



การไพโรไลซิสร่วมของกะลามะพร้าวกับพอลิยูรีเทน

กมลชนก ผิวสวยคำ , พลวัต แก้วพิศดาน และเอกราชชัย ไชยชนะ*

ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*ekrachan@npru.ac.th

บทคัดย่อ

กะลามะพร้าวเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศไร้ออกซิเจน (ไพโรไลซิส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่านชีวภาพ แก๊สเชื้อเพลิง และน้ำมันชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลโดยทั่วไปรวมทั้งกะลามะพร้าวจะมีปริมาณผลผลิตที่ต่ำ สำหรับการเพิ่มผลผลิตน้ำมันชีวภาพอาจทำได้โดยการไพโรไลซิสร่วมกับวัสดุที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนสูง เช่น พอลิเมอร์สังเคราะห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการไพโรไลซิสร่วมระหว่างกะลามะพร้าวและพอลิยูรีเทนซึ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตโฟม ที่อัตราส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าพอลิยูรีเทนช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำมันชีวภาพให้กับกะลามะพร้าว โดยที่อัตราส่วน 1:3 (กะลามะพร้าว:พอลิยูรีเทน) จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 35.5 wt% จากวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่อง FTIR และ UV-vis spectroscopy พบว่าน้ำมันที่ได้มีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มออกซิเจนซึ่งผลเสียต่อการนำไปใช้งานลดลง

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว พอลิยูรีเทน การไพโรไลซิสร่วม

Copyrolysis of coconut shell and polyurethane

Kamolchanok Phiwsuaykum , Phonlawat Kaewphitsadan and Ekrachan Chaichana *

Research Center of Natural Materials and Products, Chemistry Program,
Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*ekracha@npru.ac.th

Abstract

When heating coconut shells under free-oxygen atmosphere (pyrolysis), it provides products including biochar, fuel gas and bio-oil, which all can be further used. Nevertheless, the bio-oils obtained from biomass and also coconut shells generally have a low yield. To increase the bio-oil yield, copyrolysis with high carbon content materials such as synthetic polymers may be applied. In this research, copyrolysis of coconut shells and polyurethane, which was left in foam production industry with various ratios were conducted. From the results, it was found that polyurethane enhanced bio-oil yield for the coconut shells with at the ratio of 1:3 (coconut shell: polyurethane) providing the highest bio-oil yield (35.5 wt%). From the characterization with FTIR and UV-vis spectroscopy, it was found that the bio-oils from the copyrolysis had lower contents of oxygen compounds, which have adverse effects on usage.

Keywords: Coconut shells Polyurethane Copyrolysis

1. บทนำ

มะพร้าว นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยนอกจากเนื้อและน้ำมะพร้าวที่สามารถนำมาบริโภคได้แล้ว ส่วนอื่นของมะพร้าว ได้แก่ กากมะพร้าวและกะลามะพร้าวยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย หนึ่งใน การนำไปใช้ประโยชน์ที่สำคัญของกะลามะพร้าว คือ การนำไปเผาเป็นถ่าน เนื่องจากมีความแข็งแรงและมีสมบัติทางความร้อนที่ดี [1] ในกระบวนการเผาถ่าน (ในบรรยากาศปราศจากออกซิเจนหรือการไพโรไลซิส) นอกจากจะให้ถ่านที่เป็นเชื้อเพลิงในรูปของแข็งแล้ว ยังให้ของเหลวและแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากสามารถใช้ระบบที่มีการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ดี จะทำให้ได้เชื้อเพลิงทั้งของแข็งและของเหลวจากกระบวนการเผาถ่าน อย่างไรก็ตามสำหรับของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลโดยทั่วไปรวมทั้งกะลามะพร้าวจะมีปริมาณผลผลิตที่ต่ำ สำหรับการเพิ่มผลผลิตน้ำมันชีวภาพอาจทำได้โดยการไพโรไลซิสร่วมกับวัสดุที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนสูง [2] เช่น พอลิเมอร์สังเคราะห์ สำหรับพอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานมากโดยเฉพาะการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นโฟม โดยพอลิยูรีเทนไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ จึงไม่สามารถนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลกลับไปใช้งานได้ การนำมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ [3, 4]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการไพโรไลซิสของถ่านและการไพโรไลซิสร่วมของถ่านกับพอลิยูรีเทน โดยจะทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตน้ำมันชีวภาพจากกะลามะพร้าว เช่น อุณหภูมิ ปริมาณของพอลิยูรีเทนและจะทำการทดสอบสมบัติของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้งถ่านและน้ำมันชีวภาพ

2. วิธีทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

พอลิยูรีเทน (polyurethane, PU) ได้รับการบริจาคจาก บ.ดูราโฟม จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ กะลามะพร้าวจัดหาจากตลาดปฐมมงคล จังหวัดนครปฐม โซเดียมไฮดรอกซ์และกรดไฮโดรคลอริกจัดซื้อจาก บ.เมอริค จำกัด (ประเทศไทย) เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสได้รับการพัฒนาพร้อมกับ บ.โปรเกรส เทคโนโลยี จำกัด กรุงเทพมหานคร

2.2 การเตรียมกะลามะพร้าว

นำกะลามะพร้าวมาล้างน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง นำมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ และคัดเลือกขนาดประมาณ 1.0 mm เก็บตัวอย่างในโถสุญญากาศ

2.3 การไพโรไลซิส

การไพโรไลซิสดำเนินการโดยนำกะลามะพร้าวและ PU ผสมในอัตราส่วนต่างๆ (1:2, 1:3 และ 1:4) ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบโลหะแนวตั้งขนาด 3.5 L ผ่านแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตรา 30 mL/min เข้าไปเพื่อไล่อากาศเป็นเวลา 30 นาที ให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ในอัตรา 10°C/min จนถึงอุณหภูมิ 500°C รักษาอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ผ่านไปยังเครื่องควบแน่นเพื่อกลั่นเป็นน้ำมันชีวภาพส่วนที่ไม่ควบแน่นถูกปล่อยออกไป เมื่อครบเวลาปิดเครื่องให้ความร้อนแต่ยังคงผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้าไป เมื่อเครื่องปฏิกรณ์เย็นลงนำผลผลิตที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก

2.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง (ถ่าน) ของเหลว (น้ำมัน) และแก๊ส สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักของสารแต่ละสถานะ}}{\text{น้ำหนักรวมของสาร}} \times 100 \quad (1)$$

ผลิตภัณฑ์ของเหลวได้รับการตรวจสอบโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และเทคนิค UV-Vis Spectroscopy

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์สมบัติวัสดุ

สมบัติของวัสดุที่จะนำไปไพโรไลซิส ได้แก่ กะลามะพร้าว (coconut shell, Coco) และ พอลิยูรีเทน (PU) ได้รับการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) และ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า PU มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile matter) คาร์บอนและไฮโดรเจนมากกว่า Coco อย่างชัดเจนซึ่งมีความเหมาะสมในการผลิตน้ำมันมากกว่า ขณะที่ Coco มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสมบัติของน้ำมัน

