

เปลือกหอยแมลงภู่ม้าสำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการโฟโรไลซิสพอลิยูรีเทน

พิชญา ศักดิ์คำแหง , พลวัต แก้วพิศदान และเอกราชชัย ไชยชนะ*

ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*ekrachan@npru.ac.th*npru@gmail.com

บทคัดย่อ

หอยแมลงภู่ม้าเป็นหนึ่งในหอยที่มีการบริโภคปริมาณมากในประเทศไทย มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* ชื่อสามัญว่า green mussel มีน้ำหนักเปลือกคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักหอย ในเปลือกหอยแมลงภู่ม้ามีองค์ประกอบของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) อยู่สูงซึ่งสามารถที่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide, CaO) และสามารถที่จะนำไปใช้ทางการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ นำเปลือกหอยแมลงภู่ม้ามาเผาที่อุณหภูมิ 900°C เพื่อสังเคราะห์ CaO และนำไปใช้ในการโฟโรไลซิสพอลิยูรีเทน (polyurethane, PU) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเผาเปลือกหอยแมลงภู่ม้า วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงจาก CaCO_3 กลายเป็น CaO จากการตรวจสอบสมบัติผลึกโดยใช้ X-ray diffractometer (XRD) และหุ้มฟังก์ชันโดยใช้ Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) เมื่อนำ CaO ที่ได้ไปใช้ในการโฟโรไลซิสพบว่า CaO ช่วยให้น้ำมันมีลักษณะทางกายภาพที่ดีขึ้นมีส่วนผสมของของเหลวชั้นน้ำลดลง แต่ทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาขั้นที่สอง (secondary reaction) เปลี่ยนให้ของเหลวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: เปลือกหอยแมลงภู่ม้า ตัวเร่งปฏิกิริยา โฟโรไลซิส

Mussel shells as catalysts for pyrolysis of polyurethane

Pitchayapa Sakkhamhaeng, Phonlawat Kaewphitsadan, 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

Mussels is one of the most consumed shellfish in Thailand. Its scientific name is *Perna viridis*, and common name is (green) mussel. The shell of a mussel constitutes around 50% of its total weight. The shells highly consist of calcium carbonate (CaCO_3), which can convert to be calcium oxide (CaO) and is used in catalytic applications. In this research, the mussel shells were calcined at 900°C to synthesize CaO and applied for a pyrolysis of polyurethane (PU) for obtaining useful products. It was found from the results that when calcinated the mussel shells, they converted from CaCO_3 to be CaO determined from the crystal structure with an X-ray diffractometer (XRD) and the functional groups with a Fourier transform infrared spectrometer (FTIR). The CaO was then used for the pyrolysis of PU, and it was observed that CaO provided the better physical property to the pyrolysis oil with reducing the content of water phase in the oil. However, CaO decreased the bio-yield due to occurring of secondary reactions which turn the liquid into gas.

Keywords: Mussel shells, Catalyst, Pyrolysis

1. บทนำ

หอยแมลงภู่เป็นหนึ่งในหอยที่มีการบริโภคปริมาณมากในประเทศไทย โดยหอยแมลงภู่สามารถพบได้ตามแหล่งธรรมชาติและการเลี้ยงในฟาร์ม โดยเฉพาะพื้นที่ภาคตะวันตกฝั่งอ่าวไทย ได้แก่ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ หอยแมลงภู่ มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* ชื่อสามัญว่า green mussel จัดเป็นหอยสองฝา เปลือกทั้งสองข้างมีลักษณะเหมือนกันและมีขนาดเท่ากันโดยน้ำหนักเปลือกคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักหอย ทำให้มีปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลหลายหมื่นตันต่อปี และต้องกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ไม่สามารถเผาทำลายได้ ทำให้ปัจจุบันมีเปลือกหอยแมลงภู่จำนวนมากถูกทิ้งในพื้นที่สาธารณะ สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาสุขภาพ อย่างไรก็ตามพบว่าในเปลือกหอยแมลงภู่มีองค์ประกอบของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) อยู่สูง [1] จึงสามารถที่จะนำเปลือกหอยแมลงภู่ไปประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น ใช้ใส่ประกอบในเวชสำอาง ได้แก่ สบู่ขัดผิวผสมผงประกายมุก โลชั่นบำรุงผิวผสมผงมุกที่เพิ่มความขาว และเนื่องจาก CaCO_3 สามารถที่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide, CaO) จึงสามารถที่จะนำไปใช้ทางการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ในปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซล [2] และ ปฏิกิริยาการกลั่นตัวของกรด [3] สำหรับกระบวนการไพโรไลซิสพบว่ามีการใช้เปลือกหอยแมลงภู่ร่วมด้วย

