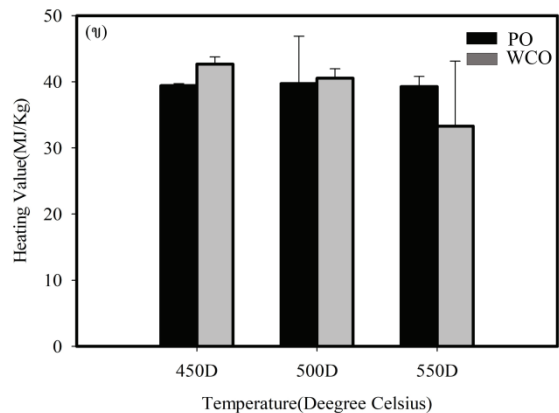
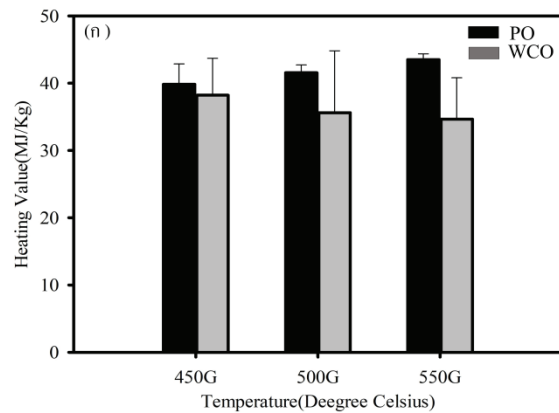
รูปที่ 6 อุณหภูมิกับปริมาตรที่ได้จากการกลั่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของ (ก) น้ำมันปาล์ม (PO) (ข) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WCO)



รูปที่ 7 เปอร์เซนต์ปริมาตรของน้ำมันที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิและชนิดของน้ำมันที่ต่างกัน

ตารางที่ 2 ค่าความหนืด (cSt) น้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

อุณหภูมิในการไพโรไลซิส (°C)	น้ำมันปาล์ม		น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	
	แก๊สโซลีน	ดีเซล	แก๊สโซลีน	ดีเซล
450	0.33	3.36	0.31	2.16
500	0.35	2.84	0.27	2.65
550	0.65	3.36	0.32	2.85



รูปที่ 8 ค่าความร้อนจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (ก) แก๊สโซลีน (G) (ข) ดีเซล (D)

เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการ secondary cracking จากการไพโรไลซิสในอุณหภูมิที่สูงทำให้มวลโมเลกุลของน้ำมันเล็กลงส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันปาล์มเนื่องจากน้ำมันปาล์มมีจำนวนมวลโมเลกุลและความหนาแน่นที่สูงทำให้ค่าความร้อนค่าความหนืดสูงขึ้นตามลำดับดังตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วตามมาตรฐาน ASTM

D445 ค่ามาตรฐานของน้ำมันแก๊สโซลีนอยู่ในช่วง 0.41-0.71 cSt และดีเซลอยู่ในช่วง 1.80-4.10 cSt การวิเคราะห์ค่าความหนืดพบว่าน้ำมันที่ได้จากการกลั่นมีค่าผ่านมาตรฐานและน้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและเมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสสูงขึ้นค่าความหนืดสูงขึ้นเช่นกันและเปรียบเทียบระหว่างชนิดของน้ำมันพบว่าน้ำมันดีเซลมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนเนื่องจากค่าความหนาแน่นและจำนวนมวลโมเลกุลของคาร์บอนที่สูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramírez-Verduzco และคณะ [24] และผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณ 1 ลิตร จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วภายใต้สภาวะการผลิตที่ได้ผลผลิตสูงสุด โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนวัตถุดิบ พบว่าน้ำมันปาล์ม ต้นทุน 36 บาท (1.292 ลิตร) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ต้นทุน 16 บาท (1.157 ลิตร) และโดโลไมท์ ต้นทุน 0.8 บาท (250 กรัม) และต้นทุนการผลิต ค่าเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ใช้ของตัวให้ความร้อน (ค่าไฟฟ้าคิดที่ 3.60 บาทต่อหน่วย) ของน้ำมันปาล์มเท่ากับ 31.00 บาท (8.163 กิโลวัตต์ชั่วโมง) และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเท่ากับ 27.80 บาท (7.716 กิโลวัตต์ชั่วโมง)

เมื่อพิจารณาต้นทุนผลิตรวมของการผลิตจากน้ำมันปาล์มเท่ากับ 67.70 บาท และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเท่ากับ 44.70 บาทต่อการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณ 1 ลิตร

4. สรุปผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นได้แก่ น้ำมันแก๊สโซลีนและดีเซลพบว่าน้ำมันแก๊สโซลีนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีค่าความร้อนผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีค่าความร้อนลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วค่าความหนืดของน้ำมันที่ได้ผ่านมาตรฐานเช่นกันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีค่าปริมาตรสูงสุด 90%