ตารางที่ 1 Proximate analysis และ Ultimate analysis ของตัวอย่าง PU และมะพร้าว

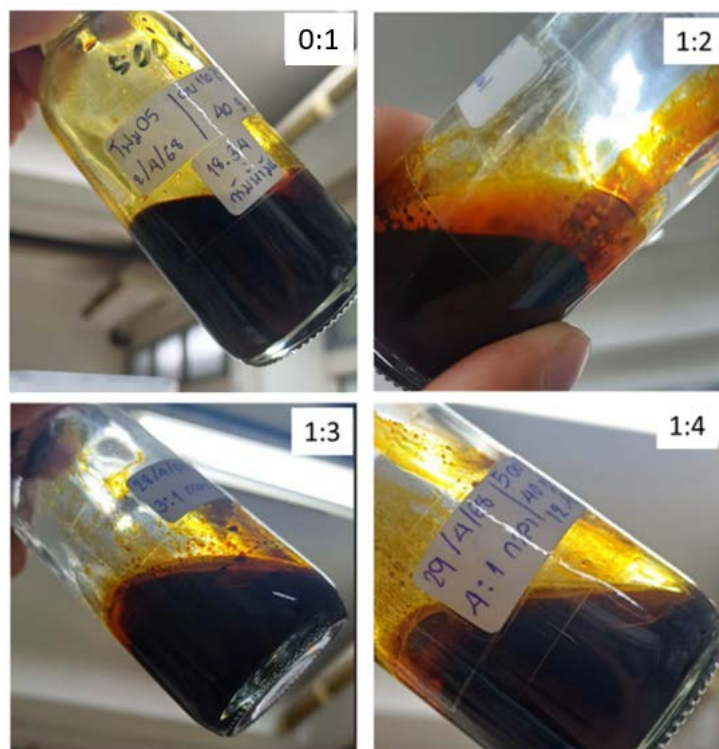
Sample	Proximate analysis (wt%)				Ultimate analysis (wt%)			
	Moisture content	Volatile matter	Fixed carbon	Ash	Carbon (C)	Hydrogen (H)	Nitrogen (N)	Oxygen (O)
PU	0.13	83.02	16.85	0	65.76	6.49	7.14	20.61
Coco	2.90	74.06	21.24	1.80	47.79	5.86	0.11	46.24

3.2 การไฟโรไลซิส

ผลการไฟโรไลซิสรวมของ Coco และ PU ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า PU ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำมันให้กับ Coco โดยที่อัตราส่วน 1:3 (Coco:PU) จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 35.5 wt% โดยพบว่าที่ปริมาณ PU สูงกว่า (1:4) กลับให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลง ดังนั้นที่ 1:3 จึงถือเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการไฟโรไลซิสรวม ซึ่ง PU ช่วยในการไฟโรไลซิส Coco โดย PU ช่วยเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนให้ระบบทำให้เกิดปฏิกิริยาข้ามกัน (cross-reactions) ระหว่างสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น [5] สำหรับลักษณะน้ำมันที่ได้จากการไฟโรไลซิสทั้งหมดแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า น้ำมันจากการไฟโรไลซิส Coco จะมีชั้นน้ำปนอยู่พอสมควร โดยที่อัตราส่วน 1:3 จะเห็นว่าชั้นน้ำปนอยู่น้อยที่สุด แสดงให้เห็นที่อัตราส่วนดังกล่าว PU นอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำมันแล้วยังช่วยเพิ่มคุณภาพน้ำมันให้ดีขึ้นด้วย นอกจากในการไฟโรไลซิสดังกล่าวยังได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งหรือถ่าน (ภาพที่ 2) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นเชื้อเพลิงและเป็นสารดูดซับสารอันตราย

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตจากการไฟโรไลซิสรวมของ Coco และ PU ที่อุณหภูมิ 500°C

การทดลอง	วัสดุ (อัตราส่วน)		ปริมาณผลผลิต (wt%)		
	Coco	PU	ของเหลว	ของแข็ง	แก๊ส
1	-	1	45.9	20.3	33.9
2	1	2	30.2	21.3	48.5
3	1	3	35.5	21.0	43.5
4	1	4	31.1	20.7	48.3