เช่นกันแต่เป็นการไฟโรไลซิสร่วมกับสารชนิดอื่น เช่น การไฟโรไลซิสของไม้เนื้ออ่อนร่วมกับเปลือกหอยแมลงภู่ [3] โดยการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรงสำหรับการไฟโรไลซิสยังไม่มีการศึกษาอย่างละเอียด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการแปรรูปให้เป็น CaO และนำไปใช้ในการไฟโรไลซิสของพอลิยูรีเทน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานมากโดยเฉพาะการนำไปขึ้นรูปเป็นโฟม โดยพอลิยูรีเทนไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ จึงไม่สามารถนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลกลับไปใช้งานได้ การนำมาผ่านกระบวนการไฟโรไลซิสจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

2. วิธีทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

พอลิยูรีเทน (polyurethane, PU) ได้รับการบริจาคจาก บ.คูราโฟม จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ เปลือกหอยแมลงภู่จัดหาจากตลาดปทุมมงคล จังหวัดนครปฐม โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกจัดซื้อจาก บ.เมอรัค จำกัด (ประเทศไทย) เครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสได้รับการพัฒนาร่วมกับ บ.โปรเกรส เทคโนโลยี จำกัด กรุงเทพมหานคร

2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ล้างเปลือกหอยแมลงภู่ให้สะอาด นำไปต้มกับสารละลาย NaOH (10% w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองตัวอย่าง และล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง อบให้แห้ง บดหยาบ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในโถสุญญากาศ

2.3 การไฟโรไลซิส

การไฟโรไลซิสแบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ดำเนินการโดยนำ PU ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสแบบโลหะแนวดิ่งขนาด 3.5 L ผ่านแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตรา 30 mL/min เข้าไปเพื่อไล่อากาศเป็นเวลา 30 นาที ให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ในอัตรา 10°C/min จนถึงอุณหภูมิ 500°C รักษาอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ผ่านไปยังเครื่องควบแน่นเพื่อกลั่นเป็นน้ำมันชีวภาพส่วนที่ไม่ควบแน่นถูกปล่อยออกไป เมื่อครบเวลาปิดเครื่องให้ความร้อนแต่ยังคงผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้าไป เมื่อเครื่องปฏิกรณ์เย็นลงนำผลผลิตที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก สำหรับการไฟโรไลซิสแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาจะใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปอัตราส่วน PU ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 4:1 และดำเนินการเหมือนการไฟโรไลซิสแบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

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), UV-Vis Spectroscopy, Thermogravimetric analysis (TGA) และ Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์สมบัติ PU

โฟมพอลิยูรีเทน (polyurethane, PU) ในทางอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

- ประเภทแข็งคงรูป (rigid) มีความแข็ง ความหนาแน่นสูง และมีโครงสร้างแบบปิด (closed-cell structure) ใช้เป็นฉนวนและงานโครงสร้าง

- ประเภทยืดหยุ่น (flexible) มีความนุ่ม ยืดหยุ่น และมีโครงสร้างแบบเปิด (open-cell structure) ใช้สำหรับรองรับแรงกระแทก งานตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์
- โดย PU ทั้ง 2 ประเภท แสดงดังภาพที่ 1



