การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2
27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

คุณลักษณะของน้ำมันชีวภาพจากการสลายมวลชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Characteristics of Bio-oil from Biomass Pyrolysis

ปิยรัตน์ วีระชาญชัย[1], ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย[1] และ มาลี ตั้งสถิตย์กุลชัย[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ [2]สาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
โทร 0-4422-3482 โทรสาร 0-4422-4609 E-mail: piyarat.weerachanchai@gmail.com

Piyarat Weerachanchai[1], Chaiyot Tangsathitkulchai [1] and Malee Tangsathitkulchai [2]
[1]School of Chemical Engineering, Institute of Engineering, [2]School of Chemistry, Institute of Science,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
Tel: 0-4422-3482 Fax: 0-4422-4609 E-mail: piyarat.weerachanchai@gmail.com

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่าในปัจจุบันความต้องการการใช้พลังงานในด้านต่างๆมีสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความพยายามในการหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ซึ่งเชื้อเพลิงที่อยู่ในความสนใจ ได้แก่ พลังงานจากมวลชีวภาพ (Biomass) โดยที่การผลิตน้ำมันชีวภาพจากการสลายมวลชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จัดเป็นพลังงานทางเลือกอีกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเบื้องต้นถึงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของมวลชีวภาพชนิดต่างๆ และศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของการไพโรไลซิสต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ทั้งสามสถานะที่ได้ (แก๊ส, น้ำมันชีวภาพ และถ่านไม้) มวลชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ กากมันสำปะหลัง, กะลาปาล์มและเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้ว มวลชีวภาพเหล่านี้ถูกนำมาให้ความร้อนในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ในช่วงอุณหภูมิ 300-800 องศาเซลเซียสที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาร้อยละผลผลิต ส่วนน้ำมันชีวภาพที่ได้จะถูกนำมาแยกน้ำออกและนำตัวอย่างน้ำมันชีวภาพทั้งสองแบบมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) จากการศึกษาพบว่าร้อยละผลผลิตสูงสุดของน้ำมันชีวภาพจากมวลชีวภาพชนิดต่างๆได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสของเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้วให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดถึง 54.34 %wt. และคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสของมวลชีวภาพชนิดต่างๆมีค่าดังนี้ ความหนาแน่นประมาณ 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 1.46-1.75 เซนติสโตก ค่า pH อยู่ในช่วง 2-3 ค่าความร้อนขึ้นกับชนิดของมวลชีวภาพ อยู่ในช่วง 14.92-40.00 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และหลังการแยกน้ำพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืด ปริมาณกากคาร์บอนและปริมาณเถ้าสูงขึ้น และให้ค่าความร้อนและช่วงอุณหภูมิของการกลั่นใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันชีวภาพชนิดต่างๆมีองค์ประกอบของสารประกอบของหมู่ออกซิเจน (Oxygen-containing compounds) และกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์, แอลดีไฮด์, คีโตน อะโรมาติก, แอลเคน, แอลคีน เป็นต้น

คำสำคัญ; มวลชีวภาพ, กระบวนการไพโรไลซิส, น้ำมันชีวภาพ

Abstract

The demand and consumption of energy have increased dramatically. Therefore, a need to seek for attractive sources of energy is required. Bio-oil from pyrolysis of biomass is being considered as a new potential source of renewable energy. This research proposes to study physical and chemical properties of bio-oils derived from the pyrolysis of different types of biomass and to study the effect of pyrolysis temperature on product yields (gas, liquid (bio-oil) and solid (char)). Biomasses have been chosen from local availability in Thailand which include cassava waste, palm shell and palm kernel. Each biomass was heated in a fixed bed reactor operating in the slow pyrolysis mode. The products yields and water content of the derived oils were determined. Crude bio-oil and water-free bio-oil were measured for fuel properties and identified for organic functional groups by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Maximum liquid yields of the pyrolysis of biomasses were obtained at temperature of 700 ^{o}C. Among the biomass studied, palm kernel gave the maximum pyrolysis liquid yield (54.34 wt %). Typical fuel properties of bio-oils are in the following ranges: density,

~1.1 g/cm^3; viscosity at 40 $^\circ$C, 1.46-1.75 cSt; pH, 2-3 and heating value depends on type of raw materials being about 14.92-40.00 MJ/kg. After removing water, viscosity, ramsbottom carbon residue and ash content of the bio-oil increased significantly and with the boiling range distribution and heating value being closer to those of diesel oil. Moreover, it was found that bio-oil contained functional groups of oxygenated groups and hydrocarbon group, such as, alcohols, ketones, aldehydes, alkanes, alkenes, aromatic compounds, etc.

