

## การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ชีวมวลสัมผัสกับความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพบนเครื่องไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง

### THE EFFECT OF TEMPERATURE AND RESIDENCE TIME FOR BIO-OIL PRODUCTION FROM BIOMASS RESIDUE ON THE CONTINUOUS PYROLYSIS

ณิศาธร นำเจริญพิณีจ วิชากร จารุศิริ\*

*Nisatorn Numcharoenpinij, Witchakorn Charusiri\**

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

*Department of Environmental Technology and Resource Management, Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University.*

\*Corresponding author, E-mail: [witchakorn@swu.ac.th](mailto:witchakorn@swu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพบนเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้ร้อยละผลได้เป็นน้ำมันชีวภาพ และวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันทาร์ โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี และเทคนิคโปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิ เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพ โดยที่อุณหภูมิ 415 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพได้มากที่สุด เท่ากับ 36.32% โดยน้ำหนัก เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ พบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก เช่น ฟีนอล คีโตน ในขณะที่การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ แบบแยกธาตุ และองค์ประกอบทางเชื้อเพลิง พบว่า น้ำมันชีวภาพ มีสมบัติที่ยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้โดยตรง ควรได้รับการปรับปรุงคุณภาพก่อนการนำไปใช้งาน

คำสำคัญ: เศษไม้ชีวมวล ไพโรไลซิส น้ำมันชีวภาพ

#### Abstract

The research aims to study the variable which affected to the bio-oil production from pyrolysis of biomass residue in a continuous reactor using under screwing feeder to produce bio-oil and value chemical compounds. Bio-oil composition has been determined by chromatography-mass spectrometry technique, <sup>1</sup>H NMR, and the physico-chemistry analysis has also determined. The results indicated that a high bio-oil yield of 36.32 wt% has been obtained, which is explained by the effect of temperature and a residence time. The characterization of bio-oil using chromatography-mass spectrometry technique shown that biooil mainly consisted of oxygenated compounds such as phenol, ketone, In addition, the elemental composition and physicochemical properties were analyses and indicated that the pyrolysis bio-oil cannot replace conventional diesel fuels without an upgrading.

**Keywords:** Biomass Residuals, Pyrolysis, Bio-oil

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรอุตสาหกรรมที่มีการแปรรูปผลผลิตทางเกษตรจำนวนมาก และก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปที่เรียกว่า “ชีวมวล” ในจำนวนมากเช่นเดียวกัน โดยชีวมวลที่เกิดขึ้นมักมีปริมาณมากในแหล่งกำเนิดผลผลิตทางเกษตร เช่น ไร่ นา ของเกษตรกร หรือ โรงงานแปรรูปผลผลิตทางเกษตร ซึ่งมักถูกมองข้ามไม่นำมาใช้ประโยชน์ รวมถึงเกษตรกรมักเผาทิ้งตามไร่นาก่อนเข้าสู่ฤดูกาลเพาะปลูกถัดไป ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่าและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมีความสนใจนำชีวมวล หรือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปจากความต้องการการใช้พลังงานอย่างมหาศาลตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ [1] รวมถึงลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก ทำให้เกิดการพัฒนาและวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนจากกระบวนการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการไพโรไลซิสได้เป็นน้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์ รวมถึงแก๊สสังเคราะห์ (Syngas) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อมากมาย [2-5] โดยพบว่าชีวมวลสามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทน เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ อีกทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการแตกสลายสารประกอบด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบลักษณะของวัตถุดิบ รวมถึงสภาวะของการให้อุณหภูมิความร้อน ส่วนใหญ่มักได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นน้ำมันชีวภาพ (Bio-Oil) น้ำมันหนัก (Tar) ถ่านชาร์ (Char) และแก๊สไฮโดรคาร์บอน [6]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการให้

ความร้อนอย่างรวดเร็วแก่ชีวมวลในกระบวนการไพโรไลซิสที่จะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) ได้เป็นน้ำมันชีวภาพ [7] ในขณะที่ให้ความร้อนในอัตราคงที่แบบช้า (Slow Pyrolysis) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก [8] รวมถึงหากใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สไนโตรเจนตัวพา (Carrier Gas) ในปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกสลายสารระเหยได้ (Devolatilization) [9] ได้เป็นน้ำมันชีวภาพมากขึ้น และมีงานวิจัยของ Tani [10] ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) พบว่าแมกนีเซียมออกไซด์มีส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดลดลง

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพบนเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยมีตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการป้อนสาร อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนตัวพา และตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ให้มีองค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพ และสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวลให้เป็นน้ำมันชีวภาพที่มีองค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพ และสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด
2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันชีวภาพที่แปรรูปจากกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวล

## วิธีดำเนินการวิจัย

### วิเคราะห์วัตถุดิบ

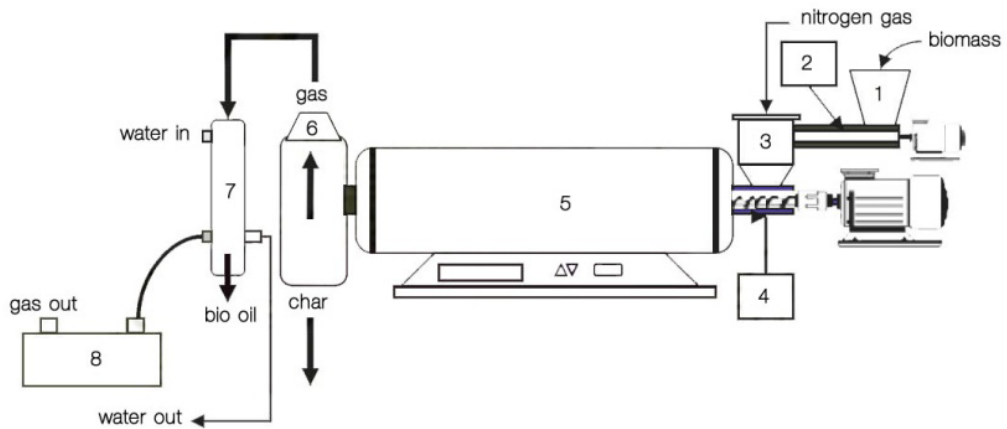
พิจารณาพฤติกรรมและการสลาย

ตัวเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของเศษไม้กระถินณรงค์ที่อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิมิติ (Thermogravimetric Analyzer) และทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ตามวิธีการของ ASTM E1756 ASTM E872 และ ASTM E1755 โดยหาปริมาณของคาร์บอนคงตัวจากการคำนวณผลต่าง (by Difference) วิเคราะห์

องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ด้วยเครื่อง LECO CHN-2000 Analyzer (LECO, USA.)

### กระบวนการไพโรไลซิส

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลองไพโรไลซิสคือ เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องมีสกรูด้านล่าง ทำจากเหล็กกล้า (SS316) สำหรับขับเคลื่อนสารตั้งต้นที่มีชุดสกรูขนาดยาว 120 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 1 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

- ❶ ถังเก็บสาร ❷ ถังเก็บสาร ❸ ชุดสกรูป้อนสาร ขนาดยาว 40 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ❹ ชุดสกรู ขนาดยาว 120 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ❺ เตาดเผา ❻ ถังเก็บถ่านชาร์ ❼ ตัวควบแน่นสาร ❸ บั๊มสุญญากาศ

การไพโรไลซิสเศษไม้ซัวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพ ทำการทดลองโดยนำเศษไม้กระถินณรงค์มาป้อนภาคให้มีขนาด 500-850 ไมโครเมตรคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน อนุภาคที่อนุกรม 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำวัตถุดิบเศษไม้ซัวมวลที่ร่อนคัดแยกขนาดซึ่งน้ำหนัก 300 กรัม เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์บรรจุในถังเก็บสาร (หมายเลข 1) จากนั้นเปิดแก๊สไนโตรเจนที่อัตรา 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เพื่อทำการไล่อากาศภายในออกจากระบบเป็นเวลา 30 นาที ให้อยู่ในภาวะไร้ออกซิเจน