PU แข็งคงรูป



PU ยืดหยุ่น

ภาพที่ 1 PU เหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม

PU สังเคราะห์โดยใช้ส่วนประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ โพลีออล (polyol) และไอโซไซยานेट (isocyanate) ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโฟม ความแตกต่างของ PU ทั้งสองประเภทเกิดจากส่วนผสมที่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) และ ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ของ PU ที่ทำการศึกษา แสดงดังตารางที่ 1 โดย PU-rigid คือ PU ประเภทแข็งคงรูป และ PU-flex คือ PU ประเภทยืดหยุ่น จะเห็นได้ว่า PU-flex มีการดูดซับความชื้น (moisture content) มากกว่า มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile matter) สูงกว่า PU-rigid และไม่พบคาร์บอนแบบคงตัว (fixed carbon) ขณะที่เถ้า (ash) ไม่พบใน PU ทั้งสองประเภท แต่เนื่องจาก PU-rigid มีความหนาแน่นสูงกว่าจึงสามารถบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ได้ปริมาณมากกว่า ในการศึกษาจึงเลือก PU-rigid มาทำการไพโรไลซิส

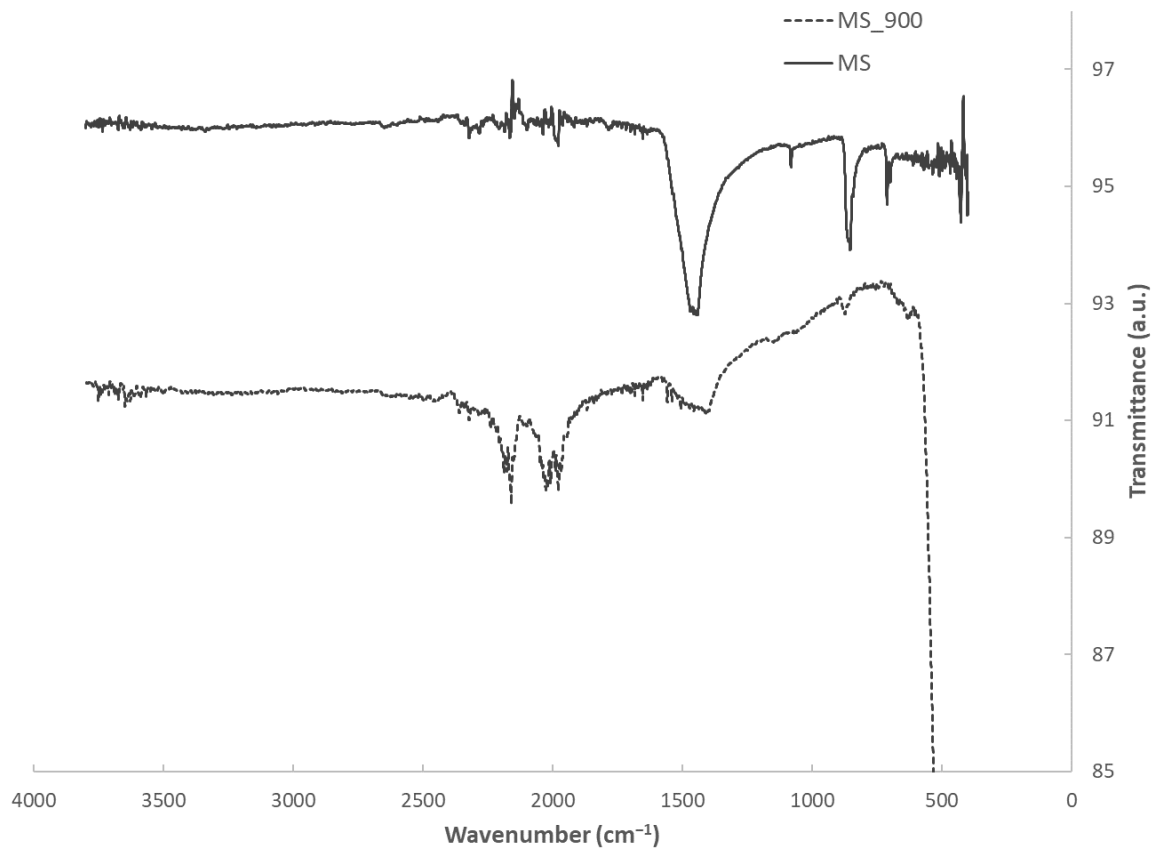
ตารางที่ 1 Proximate analysis และ Ultimate analysis ของตัวอย่าง PU