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์น้ำมันและการตระหนักถึงการลดน้อยลงของเชื้อเพลิงฟอสซิสที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้เกิดความพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ มวลชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งสามารถนำมาทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีเศษหรือกากของมวลชีวภาพที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก สำหรับกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนมวลชีวภาพไปเป็นเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าอีกกระบวนการหนึ่งคือกระบวนการไพโรไลซิส

การไพโรไลซิสคือกระบวนการสลายตัวของสารด้วยความร้อนในที่อับอากาศในช่วงอุณหภูมิ 500-800°C [1,2] โดยได้ผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ แก๊ส (คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, และแก๊สไฮโดรคาร์บอน), ของเหลว (สารละลายอินทรีย์และน้ำมันดิน (Tar)) และของแข็ง (ถ่านไม้) [2] ซึ่งสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลชีวภาพและวิธีการให้ความร้อน มวลชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ เศษพืชที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหรือจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย, ฟางข้าว, เปลือกข้าว, ไม้และเปลือกไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น ส่วนวิธีการให้ความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ Conventional pyrolysis หรือ Slow pyrolysis ซึ่งจะทำการไพโรไลซิสโดยอัตราการให้ความร้อนน้อยกว่า 10 $^\circ$C/s และอุณหภูมิที่ใช้น้อยกว่า 500 $^\circ$C โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันดินและถ่านไม้ และอีกประเภทหนึ่งคือ Flash หรือ Fast pyrolysis ซึ่งจะให้อัตราความร้อนอยู่ในช่วง 10-10,000 $^\circ$C/s และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 400-1,000°C โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือแก๊สและของเหลวเป็นส่วนใหญ่ [2]

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด (ของแข็ง, ของเหลว และแก๊ส) ที่ได้จากการไพโรไลซิสสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้หลายประเภท อาทิเช่น แก๊สสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้ในกระบวนการอบแห้ง ของเหลวที่ได้อาจใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือสกัดเป็นสารเคมี, ถ่านไม้อาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปกระตุ้นต่อเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น [2] อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้มุ่งสนใจการนำของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไปใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งมีข้อดีคือสะดวกในการจัดเก็บและการขนส่ง

ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส หรือที่เรียกกันว่า น้ำมันชีวภาพ ยังมีชื่อที่เรียกกันในชื่ออื่นๆอีก อาทิ เช่น Pyrolysis oil, bio-crude-oil, bio-fuel-oil, liquid smoke, pyrolysis tar, pyroligneous acid เป็นต้น [3] ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีดำ, น้ำตาลเข้ม หรืออาจเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการให้ความร้อน (slow หรือ fast pyrolysis) [4] น้ำมันชีวภาพมีกลิ่นเฉพาะซึ่งสามารถทำให้เกิดการระคายเคืองได้ถ้าสูดดมเป็นเวลานาน ความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 1200 kg/m^3[4,5] ซึ่งถือว่ามีค่าสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ ความหนืดของน้ำมันชีวภาพจะอยู่ในช่วง 25-1000 cSt (ที่อุณหภูมิ 40°C) [3] ซึ่งขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันชีวภาพ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำมันชีวภาพค่อนข้างต่ำประมาณ 2-4 เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอินทรีย์อยู่ [4] ดังนั้นในการจัดเก็บควรเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันการกัดกร่อน ค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพ มีค่าต่ำ (ประมาณ 17-19 MJ/kg) เมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น (42 - 44 MJ/kg) [3]

จะเห็นได้ว่าชนิดของมวลชีวภาพและสภาวะในการไพโรไลซิสมีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสมวลชีวภาพที่เหลือทิ้งในประเทศไทย และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้

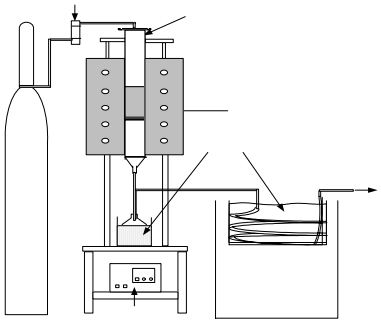
2.วิธีการดำเนินการวิจัย

มวลชีวภาพซึ่งได้แก่ กากมันสำปะหลัง, กะลาปาล์มและเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้ว ถูกนำมาบดและคัดขนาดให้ได้ขนาดเฉลี่ย 0.11 และ 2.03 mm. และอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาความหนาแน่นของกลุ่มอนุภาค (Bulk density) ความหนาแน่นจริง (True density) ค่าความร้อนและองค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis)

มวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่มีขนาด 0.11 mm. ถูกนำมาศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimatric analyzer (TGA) (TA instruments, SDT 2960 Simultaneous DSC-TGA model) โดยให้ความร้อนในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนจากอุณหภูมิ 120 ถึง 850 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของการไพโรไลซิสกระทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) โดยมีวิธีทดลองดังนี้ มวลชีวภาพขนาด 2.03 mm. ถูกให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิไพโรไลซิส (300-800 องศาเซลเซียส) ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนซึ่งมีอัตราการไหล 200 cm^3/min และคงอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิไพโรไลซิสนานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แก๊สและสารระเหยที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกลดอุณหภูมิและควบแน่นในหน่วยควบแน่น ซึ่งหน่วยควบแน่นแรกสามารถคงอุณหภูมิไว้ที่ –6 ถึง –8 องศาเซลเซียสโดยใช้ของผสมของน้ำแข็งและเกลือ และหน่วยควบแน่นที่สองสามารถคงอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียสโดยใช้สารทำความเย็นคือสารละลายของน้ำและกลีเซอรีน โดยรูปที่ 1 แสดงแผนภาพของระบบไพโรไลซิสที่ทดลองศึกษา

ของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสถูกนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละผลผลิต (%Yield) และแยกน้ำโดยการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการไพโรไลซิส

จากนั้นนำน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสและน้ำมันชีวภาพที่แยกน้ำออกแล้วมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญต่างๆ ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น, ความหนืด, ปริมาณกากคาร์บอน, ปริมาณเถ้า, จุดวาบไฟ, ช่วงอุณหภูมิของการกลั่น, และค่าความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้น้ำมันชีวภาพทั้งสองชนิดถูกนำมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยปั้นน้ำมันชีวภาพลงบน KBr pellet และศึกษาอินฟาเรดสเปกตรัมในช่วง 4000-400 cm^{-1}

3.ผลการทดลอง

3.1 คุณสมบัติของมวลชีวภาพ

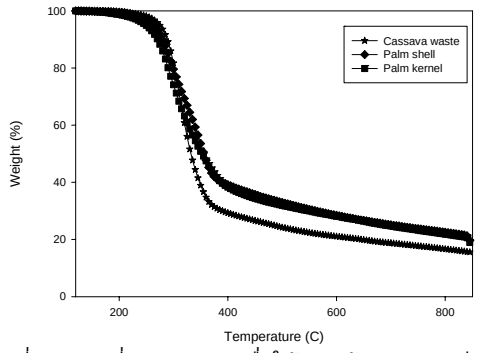
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของกลุ่มอนุภาค (Bulk density) ที่มีขนาด 2.03 mm. อยู่ในช่วง 0.28-0.61 กรัม/ลบ.ซม. ความหนาแน่นจริง (True density) อยู่ในช่วง 1.39-1.51 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความร้อนของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 22 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณพบว่า สารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 71.23-81.97 %wt. คาร์บอนอยู่ในช่วง 11.83-28.37%wt. และเถ้าอยู่ในช่วง 0.4-6.19 %wt.

3.2 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA

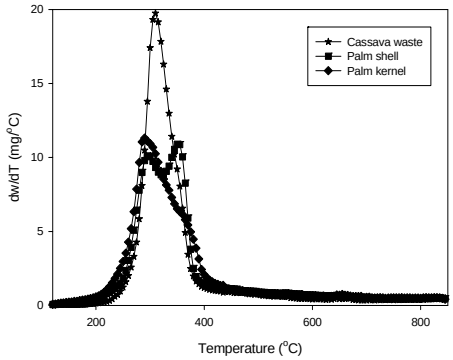
รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมวลชีวภาพเมื่อให้ความร้อน (กราฟ TGA) ซึ่งพบว่าการสลายตัวของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (Sigmoid curve) และพบว่าหลังจากอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสกากมันสำปะหลังมีการสลายตัวสูงสุดเมื่อเทียบกับมวลชีวภาพชนิดอื่น และในรูปที่ 3 แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลต่ออุณหภูมิ (กราฟ DTG) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การสลายตัวของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิด จะเริ่มสลายตัวอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสอัตราการสลายตัวของมวลชีวภาพจะสูงขึ้น และหลังจากอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสมวลชีวภาพจะค่อยๆสลายตัว การสลายของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะต่างกันไปโดยกากมันสำปะหลังให้อัตราการสลายสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมวลชีวภาพชนิดอื่น โดยเกิดที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส และเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้วให้อัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส แต่สำหรับกะลาปาล์มจะเกิดการสลายตัวสูงสุด 2 อุณหภูมิคือ ที่อุณหภูมิ 295 และ 300 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งพฤติกรรมการสลายตัวของมวลชีวภาพที่แตกต่างกันอาจเนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบ (เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ของมวลชีวภาพในแต่ละชนิดเป็นสำคัญ [6]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิด

คุณสมบัติ	มวลชีวภาพ		
	กากมันสำปะหลัง	กะลาปาล์ม	เนื้อในเมล็ดปาล์ม
ความหนาแน่นของกลุ่มอนุภาคขนาด 2.03 mm. (Bulk density) (กรัม/ลบ.ซม.)	0.28	0.61	0.57
ความหนาแน่นจริง (True density) (กรัม/ลบ.ซม.)	1.51	1.42	1.39
ค่าความร้อน (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม)	22.41	22.29	21.91
องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis) (%wt.)			
สารระเหย	81.98	71.23	79.57
คาร์บอน	11.83	28.37	16.74
เถ้า	6.19	0.40	3.69



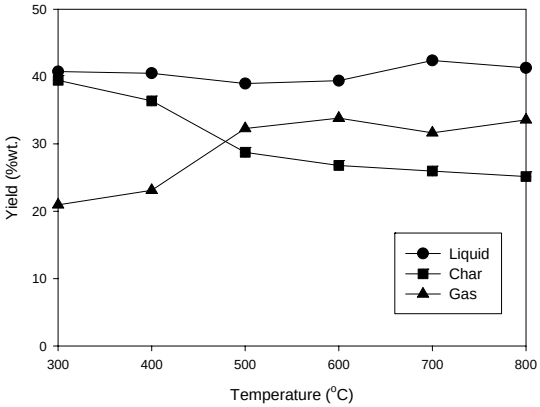
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงมวลเมื่อให้ความร้อนของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิด (TGA curves)



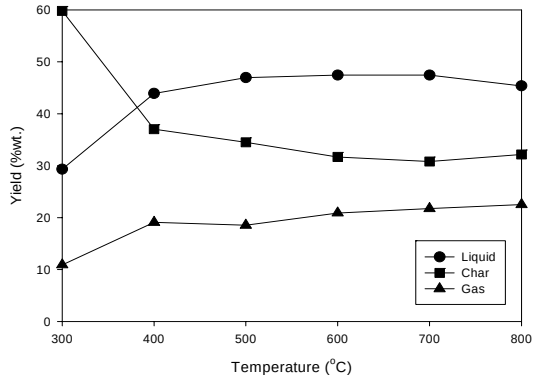
รูปที่ 3 อัตราการสลายตัวเมื่อให้ความร้อนของมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิด (DTG curves)

3.3 ผลกระทบของอุณหภูมิไพโรไลซิสต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์

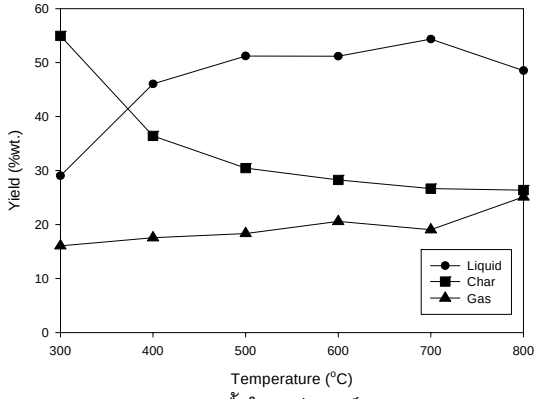
ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสคือ อุณหภูมิในการไพโรไลซิส สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของการไพโรไลซิสในช่วง 300-800 องศาเซลเซียส ซึ่งร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆแสดงในรูปที่ 4 (ก-ค)