เปิดเครื่องให้ความร้อนโดยตั้งอุณหภูมิตามที่อุณหภูมิการทดลองจนอุณหภูมิคงที่ จึงเริ่มเปิดระบบให้สกรูนำเศษไม้ซัวมวลป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ตามลำดับ ปรับความเร็วของสกรูเพื่อทำการป้อนสาร แล้วเปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อไล่สารระเหยง่ายที่เกิดจากการไพโรไลซิสผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น ซึ่งแก๊สที่สามารถควบแน่นจะเปลี่ยนเป็นน้ำมันชีวภาพ หลังจากทำการทดลองโดยให้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสกลับสู่สภาวะอุณหภูมิห้อง แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันชีวภาพและถ่านชาร์ที่ได้ด้วยการคำนวณ

ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์โดยน้ำหนัก ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะพิจารณาจากผลต่างโดยน้ำหนัก (by Different) โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ อัตราการป้อนสาร 120-360 รอบต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ 1-5% โดยน้ำหนัก อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนตัวพา 80-160 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และอุณหภูมิ 380-450 องศาเซลเซียส

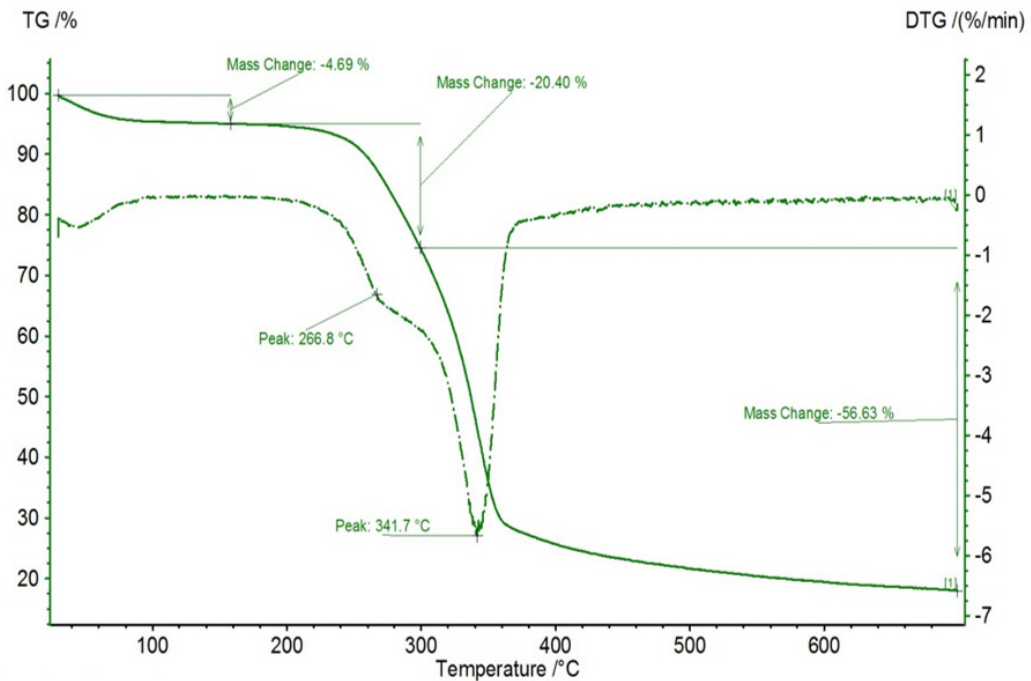
### วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของน้ำมันชีวภาพ สามารถวิเคราะห์สารประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ หางค์ประกอบของสารในผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปคโตรมีตรี Agilent 7890/GCMS5978 (Agilent Technologies, USA.) แสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล

และโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนด้วยคอลัมน์ของแก๊สโครมาโตกราฟีมีขนาด 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร 10% dimety polysiloxane (HP-5MS) โดยมีฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา แสดงผลเป็นพีคที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับโครงสร้างในฐานข้อมูลของ National Institute of Science and Technology (NIST) หาปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยเทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (H-NMR) และหาค่าความเป็นกรดด้วยเครื่องไทเทรชันแบบอัตโนมัติ Titrino plus 848 (Metrohm, USA.)