Sample	Proximate analysis (wt%)				Ultimate analysis (wt%)			
	Moisture content	Volatile matter	Fixed carbon	Ash	Carbon (C)	Hydrogen (H)	Nitrogen (N)	Oxygen (O)
PU-rigid	0.13	83.02	16.85	0	65.76	6.49	7.14	20.61
PU-flex	0.26	99.74	0	0	60.67	8.60	5.20	25.53

3.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

เปลือกหอยแมลงภู่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เมื่อทำการเผาภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเปลี่ยนรูปกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งเป็นสารที่มีความเสถียร มีฤทธิ์เป็นเบส และมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ในการทดลองทำการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่อุณหภูมิ 900°C เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปไปเป็น CaO จากนั้นนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค FTIR เพื่อเปรียบเทียบฟังก์ชันของเปลือกหอยแมลงภู่ที่ยังไม่เผา (MS) และเปลือกหอยแมลงภู่ที่เผาที่ 900°C (MS_900) โดยสเปกตรัม FTIR ของตัวอย่างทั้งสองชนิดแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่า MS จะคงลักษณะของ CaCO_3 โดยพบพิกัดที่ตำแหน่ง 1417 cm^{-1} และ 875 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงพันธะ $\text{C}-\text{O}$ ในขณะที่ MS_900 จะพบจำนวนพิกัดน้อยกว่า โดยปรากฏพิกัดชัดเจนที่ 427 cm^{-1} (ขนาดพิกัดสูงกว่าสเกลของภาพ) ซึ่งแสดงถึงพันธะ $\text{Ca}-\text{O}$ และจาก

การตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่า MS_900 ปรากฏพีคที่แสดงถึงลักษณะของ CaO [4] เพราะฉะนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าเปลือกหอยแมลงภู่ได้เปลี่ยนไปเป็น CaO เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900°C และสามารถนำไปใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการโฟโวลซิส



ภาพที่ 2 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่างเปลือกหอยแมลงภู่ที่ไม่ผ่านการเผา (MS) และเผาที่อุณหภูมิ 900°C

3.3 การโฟโวลซิส

ผลการโฟโวลซิส PU แบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและมีตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จากหอยแมลงภู่ (PU+CaO) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า CaO ช่วยให้น้ำมันมีลักษณะทางกายภาพที่ดีขึ้นมีส่วนผสมของของเหลวชั้นน้ำลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันจากการโฟโวลซิส PU แบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 3 อย่างไรก็ตาม CaO จะทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาขั้นที่สอง (secondary reaction) เปลี่ยนให้ของเหลวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น โดย CaO ที่มีฤทธิ์เป็นเบสจะทำให้หน้าที่เร่งกระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์ และช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบกลุ่มออกซิเจน (deoxygenation) [5]

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตจากการโฟโวลซิส PU ที่อุณหภูมิ 500°C

การทดลอง	วัสดุ	ปริมาณผลผลิต (wt%)		
		ของเหลว	ของแข็ง	แก๊ส
1	PU	45.9	20.3	33.9
2	PU + CaO	36.9	19.4	43.7

