อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย

น.ส.อรปวีณ์ แสงเนตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MAXIMUM BLENDED RATIO OF PYROLYSIS OIL FOR THAI COMMERCIAL DIESEL STANDARD

Miss Onpawee Sangnate

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management

Inter-Department of Energy Technology and Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย
โดย	น.ส.อรปวีณ์ แสงเนตร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันต์ สัมปัตตะวนิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.เกษดา สุทธิอัมพร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อรปวีณ์ แสงเนตร : อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย. (MAXIMUM BLENDED RATIO OF PYROLYSIS OIL FOR THAI COMMERCIAL DIESEL STANDARD) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ

ปัญหาการนำเข้าน้ำมันปริมาณมากทำให้ประเทศไทยตื่นตัวต่อการหาเชื้อเพลิงทดแทน ขณะเดียวกันขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นอีกหนึ่งปัญหาหลักของประเทศ และมีแนวโน้มจะเพิ่มความรุนแรงขึ้น การนำขยะพลาสติกมาเปลี่ยนเป็นน้ำมันไพโรไลซิส เพื่อใช้ทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ดังนั้น งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว โดยทำการทดสอบตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสจาก 2 แหล่งที่มา ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟ และการกลั่น พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ที่ผลิตจากขยะพลาสติกสามารถผสมที่อัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทุกรายการ ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ที่ผลิตจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ยาง ขยะพลาสติก และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว สามารถผสมที่อัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 1 รายการ และเมื่อนำเอาน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 มาศึกษาต่อในเชิงปริมาณสูงสุดที่ผสมแทนน้ำมันดีเซลได้ พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 สามารถผสมได้สูงสุดที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร (1PO18) และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นที่สัดส่วนดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซล พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสต่ำกว่าราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 บาทต่อลิตร ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่งต่อไป

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6087589420 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: PYROLYSIS OIL, OIL IMPROVEMENT, WASTE TO ENERGY

Onpawee Sangnate : MAXIMUM BLENDED RATIO OF PYROLYSIS OIL FOR THAI COMMERCIAL DIESEL STANDARD. Advisor: Assoc. Prof. PRASERT REUBROYCHAROEN, Ph.D.

Due to increased oil imports, Thailand is taking steps to increase the use of renewable fuels. Meanwhile, non-biodegradable plastic wastes have created incremental problems due to their huge quantities. Converting plastic waste to pyrolysis oil becomes one of the potential alternatives for a replacement to import petroleum fuel. Therefore, the objectives of this research are to study the maximum blended ratio of pyrolysis oils which meet diesel fuel specification and also study the economic analysis of diesel fuel replacement. The performance of two different pyrolysis oils were investigated by testing 6 items based on ASTM testing standard which are specific gravity, viscosity, pour point, sulfur, flash point and distillation. The results show that the first pyrolysis oil (1PO) produced from plastic is able to blend at the greater ratio of 10% by volume which meets diesel specifications. However, the second pyrolysis oil (2PO) produced from various sources including tires, plastic and used lubricants can blend at the ratio less than 10% by volume. An investigation of the first pyrolysis oil was further observed to study in terms of diesel fuel replacement. The results show that the first pyrolysis oil can be maximum blended at 18% by volume (1PO18). For the economic analysis, by comparing the prices at the diesel oil ex-refinery. It was found that the pyrolysis oil is able to replace diesel with the cheaper price at 0.19 baht/liter comparing to diesel ex-refinery. Therefore, it is possible to further support pyrolysis oil as one of the promising alternative fuel in the transportation sector.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเรียบร้อย สมบูรณ์ ก็ด้วยความความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือและหาวิธีแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้น อันก่อให้เกิดประโยชน์แก่การศึกษาในครั้งนี้ รวมทั้งให้กำลังใจผู้ทำวิทยานิพนธ์ด้วยความเมตตา ตั้งแต่เริ่มการศึกษาค้นคว้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการ กรรมการ และ ดร.เกษดา สุทธิอัมพร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และเสียสละเวลาอันมีค่าในการสอบวิทยานิพนธ์นี้ นอกจากนี้ยังใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวก ช่วยเหลือด้านเอกสารและการจัดการด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณสิริชัย รัตนวราหะ ศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ดร.กฤติเดช กายพันธ์ บริษัท จีอาร์ดี เทค จำกัด ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก ตลอดจนห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ความกรุณา สนับสนุน อำนวยความสะดวก รวมทั้งอนุเคราะห์อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทดสอบ และขอขอบคุณกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียม กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษานี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา และขอขอบคุณ ครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาอย่างดียิ่ง จนประสบผลสำเร็จ