### ผลการวิจัย

องค์ประกอบของเศษไม้กระถินณรงค์ก่อนการทดลอง



ภาพที่ 2 การสลายตัวเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์

**ตารางที่ 1** ส่วนประกอบของสารชีวโมเลกุลหลักของเศษไม้กระถินณรงค์

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส	58.18
ลิกนิน	14.2

ภาพที่ 2 และตารางที่ 1 แสดงการสลายตัวเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์ด้วยเครื่อง Thermal Gravity Analysis จากการให้ความร้อนที่อัตราการคงที่ 5 องศาเซลเซียส และอัตราการสลายตัวเชิงความร้อนเปรียบเทียบกับการสูญเสียเชิงน้ำหนักของเศษไม้ซี้วมวล พบว่าเศษไม้กระถินณรงค์เริ่มสลายตัวที่ 266.8 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 266.8 ถึง 375 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายตัวซี้วมวลของเศษไม้กระถินณรงค์สูงสุด โดยเป็นช่วงเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส [11] และพบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า

341.7 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวเชิงความร้อนซึ่งทำให้เกิดการแตกสลายเชิงความร้อนของลิกนิน จนกระทั่งเกิดเป็นถ่านชาร์ในที่สุด โดยจากโครโมแกรมการสลายตัวเชิงความร้อนแสดงให้เห็นว่าเศษไม้กระถินณรงค์ประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส 58.78% ลิกนิน 14.2%

**การวิเคราะห์สมบัติเศษไม้กระถินณรงค์**

การวิเคราะห์แบบประมาณ และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ แสดงในตารางที่ 2

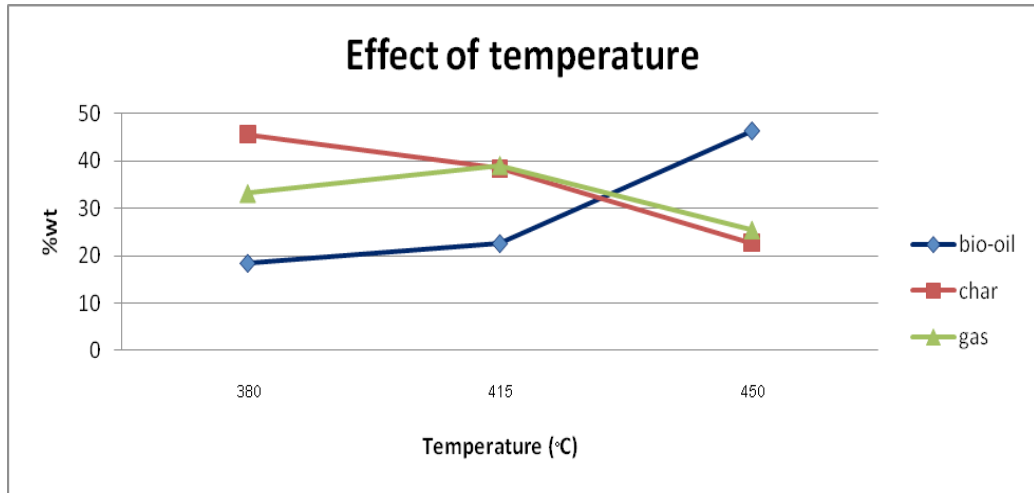
**ตารางที่ 2** การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ

การวิเคราะห์แบบประมาณ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น (Moisture)	7.03
สารระเหยง่าย (Volatiles)	74.65
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	19.05
ขี้เถ้า (Ash)	0.70
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	
คาร์บอน (C)	47.12
ไฮโดรเจน (H)	5.92
ไนโตรเจน (N)	0.21
ออกซิเจน (O)**	46.75

\*\*จากผลต่าง (by different)

ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสเศษ

ไม้กระถินณรงค์ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพา ตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราการป้อนสาร