(ก) กากมันสำปะหลัง



(ข) กะลาปาล์ม



(ค) เนื้อในเมล็ดปาล์ม

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสมวลชีวภาพชนิดต่างๆกับอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลโดยตรงต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยที่อุณหภูมิต่ำจะได้ปริมาณถ่านสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตแก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อิทธิพลของอุณหภูมิการไพโรไลซิสให้ผลต่อแนวโน้มของปริมาณของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของมวลชีวภาพ โดยการไพโรไลซิสของกากมันสำปะหลังให้ร้อยละผลผลิตของเหลวค่อนข้างคงที่ (38.96-42.38 %wt.) สำหรับร้อยละผลผลิตของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสกะลาปาล์มอยู่ในช่วง 29.31-47.45 %wt. โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส และคงที่หลังจาก 500 องศาเซลเซียส และสำหรับการไพโรไลซิสเนื้อในเมล็ดปาล์มให้ร้อยละผลผลิตของของเหลวสูงที่สุดอยู่ในช่วง 29.03-54.34 %wt. โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัดส่วนของของเหลวเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศาเซลเซียสร้อยละผลผลิตของของเหลวมีค่าลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของร้อยละผลผลิตของของเหลวที่ได้จะแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบของมวลชีวภาพแต่ละชนิดเป็นสำคัญ [7]

3.4 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวภาพชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาซึ่งมีคุณสมบัติตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์ [11] จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของน้ำมันชีวภาพทั้ง 3 ชนิดพบว่าน้ำมันชีวภาพมีลักษณะแตกต่างกัน น้ำมันที่ได้จาการไพโรไลซิสกากมันสำปะหลังมีสีน้ำตาลแดงใส ความหนืดต่ำ (1.46 cSt) น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกะลาปาล์มจะมีสีดำ ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดต่ำประมาณ 1.76 cSt ส่วนน้ำมันที่ได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้วจะเกิดการแยกชั้นของชั้นน้ำมัน (oil phase) และชั้นน้ำ (aqueous phase) และน้ำมันที่ได้มีสีดำและมีค่าความหนืดสูง (58.72 cSt) สำหรับคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงโดยรวมของน้ำมันชีวภาพเป็นดังนี้ ค่าความหนาแน่นประมาณ 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่า pH อยู่ในช่วง 2-3 กากคาร์บอนตกค้างประมาณ 2.6-3.0 %wt ปริมาณเถ้า 0.07-0.08 %wt ความดันไอ 0.6-0.9 psi ปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพ 48.78-56.41 %wt. สำหรับค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพชนิดต่างๆ ไม่สามารถหาได้โดยตรงเนื่องจากมีน้ำปนอยู่มาก และเมื่อแยกน้ำออกพบว่าน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสเนื้อในเมล็ดปาล์มให้ค่าความร้อนสูงสุดถึง 40.00 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมซึ่งให้ค่าความร้อนใกล้เคียงน้ำมันเตา และค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพจากกะลาปาล์มและเนื้อในเมล็ดปาล์มที่วัดได้คือ 26.93 และ14.92 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการแยกน้ำทำให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป เช่น จุดเทไหลลดลง จุดวาบไฟ ความหนาแน่น ความหนืด กากคาร์บอนตกค้างและปริมาณเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การแยกน้ำทำให้ช่วงของอุณหภูมิการกลั่นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสของเนื้อในเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากที่สุด อย่างไรก็ดีโดยภาพรวมจากคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงพบว่าน้ำมันชีวภาพจากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้วมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเตามากที่สุด