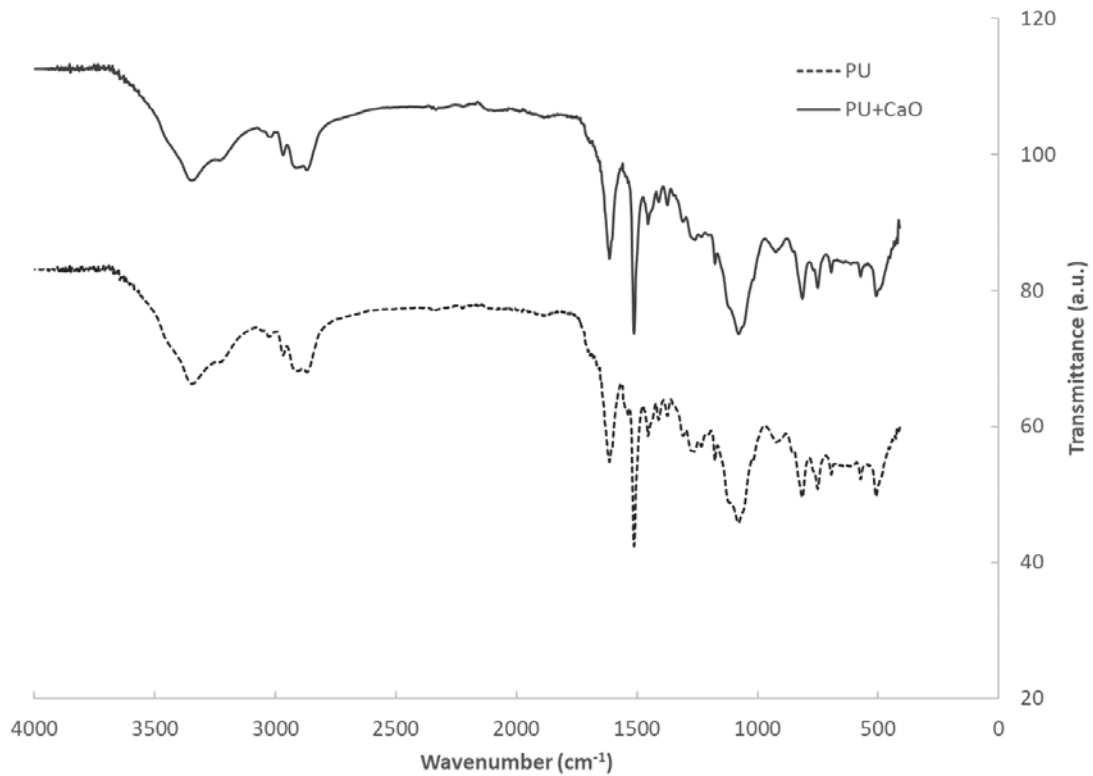


PU

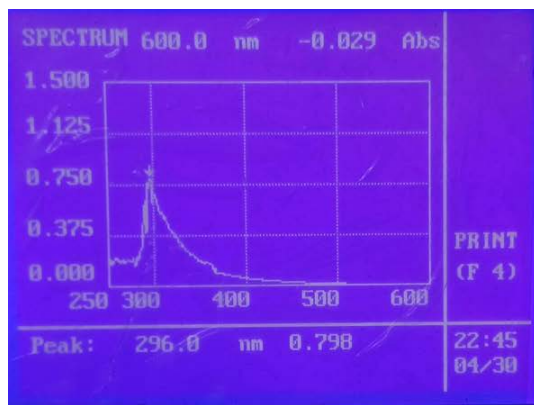
PU+CaO

ภาพที่ 3 ลักษณะของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส PU

นำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้ง 2 ประเภท ไปทดสอบหุ้ฟงักซันโดยเทคนิค FTIR ดังแสดงในภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า น้ำมันทั้ง 2 ประเภท มีลักษณะสเปกตรัมที่คล้ายกัน แสดงถึงการที่สารมีหุ้ฟงักซันที่เหมือนกันซึ่งสารประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีหุ้ฟงักซันไม่แตกต่างกัน โดยปรากฏพีก FTIR ที่ตำแหน่ง $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ จาก OH stretching ของสารกลุ่มฟีนอล พอลิเมอร์ที่มีหุ้ไฮดรอกซิลและน้ำ ที่ตำแหน่ง $2800-3200\text{ cm}^{-1}$ C-H stretching ของสารกลุ่ม แอลเคน ที่ตำแหน่ง $1650-1750\text{ cm}^{-1}$ 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 ของสารกลุ่มแอลเคน ที่ตำแหน่ง $950-1300\text{ cm}^{-1}$ จาก C-O stretching ของสารกลุ่มแอลกอฮอล์และฟีนอล และ ที่ตำแหน่ง ที่ตำแหน่ง $675-900\text{ cm}^{-1}$ จาก C=C stretching ของสารกลุ่มวงแหวนอะโรมาติกที่มีหุ้แทนที่ประเภทโมโนและพอลิไซคลิก [6] ในการใช้เทคนิค UV-vis spectroscopy เพื่อวิเคราะห์น้ำมันทั้ง 2 ชนิด (ภาพที่ 5) พบว่ามีตำแหน่งการดูดแสงสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน คือ ที่ประมาณ $280-300\text{ nm}$ ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารกลุ่มอะโรมาติก โดยพีกของ PU+CaO จะมีค่าสูงกว่าขยับเข้าใกล้ทางคลื่นแสงสีแดง (red shift) มากกว่าของ PU ทั้งนี้อาจเกิดจากการเกิดอันตรกิริยาของสารกลุ่มอะโรมาติกกับสารที่อยู่แวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากองค์ประกอบที่เปลี่ยนไปของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ลงไปในระบบการไพโรไลซิสจะช่วยให้้ำมันไพโรไลซิสที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น และมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างไปจากน้ำมันจากระบบที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพที่ 4 สเปกตรัม FTIR ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส PU