ภาพที่ 1 ลักษณะของน้ำมันที่ได้จากการไฟโรไลซิสรวม Coco และ PU ที่อัตราส่วนต่างๆ

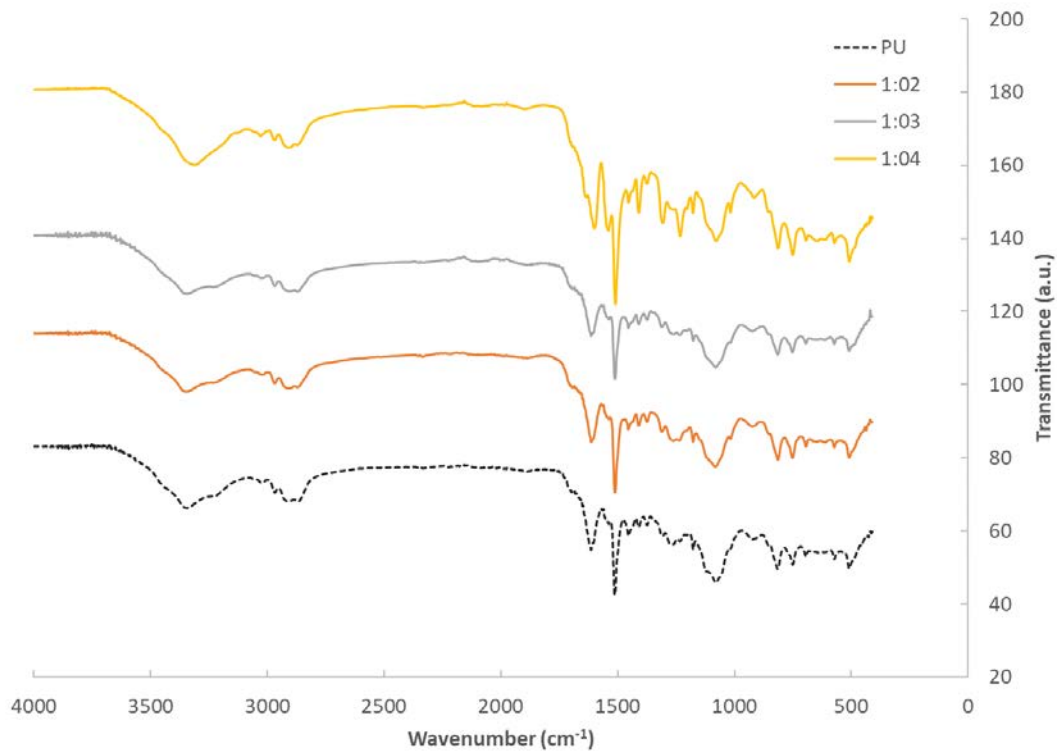


ภาพที่ 2 ถ่านจากการไพโรไลซิสร่วมของ Coco และ PU

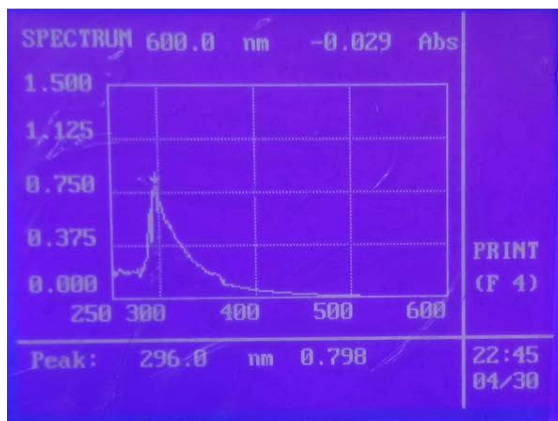
3.3 การวิเคราะห์สมบัติผลิตภัณฑ์

นำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้งหมดไปทดสอบหุ้ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR ดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าน้ำมันทั้งหมดมีลักษณะสเปกตรัมที่คล้ายกัน แสดงถึงการที่สารมีหุ้ฟังก์ชันที่เหมือนกันซึ่งสารประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีหุ้ฟังก์ชันไม่แตกต่างกัน โดยปรากฏพีก FTIR ที่ตำแหน่ง $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ จาก OH stretching ของสารกลุ่มฟีนอล พอลิเมอร์ที่มีหุ้ไฮดรอกซิลและน้ำ ที่ตำแหน่ง $2800-3200\text{ cm}^{-1}$ C—H stretching ของสารกลุ่มแอลเคนที่ตำแหน่ง $1650-1750\text{ cm}^{-1}$ จาก C=O ของสารกลุ่มคีโตน แอลดีไฮด์และเอสเทอร์ ที่ตำแหน่ง $1580-1650\text{ cm}^{-1}$ จาก C=C stretching ของสารกลุ่มแอลคีนและอะโรมาติก ที่ตำแหน่ง $1350-1470\text{ cm}^{-1}$ จาก C—H deforming ของสารกลุ่มแอลเคนที่ตำแหน่ง $950-1300\text{ cm}^{-1}$ จาก C—O stretching ของสารกลุ่มแอลกอฮอล์และฟีนอล และ ที่ตำแหน่ง ที่ตำแหน่ง $675-900\text{ cm}^{-1}$ จาก C=C stretching ของสารกลุ่มวงแหวนอะโรมาติกที่มีหุ้แทนที่ประเภทโมโนและพอลิไซคลิก [6]