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนวิจัยสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ministry of Energy, 2019. [online] available: <http://www.dede.go.th>.
- [2] Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y. and Wang, C. H. Sustainable Biodiesel Production via Transesterification of Waste Cooking Oil by Using CaO Catalysts Prepared from Chicken Manure. *Energy Convers Manag*, 2016; 123: 487–497.
- [3] Chen, X., Chen, Y., Yang, H., Wang, X., Che, Q., Chen, W. and Chen, H. Catalytic Fast Pyrolysis of Biomass: Selective Deoxygenation to Balance the Quality and Yield of Bio-Oil. *Bioresour Technol*, 2019; 273: 153–158.
- [4] Narno, S., Rochmadi, R., Mulyono, P., Aziz, M. and Budiman, A. Kinetic Study of Catalytic Cracking of Bio-Oil Over Silica-Alumina Catalyst. *BioResources*, 2018; 13(1): 1917–1929.
- [5] Chang, J.S., Cheng, J.C., Ling, T.R., Chern, J.M., Wang, G.B., Chou, T.C. and Kuo, C.T. Low Acid Value Bio-Gasoline and Bio-Diesel Made from Waste Cooking Oils Using a Fast Pyrolysis Process. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2017; 73: 1–11.
- [6] Nakasaka, Y., Nishimura, J.I., Tago, T. and Masuda, T. Deactivation Mechanism of MFI-type Zeolites by Coke Formation during n-hexane Cracking. *Chemical Engineering Journal*, 2015; 278: 159–165.
- [7] Ooia, X.Y., Gao, W., Ong, H.C., Lee, H.V., Juan, J.C., Chen, W.H., Lee, K.T. Overview on Catalytic Deoxygenation for Biofuel Synthesis Using Metal Oxide Supported Catalysts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019; 112: 834–852.

- [8] Li, Y., Zhang, C., Liu, Y., Tang, S., Chen, G., Zhang, R. and Tang, X. Coke Formation on the Surface of Ni/HZSM-5 and Ni-Cu/HZSM-5 Catalysts During Bio-Oil Hydrodeoxygenation. *Fuel*, 2017; 189: 23–31.
- [9] Kay Lup, A. N., Abnisa, F., Daud, W. M. A.W., and Aroua, M. K. A Review on Reactivity and Stability of Heterogeneous Metal Catalysts for Deoxygenation of Bio-Oil Model Compounds. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2017; 56: 1–34.
- [10] Wang, S., Yuan, C., Esakkimuthu, S., Xu, L., Cao, B., Abomohra, A.E.F., Qian, L., Liu, L. and Hu, Y. Catalytic Pyrolysis of Waste Clay Oil to Produce High Quality Biofuel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2019; 141: 104633.
- [11] Charusiri, W. and Vitidsant, T. Upgrading Bio-Oil Produced from the Catalytic Pyrolysis of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L) Straw Using Calcined Dolomite. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2017; 6: 114–123.
- [12] Kalogiannis, K.G., Stefanidis, S.D., Karakoulia, S.A., Triantafyllidis, K.S., Yiannoulakis, H., Michailof, C. and Lappas, A.A. First Pilot Scale Study of Basic vs Acidic Catalysts in Biomass Pyrolysis: Deoxygenation Mechanisms and Catalyst Deactivation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018; 238: 346–357.
- [13] Barros, F.J.S., Cecilia, J.A., Moreno-Tost, R., de Oliveira, M.F.G., Rodríguez-Castellón, E., Luna, F.M.T. and Vieira, R.S. Glycerol Oligomerization Using Low Cost Dolomite Catalyst. *Waste and Biomass Valorization*, 2020; 11:1499–1512.
- [14] Yu, J., Meng, D., Zhang, H., Gao, J., Zhang, Y., Jiao, T. and Liang, P. Study on Modification and Sulfur-Resistance Characteristics of Dolomite Catalysts over Wash Oil Catalytic Cracking. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2018; 57(39): 12973–12979.
- [15] Li, H., Ma, H., Zhao, W., Li, X. and Long, J. Upgrading Lignin Bio-Oil for Oxygen-Containing Fuel Production Using Ni/MgO: Effect of the Catalyst Calcination Temperature. *Applied Energy*, 2019; 253: 113613.
- [16] Valle, B., Aramburu, B., Santiviago, C., Bilbao, J. and Gayubo, A. G. Upgrading of Bio-oil in a Continuous Process with Dolomite Catalyst. *Energy and Fuels*, 2014; 28(10): 6419–6428.
- [17] Kim, H., Shafaghat, H., Kim, J.K., Kang, B.S., Jeon, J.K., Jung, S.C., Lee, I.G. and Park, Y.K. Stabilization of Bio-Oil Over a Low Cost Dolomite Catalyst. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2018; 35(4): 922–925.
- [18] Santos, R. C. R., Vieira, R. B. and Valentini, A. Optimization Study in Biodiesel Production via Response Surface Methodology Using Dolomite as a Heterogeneous Catalyst. *Journal of Catalysis*, 2014; 2014: 1–11.
- [19] Hafriz, R. S. R. M., Salmiaton, A., Yunus, R. and Taufiq-Yap, Y. H. Green Biofuel Production via Catalytic Pyrolysis of Waste Cooking Oil using Malaysian Dolomite Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2018; 13(3): 489–501.
- [20] Valle, B. García-Gómez, N., Remiro, A., Gayubo, A. G. and Bilbao, J. Cost-effective Upgrading of Biomass Pyrolysis Oil Using Activated Dolomite as a Basic Catalyst. *Fuel Processing Technology*, 2019; 195: 106142.
- [21] Ullah, Z., Bustam, M. A. and Man, Z. Characterization of Waste Palm Cooking Oil for Biodiesel Production. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 2014; 5(2): 134–137.
- [22] Vargas, E. M., Neves, M. C., Tarelho, L. A. C. and Nunes, M. I. Solid Catalysts Obtained from Wastes for FAME Production Using Mixtures of Refined Palm Oil and Waste Cooking Oils. *Renewable Energy*, 2019; 136: 873–883.
- [23] Chuah, L. F., Klemeš, J. J., Yusup, S., Bokhari, A. and Akbar, M. M. Influence of Fatty Acids in Waste Cooking Oil for Cleaner Biodiesel. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017; 19(3): 859–868.
- [24] Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E. and Jaramillo-Jacob, A. D. R. Predicting Cetane Number, Kinematic Viscosity, Density and Higher Heating Value of Biodiesel from Its Fatty Acid Methyl Ester Composition. *Fuel*, 2012; 91(1): 102–111.