PU



PU+CaO

ภาพที่ 5 สเปกตรัม UV-visible ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส PU

การวิเคราะห์สมบัติจำเพาะของน้ำมันโดยใช้เทคนิค GC-MS พบว่าน้ำมันจากทั้ง 2 ระบบจะให้สารกลุ่มอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบหลัก โดยน้ำมัน PU มีปริมาณตามลำดับดังนี้ toluene (29.12 %) > o-xylene (15.18 %) > aniline (9.88 %) สำหรับ PU+CaO มีปริมาณ aniline (22.57 %) > toluene (22.47 %) > o-xylene (12.92 %) ทั้งนี้เนื่องจาก CaO ช่วยให้การแตกตัวของพอลิยูรีเทนซึ่งประกอบด้วยกลุ่มสาร isocyanates เกิดได้ดีขึ้น และจากการประมาณค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy, E_a) ของการสลายตัวของ ในทั้ง 2 ระบบที่อุณหภูมิประมาณ 395°C (ข้อมูลจากเทคนิค TGA ที่อัตราการให้ความร้อนคงที่ 10°C/min) พบว่าในระบบ PU มีค่า 59.6 kJ/mol ในขณะที่ PU+CaO มีค่า 59.5 kJ/mol ซึ่งต่ำกว่าเล็กน้อยแต่ยังคงใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลทางการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอาจไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ CaO อาจไปช่วยในด้านการนำความร้อนและการกระจายความร้อนทำให้เกิดการแตกตัวของพอลิยูรีเทนที่ดีขึ้น

4. บทสรุป

จากการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาเผาที่อุณหภูมิ 900°C ทำให้ได้ CaO ที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการไพโรไลซิส PU โดยพบว่า CaO ช่วยให้น้ำมันมีลักษณะทางกายภาพที่ดีขึ้นมีส่วนผสมของของเหลวชั้นน้ำลดลง แต่ทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาขั้นที่สอง (secondary reaction) เปลี่ยนให้ของเหลวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้นจากการตรวจสอบสมบัติของน้ำมันที่ผลิตได้พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกับน้ำมันจากการไพโรไลซิสพอลิเมอร์ชนิดอื่น และพบตำแหน่งการดูดกลืนแสง UV สูงสุดของน้ำมันจากการไพโรไลซิสแบบมี CaO มีค่าสูงกว่าน้ำมันจากการไพโรไลซิส PU อย่างเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านโครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Irfa'i, M.A., Prihanto, A., Muryanto, S., Jamari, J., Ismail, R. & Bayuseno, A.P. (2022). Precipitated Calcium Carbonate Derived from Green Mussel Shells Extracted from Magnesium Chloride Containing Solution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1098(1), 012021.
- [2] Benni, S.D., Munnolli, R.S., Katagi, K.S. & Kadam, N.S. (2021). Mussel shells as sustainable catalyst: Synthesis of liquid fuel from non edible seeds of Bauhinia malabarica and Gymnosporia montana. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100124.
- [3] Patil, U., Patil, R. & Patil, S. (2020). Waste mussel shell as a highly efficient heterogeneous catalyst for the synthesis of polyfunctionalized 4H-pyrans in aqueous media. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 129, 679–691.
- [4] Roy, A., Gauri, D.S. & Bhattacharya, M. (2013). Antimicrobial Activity of CaO Nanoparticles. *Journal of biomedical nanotechnology*, 9, 1570-1578.
- [5] Huh, J.-H., Choi, Y.-H., Chilakala, R., Cheong, S.-H. & Ahn, J.-W. (2016). Use of Calcined Oyster Shell Powders as CO₂ Adsorbents in Algae-Containing Water. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 53, 429-434.
- [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.