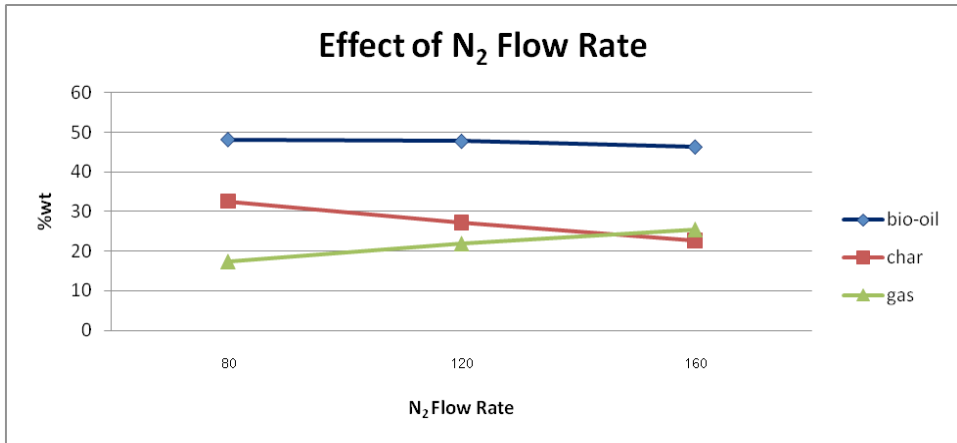


ภาพที่ 3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์

**อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อน้ำมันชีวภาพ**

ภาพที่ 3 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิกการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์โดยให้ตัวแปรอื่นๆคงที่ ได้แก่ อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพา 160 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนัก และอัตราการป้อนสาร 120 รอบต่อนาที พบว่า อุณหภูมิจากการไพโรไลซิสเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพ เมื่ออุณหภูมิช่วง 380 องศาเซลเซียส ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณน้อย ได้ผลิตภัณฑ์ชาร์สูงสุด และปริมาณร้อยละผลได้ของแก๊สค่อนข้างน้อย ซึ่งอธิบายได้จากในการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์ อุณหภูมิจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกสลายตัวเชิงความร้อน ทำให้เกิด

การแตกสลายของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกคีโตน และอัลดีไฮด์ และมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะแตกสลายลิกนินให้เป็นสารประกอบจำพวกฟีนอล จึงพบว่า ที่อุณหภูมิสูงมักจะให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นน้ำมันชีวภาพ โดยมีปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากขึ้น จาก 18.35 เป็น 36.32 โดยน้ำหนัก ในขณะที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ยังไม่ทำให้เกิดการสลายตัวเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์ได้อย่างสมบูรณ์และทำให้เกิดการสลายสารประกอบระเหยได้ (Volatile Matter) ไปเป็นแก๊สจำพวกไฮโดรเจน และไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบช้า ทำให้พบว่ามีถ่านชาร์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

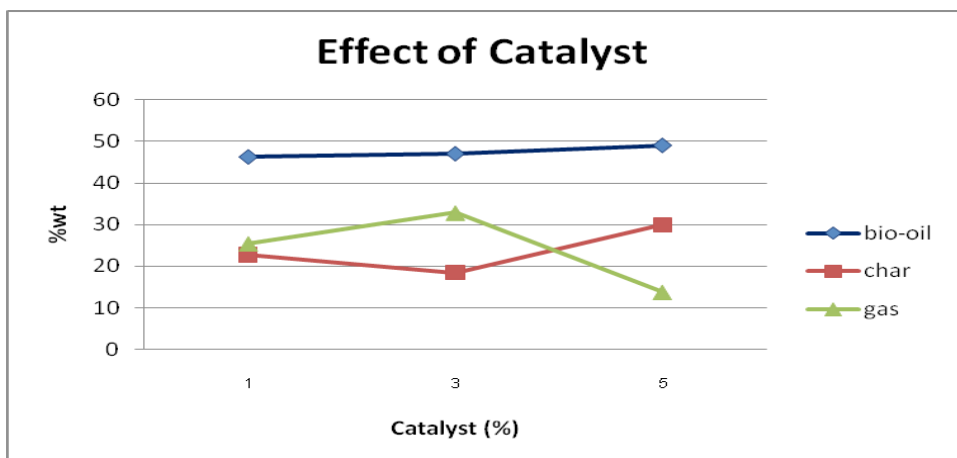


ภาพที่ 4 อิทธิพลของแก๊สไนโตรเจนตัวพาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซ์เศษไม้กระถินณรงค์

**อิทธิพลของอัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อน้ำมันชีวภาพ**

ภาพที่ 4 แสดงผลของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซ์เศษไม้กระถินณรงค์ โดยพบว่าอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพาที่มีผลต่อปฏิกิริยา Devolatilization ของเศษไม้กระถินณรงค์ ทำให้เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพา จะมีปริมาณแก๊สที่เกิดจากการแตกสลายเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนตัวพา ระหว่าง 80 ถึง 160 ลูกบาศก์