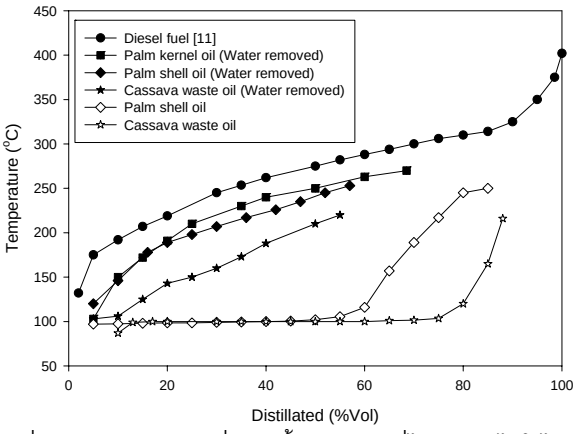
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสมวลชีวภาพทั้ง 3 ชนิดวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	ดีเซลหมุนเร็ว[8]	น้ำมันเตา (ชนิดที่ 2) [9]	น้ำมันชีวภาพ				
			เนื้อในเมล็ดปาล์ม	กะลาปาล์ม		กากมันสำปะหลัง	
			แยกน้ำ	น้ำมันดิบ	แยกน้ำ	น้ำมันดิบ	แยกน้ำ
ค่าความร้อน (MJ/kg)	46.00 [10]	41.48 [10]	40.00	*	26.93	*	14.92
จุดวาบไฟ (°C)	> 52	> 60	74	99	108	98	110
จุดไหลเท (°C)	< 10	< 24	1	-10	-14	-6	-17
ค่า pH	-	-	5.62	2.98	2.77	2.95	2.82
ความหนาแน่น (g/cm^3) ที่ 30°C	> 0.81 ก	< 0.990 ก	1.01	1.11	1.18	1.10	1.16
ความหนืด (cSt) ที่ 40°C	1.8-4.1	81-180 ข	58.72	1.75	20.38	1.46	28.30
กากคาร์บอนตกค้าง (%wt.)	< 0.05	-	5.39	2.93	6.98	2.57	4.43
ปริมาณเถ้า (%wt.)	< 0.04	<0.1	0.041	0.071	0.171	0.081	0.167
ความสามารถในการกัดกร่อน	<1	-	1a	1a	1a	1a	1a
ความดันไอ (psi) ที่ 37.8°C	1.45-2.90[10]	0.015-0.15[10]	1.30	0.60	1.15	0.85	1.30
ปริมาณน้ำ (%wt.)	< 0.05 ค	< 1 ค	-	48.78	-	56.41	-

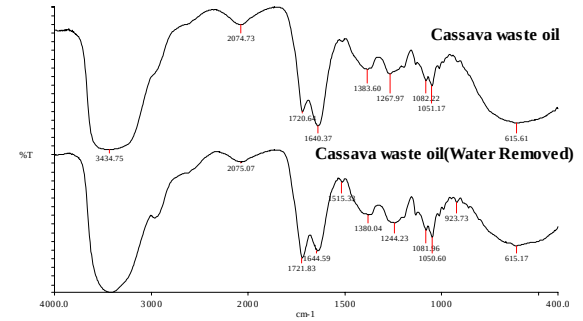
*ก = ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 15.6/15.6 °C, ข=ความหนืด (cSt) ที่ 50 °C, ค = น้ำและตะกอน (%vol), * = ไม่สามารถหาค่าได้*



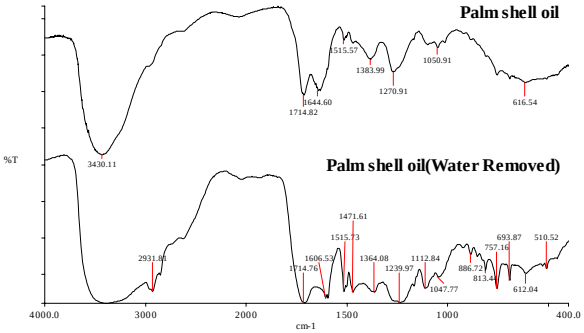
รูปที่ 5 ช่วงอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิส

(FTIR) แสดงในรูปที่ 6 (ก-ค) พบว่าน้ำมันชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบของทั้งสารประกอบของหมู่ออกซิเจน (Oxygen-containing compounds) และ กลุ่มไฮโดรคาร์บอน โดยสารประกอบของหมู่ออกซิเจน (Oxygen-containing compounds) ได้แก่ แอลกอฮอล์, แอลดีไฮด์, คีโตน, เอสเทอร์ ซึ่งเห็นได้จากพีคของ O–H vibrations ระหว่าง 3550 และ 3500 cm^{-1}, C=O stretching vibrations ระหว่าง 1850 and 1650 cm^{-1}, C–O stretching vibrations ระหว่าง 1310 และ 1100 cm^{-1} ตามลำดับ