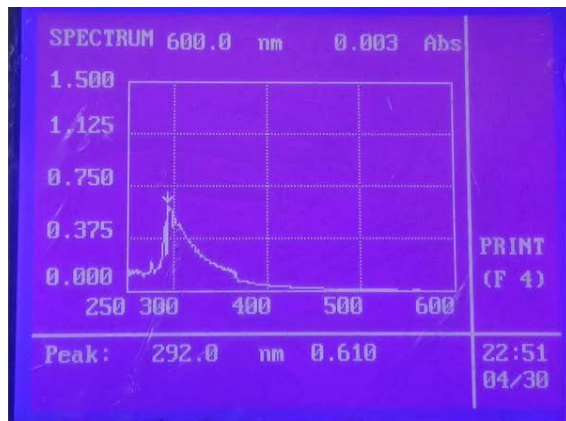
ในการใช้เทคนิค UV-vis spectroscopy เพื่อวิเคราะห์น้ำมันทั้งหมด (ภาพที่ 4) พบว่ามีตำแหน่งการดูดแสงสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน คือ ที่ประมาณ $280-300\text{ nm}$ ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารกลุ่มอะโรมาติก โดยพีกของน้ำมันจากการไพโรไลซิสร่วมหรือที่มี Coco จะมีพีกต่ำกว่า PU อย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าการไพโรไลซิสร่วมจะให้สารกลุ่มอะโรมาติกต่ำกว่า แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ช่วยลดสารประกอบกลุ่มออกซิเจนลง



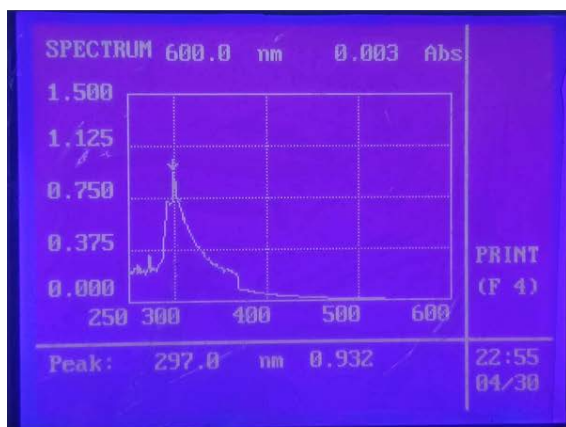
ภาพที่ 3 สเปกตรัม FTIR ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสร่วมของ Coco และ PU



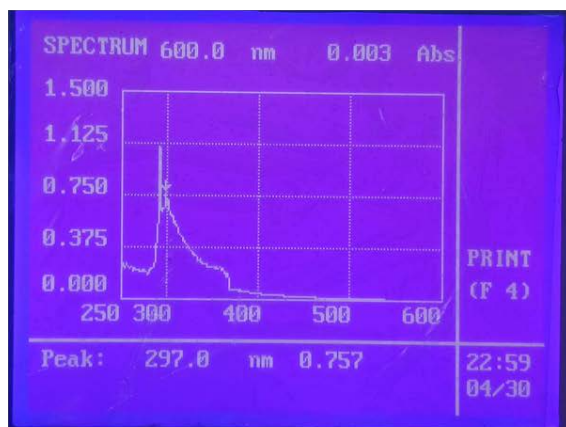
PU



1:2



1:3



1:4

ภาพที่ 4 สเปกตรัม UV-visible ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสร่วมของ Coco และ PU