เซนติเมตรต่อนาที จะทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากเครื่องกำเนิดความร้อนไปยังเศษไม้ ชีวมวลในเวลาจำกัด ทำให้เวลาสัมผัสและการถ่ายโอนความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสได้อย่างสมบูรณ์ โดยเกิดการนำแก๊สที่เกิดจากการแตกสลายเชิงความร้อนออกไปพร้อมกับแก๊สตัวพา ดังนั้นหากป้อนแก๊สไนโตรเจนในอัตราที่เร็วจะทำให้การเกิด Devolatilization ไปเป็นน้ำมันชีวภาพเกิดได้ไม่ดี จึงมักต้องควบคุมอัตราการป้อนของแก๊สไนโตรเจนไม่ให้สูงมากเกินไป ร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพจากเศษไม้กระถินณรงค์ที่มีแนวโน้มลดลงจาก 36.53 เป็น 30.13 โดยน้ำหนัก

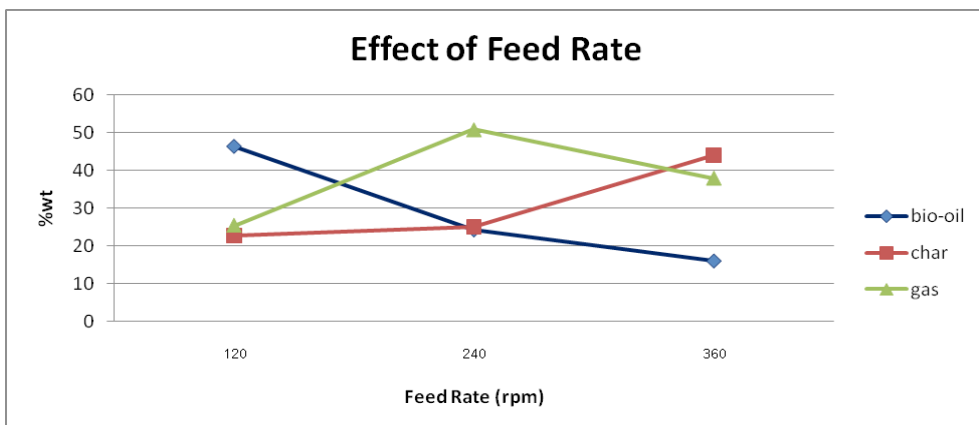


ภาพที่ 5 อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซ์เศษไม้กระถินณรงค์

**อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อน้ำมันชีวภาพ**

ภาพที่ 5 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิส เศษไม้กระถินณรงค์ โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากการไพโรไลซิสที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ ซึ่งพออธิบายได้จากการแตกสลายเชิงความร้อนในช่วงแรกทำให้เกิดการแตกสลายของสารประกอบระเหยได้และการสลายตัวเชิงความร้อนของสารประกอบจำพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีขนาดใหญ่ในเศษไม้กระถินณรงค์ไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงจากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่สอง (Secondary Reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวเชิงความร้อนของสารประกอบจำพวกกลีซินิน ไปเป็นสารประกอบจำพวกฟีนอล และกรดคาร์บอกซิลิก จึงพบว่าในปฏิกิริยาการแตกสลายเชิงความร้อนของเศษไม้กระถินณรงค์มีปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและเมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดก็พบว่ามีความเป็นกรดค่อนข้างสูงจากการมีสารประกอบจำพวกกรดคาร์บอกซิลิก ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เข้ามามีบทบาทในปฏิกิริยาขั้นที่สอง นอกจากสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะไปลดพลังงานกระตุ้นทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไป

ข้างหน้าได้ดีแล้ว แมกนีเซียมออกไซด์ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกเบสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกกรดคาร์บอกซิลิก ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tani [11] ที่แสดงให้เห็นว่าแมกนีเซียมออกไซด์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและทำให้กรดคาร์บอกซิลิกแตกสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มมากขึ้น จาก 36.32 เป็น 49.08 โดยน้ำหนักเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 5 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของถ่านชาร์เกิดในปริมาณที่มากขึ้น โดยพอจะอธิบายได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นนอกจากจะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กแล้ว ยังอาจเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนจากการที่แมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก และทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กไปเป็นน้ำมันชีวภาพรวมถึงน้ำมันชาร์เป็นจำนวนมาก จึงทำให้น้ำมันชาร์เกาะอยู่บนผิวของถ่านชาร์