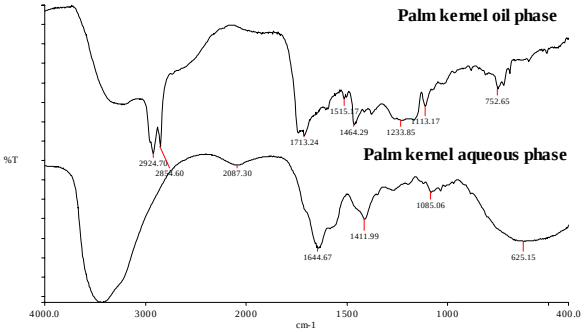
สำหรับกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งได้แก่ อะโรมาติก, แอลเคน, แอลคีน ซึ่งเห็นได้จากอินฟาเรดสเปกตรัมของ C–H stretching vibrations ระหว่าง 3000 และ 2800 cm^{-1} และ C–H deformation vibrations ระหว่าง 1475 และ 1350 cm^{-1}, C=C stretching ระหว่าง 1680 และ 1600 cm^{-1}, Out-of-plane C-H ระหว่าง 900 และ 690 cm^{-1} เป็นต้น [12]



(ก) กากมันสำปะหลัง



(ข) กะลาปาล์ม



(ค) เนื้อในเมล็ดปาล์ม

รูปที่ 6 FTIR สเปกตรัมจากของน้ำมันชีวภาพทั้ง 3 ชนิด

4. สรุป

1. ร้อยละผลผลิตสูงสุดของน้ำมันชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้วให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 54.34
2. คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสของมวลชีวภาพชนิดต่างๆมีค่าดังนี้ ความหนาแน่นประมาณ 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 1.46-1.75 เซนติสโตก ค่า pH อยู่ในช่วง 2-3 และค่าความร้อน 14.92-40.00 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม
3. หลังการแยกน้ำพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืด ปริมาณกากคาร์บอนและปริมาณเถ้าสูงขึ้น แต่ให้ค่าความร้อนและช่วงอุณหภูมิของการกลั่นใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้น
4. หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันชีวภาพชนิดต่างๆ ประกอบด้วยสารประกอบของหมู่ออกซิเจน (Oxygen-containing compounds) และกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์, แอลดีไฮด์, คีโตน อะโรมาติก, แอลเคน, แอลคีน เป็นต้น
5. แม้ว่าคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงบางอย่างของน้ำมันชีวภาพยังด้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล แต่น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสมวลชีวภาพก็ถือเป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งหนึ่งที่มีศักยภาพหากแต่ต้องพัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆต่อไป เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนืดและค่าความร้อน เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนเงินวิจัยจากโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) นอกจากนี้ขอขอบคุณโรงงานสงวนวงศ์ จ.นครราชสีมา และโรงงานสุขสมบรูณ์ จ.ระยอง ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2004). “The research progress of biomass pyrolysis processes” [On-line]. Available: http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e0a.htm

2. Nugranad, N. (1997). “Pyrolysis of biomass”. Ph. D. Dissertation, University of Leeds, Leeds.

3. Bridgwater, A.V. (2003). “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass”. Chemical Engineering Journal 91:87-102.

4. DynaMotive Energy Systems Corporation (2004). “What is bio-oil” [On-line]. Available: http://www.dynamotive.com/biooil/whatisbiooil.html

5. BTG Biomass Technology Group BV (2003). “Bio-oil applications” [On-line]. Available: http://www.btgworld.com/technologies/bio-oil-applications.html

6. Raveendran, K., Ganesh, A. and Khilar, K. C. (1996). “Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components”. Fuel 75: 987-998

7. Pütün, A.E., Özcan, A., Gerçel, H .F .and Pütün, E.(2001). “Production of biocrudes from biomass in a fixed-bed tubular reactor :product yields and compositions”**.** Fuel 80:1378-1371

8. Notification of Department of Energy Business on Characteristic and Quality of Diesel Oil (No.2) dated January 13, B.E. 2547 (2004), published in the Royal Government Gazette, Vol. 121 Special Part 8 D, dated January 22, B.E. 2547 (2004)

9. Notification of Department of Energy Business on Characteristic and Quality of Fuel Oil (No.2) dated January 13, B.E. 2547 (2004), published in the Royal Government Gazette, Vol. 121 Special Part 8 D, dated January 22, B.E. 2547 (2004)

10. Martínez, I. (2006). Fuel properties [Online]. Available: http://imartinez.etsin.upm.es/bk3/c15/Fuel%20properties.htm#_Toc110338747

11. Özbay, N., Pütün, A. E., Uzun, B. B. and Pütün, E. (2001). “Biocrude from biomass: pyrolysis of cottonseed cake”. Renewable Energy. 24, 615-625.31

12. Skoog, D.A. and Leary, J.J. (1992). “Principles of instrument analysis**”.** United States of America: A Harcourt Brace Jovanovich College.