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันจากการไพโรไลซิสด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารกลุ่มอะโรมาติก (toluene, xylene และ aniline) โดยน้ำมัน PU มีค่า 65.7 wt% และน้ำมันจากการไพโรไลซิสรวมมีค่า 67.8-74.1 wt% และเมื่อทำการประมาณค่าความร้อนของน้ำมัน (higher heating value, HHV) โดยใช้องค์ประกอบหลักของสารกลุ่มอะโรมาติกในการคำนวณพบว่า ค่า HHV ของน้ำมัน PU อย่างเดียวจะมีค่าประมาณ 33.9 MJ/kg และน้ำมันจากการไพโรไลซิสจะมีค่าประมาณ 34.2 MJ/kg อย่างไรก็ตามในน้ำมันจากการไพโรไลซิสรวมยังประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มออกซิเจน เช่น propanol และ ether ซึ่งอาจทำให้ค่า HHV ที่ประมาณมีค่าลดลงได้ เทคนิคในการวัดค่าความร้อนที่แม่นยำกว่า เช่น bomb calorimeter ควรจะนำมาใช้ในการทดสอบสมบัติของน้ำมันในการศึกษาต่อไป

ในการประมาณค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy, E_a) ของการสลายตัวของ ของระบบที่อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นของ PU ประมาณ 300°C (ข้อมูลจากเทคนิค TGA ที่อัตราการให้ความร้อนคงที่ 10°C/min) พบว่าในระบบ PU มีค่า 38.5 kJ/mol ในขณะที่ระบบไพโรไลซิสรวมมีค่า 29.1-51.1 MJ/kg โดยที่อัตราส่วน PU:Coco (4:1) มีค่าต่ำสุด 29.1 MJ/kg แสดงให้เห็นว่าอาจเกิดผลเสริมฤทธิ์กันของพอลิยูรีเทนและชีวมวลที่อัตราส่วนดังกล่าว

4. บทสรุป

ในการไพโรไลซิสรวมระหว่างกะลามะพร้าวและพอลิยูรีเทนซึ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตโฟมที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิยูรีเทนช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำมันชีวภาพให้กับกะลามะพร้าว โดยที่อัตราส่วน 1:3 (กะลามะพร้าว:พอลิยูรีเทน) จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 35.5 wt% จากวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่อง FTIR และ UV-vis spectroscopy พบว่าน้ำมันที่ได้มีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มออกซิเจนซึ่งผลเสียต่อการนำไปใช้งานลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านโครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Wachiraporn Khamon, Suneerat Fukuda & Weawboon Yamsangsung (2022). The study of properties of fuel briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University*, 2(2), 12-22.
- [2] Liu, W.-J., Tian, K., Jiang, H., Zhang, X.-S. & Yang, G.-X. (2013). Preparation of liquid chemical feedstocks by co-pyrolysis of electronic waste and biomass without formation of polybrominated dibenzo-p-dioxins. *Bioresource Technology*, 128, 1-7.
- [3] Ni, Y., Bi, D., Yan, S., Wang, H., Dong, C. & Liu, S. (2025). Co-pyrolysis of polyurethane and biomass: Piperidine derivative production and nitrogen mechanism modulation by flame retardants. *Chemical Engineering Journal*, 515, 163773.
- [4] Patcharavorachot, Y., Pradiskhean, S., Aentung, T., Saebea, D. & Arpornwichanop, A. (2024). Co-pyrolysis of biomass/polyurethane foam waste: Thermodynamic study using Aspen Plus. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 183, 106833.



- [5] Zheng, M.& Li, X. (2024). Co-pyrolysis behaviors of biomass and polymer plastics by using reactive molecular dynamics simulation. *Energy*, 296, 131165.
- [6] Hsieh, D., Capareda, S.& Placido, J. (2015). Batch Pyrolysis of Acid-Treated Rice Straw and Potential Products for Energy and Biofuel Production. *Waste and Biomass Valorization*, 6, 417–424.