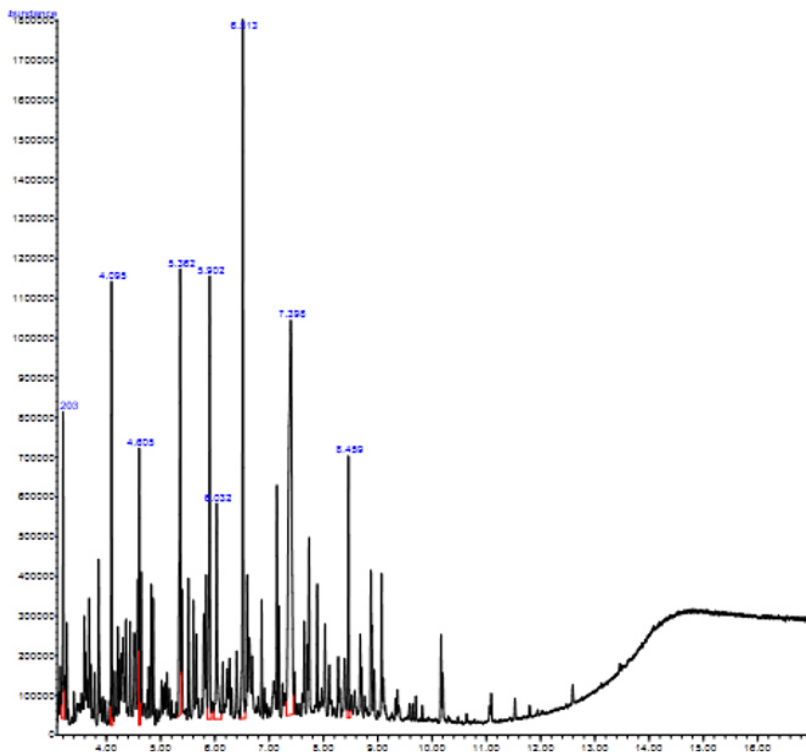
ภาพที่ 6 อิทธิพลของอัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์



### อิทธิพลของอัตราการป้อนสารในการ ทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อน้ำมันชีวภาพ

ภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของอัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซ์เศษไม้กระถินณรงค์ พบว่าการเพิ่มอัตราการป้อนสารจากกระบวนการไพโรไลซิสทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพลดลง โดยที่เมื่ออัตราการป้อนสารต่ำ อิทธิพลของความร้อนจึงถูกถ่ายโอนไปยังเศษไม้กระถินณรงค์ได้สัมผัสความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์นานขึ้น เกิดการแตกสลายเชิงความร้อนในปฏิกิริยาขั้นแรก และปฏิกิริยาขั้นที่สองได้อย่างทั่วถึง และเกิดการควบแน่นที่

หอคอยแน่นเป็นน้ำมันชีวภาพในปริมาณที่สูงขึ้น ในขณะที่อัตราการป้อนสารเพิ่ม ทำให้เศษไม้กระถินณรงค์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ได้รับการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนมายังเศษไม้ชีวมวลเกิดการไพโรไลซ์เป็นน้ำมันชีวภาพได้น้อย การแตกตัวเชิงความร้อนจึงมีประสิทธิภาพที่ลดลง เกิดปฏิกิริยาเร็วเกินไปที่จะได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว อีกทั้งส่งผลให้การกระจายตัวของสารได้ไม่ดี ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีแนวโน้มลดลงจาก 36.32 เป็น 15.99 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 7 โครมาโตแกรมน้ำมันชีวภาพจากเศษไม้กระถินณรงค์

### การวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ น้ำมันชีวภาพด้วย gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสของเศษไม้

กระถินณรงค์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟแมสสเปคโตรเมตรี แสดงในภาพประกอบ 7 พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ ประกอบไปด้วยกลุ่มฟีนอล คีโตน และสารประกอบจำพวกออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่

**ตารางที่ 3** การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (H-NMR)

Type of hydrogen	Chemical shift (ppm)	Bio-oil mole (% of total hydrogen)
Aromatic	6.649-6.820	6.99
Aliphatic adjacent to oxygen	3.824-4.761	111.40
Aliphatic adjacent to aromatic/alkene group	2.097-2.535	65.58
Other Aliphatic	1.075	8.96

**การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพด้วยเทคนิคโปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (H-NMR)**

**การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด**

น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์ไปหาค่าความเป็นกรดด้วยเครื่องไทเทรชันแบบอัตโนมัติ พบว่าให้ค่าความเป็นกรด 105.72 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม โดยพบว่ามีความเป็นกรดสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้กระถินณรงค์โดยไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาให้ค่าความเป็นกรดสูงถึง 150 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม สอดคล้องกับงานวิจัยของวารินทร์ หาญอุดมลาภยศ [11] พบว่าการดีออกซิเจนชันน้ำมันชีวภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสให้ค่าความเป็นกรดลดลงจาก 150 เป็น 38.4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

**สรุปและอภิปรายผล**

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสเศษไม้ชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพบนเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง โดยพบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลต่อการทดลอง ทั้งอุณหภูมิ อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนตัวพา อัตราการป้อนสาร และตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเกิดปฏิกิริยาใน

กระบวนการไพโรไลซิสเกิดได้ดี ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกสลายสายโซ่เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางที่มีขนาดเล็กลงให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพมากขึ้น และผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ลดลง นอกจากนี้อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนตัวพา มีผลต่อการแตกตัวของเศษไม้ชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพ โดยเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนแก๊สตัวพาจะทำให้เวลาทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์น้อยลง เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากผนังเครื่องปฏิกรณ์ไปยังเศษไม้ชีวมวล โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนได้ไม่ดี จึงพบว่าเมื่ออัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนตัวพาสูงขึ้น จึงทำให้น้ำมันชีวภาพลดน้อยลง แก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่สามารถควบแน่นได้ถูกนำออกไปจากเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส เช่นเดียวกับอัตราการป้อนเศษไม้ชีวมวล เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสาร ทำให้เศษไม้ชีวมวลมีเวลาสัมผัสในเครื่องปฏิกรณ์น้อย เกิดการแตกตัวลดลง จึงทำ ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มที่ลดลง และมีถ่านชาร์สูงขึ้นเล็กน้อย ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบสออกไซด์ที่โมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงซึ่งให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพสูงกว่าผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์และแก๊ส

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาคีวิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรีที่เอื้อเพื่อ และอำนวยความสะดวกของสถานที่สำหรับการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *สถิติพลังงานของประเทศไทยปี 2556*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [2] มนูญ ศิริวรรณ. (2555). ข้อเท็จจริงสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย. ใน *เอกสารประกอบการบรรยายการสัมมนาพลังงานทดแทน ทางรอด ทางเลือกประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- [3] สุพจน์ แหวนเพชร. (2552). *การผลิตไบโอออยล์จากผักตบชวาโดยการไพโรไลซิสแบบเร็ว*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เคมีเทคนิค). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] A. Veses; et al. (2014). Catalytic pyrolysis of wood biomass in an auger reactor using calcium-based catalysts. *Bioresource Technology*. (162): 250-258.
- [5] Danesh Mohan; et al. (2006). Pyrolysis of wood/Bio-oil for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuel*. (20): 848-889.
- [6] Melisa Bertero; et al. (2014). Characterization of the liquid products in the pyrolysis of residual chanar and palm fruit biomasses. *Fuel*. (116): 409-414.
- [7] S.I. Yang; M.S. Wu; and C.Y. Wu. (2014). Application of biomass fast pyrolysis part I: Pyrolysis characteristics and products. *Energy*. (66): 162-171.
- [8] Paul T. Williams; and Serpil Besler. (1996). The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renewable Energy*. (7): 233-250.
- [9] Zhiquan HU; et al. (2013). Bio-oil production through pyrolysis of blue-green algae blooms (BGAB): Product distribution and bio-oil characterization. *Energy*. (52): 119-125.
- [10] Tani H, Hasegawa T, Shimouchi M, Asami K, Fujimoto K. (2011). Selective catalytic decarboxy-cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon. *Catalysis Today*. (164): 410-414.
- [11] วารินทร์ หาญอุดมลาภยศ. (2555). *ดีออกซิเจนชั้นเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.