อรปวีณ์ แสงเนตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน 6

2.1.1 การเผาไหม้ 6

2.1.2 กระบวนลิควิแฟกชัน (Liquefaction) 7

2.1.3 กระบวนแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) 7

2.1.4 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) 7

2.2 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส 8

2.3 ข้อกำหนดและมาตรฐานการทดสอบน้ำมัน 13

2.4 โครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....17
3.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล....17
3.2 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น....18
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูล....19
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล....19
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซล....22
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซล....24
4.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล....26
4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น....28
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....33
5.1 สรุปผลการวิจัย....33
5.2 ข้อเสนอแนะ....34
ภาคผนวก ก. ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล....37
ภาคผนวก ข. โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง....40
ภาคผนวก ค. ต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสอ้างอิงและความอ่อนไหวด้านราคา....45
บรรณานุกรม....47
ประวัติผู้เขียน....51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วต่อปี ในปี พ.ศ. 2550-2559 1
รูปที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดและถูกนำมาใช้ประโยชน์ ในปี พ.ศ. 2551-2559 2
รูปที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสในประเทศไทย 10
รูปที่ 4 แนวโน้มค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิส.....11
รูปที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 20
รูปที่ 6 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 23
รูปที่ 7 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1.....23
รูปที่ 8 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 25
รูปที่ 9 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2.....25
รูปที่ 10 เปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส 32
รูปที่ 11 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม.....34
รูปที่ 12 ราคา ณ โรงกลั่นเฉลี่ยและความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิส.....46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

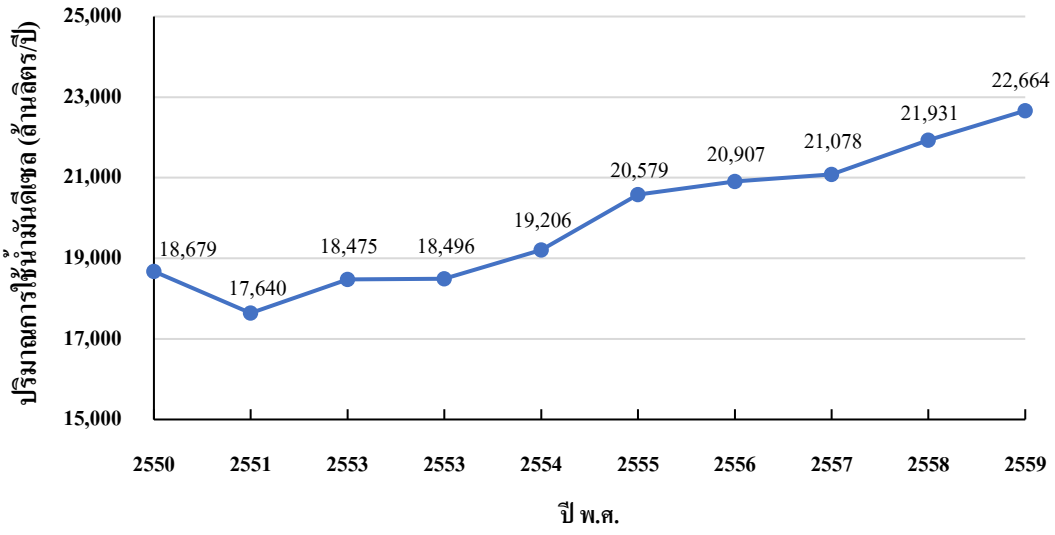
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส....9
ตารางที่ 2 สรุปวิธีทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา เทียบตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ....17
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล....19
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซล....22
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซล....24
ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า....26
ตารางที่ 7 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล....27
ตารางที่ 8 ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและราคาน้ำมันอ้างอิง....29
ตารางที่ 9 ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสและราคาน้ำมันอ้างอิง....30
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส....31
ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง....40
ตารางที่ 12 ผลการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นและความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิส....45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการจัดหาน้ำมันดิบเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 1,015 พันบาร์เรลต่อวัน การนำเข้าน้ำมันดิบคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 84 ของการจัดหาทั้งหมด โดยมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 22,664 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งมาจากการนำเข้า 828.9 ล้านลิตรต่อปี เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลตลอด 5 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ.2559 การใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.3 ส่วนการนำเข้าน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าเกือบ 6 เท่าตัว[1]



รูปที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วต่อปี ในปี พ.ศ. 2550-2559[1]

การจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศจึงเป็นหนทางหนึ่งในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ไบโอดีเซล (บี100) เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอัตราร้อยละ 6.6-7 โดยปริมาตร การใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 62.0 ล้านลิตรต่อวัน จึงประกอบไปด้วยน้ำมันดีเซลจากการกลั่นน้ำมันดิบ 58.6 ล้านลิตรต่อวัน และไบโอดีเซล 3.4 ล้านลิตรต่อวัน[2] อีกทั้งกระทรวงพลังงานยังได้ดำเนินโครงการศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนผสมไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว โดยจากการศึกษาพบว่ารถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่สามารถใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซล ในอัตราส่วนสูงสุดร้อยละ 20 โดยปริมาตร[3]

ตลอดจนได้ระบุให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตร (บี10) และอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร (บี20) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้สำหรับรถยนต์ที่ผู้ผลิตให้การรับรอง นอกจากเชื้อเพลิงทดแทนไบโอดีเซลแล้ว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ยังให้การสนับสนุนการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อเตรียมความพร้อมในการจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับประเทศไทยอีกด้วย[4]

พลาสติกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสังเคราะห์จากวัตถุดิบประเภทสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มีการนำพลาสติกมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือการนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ของอาหาร ยารักษาโรค เครื่องสำอาง เป็นต้น จากความต้องการในการใช้พลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ทางธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกเป็นจำนวนมาก สำหรับปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยปี พ.ศ.2559 มีประมาณ 27 ล้านตัน เป็นขยะที่กำจัดถูกวิธีด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล 9 ล้านตัน ขยะที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ 5 ล้านตัน และเป็นขยะที่กำจัดไม่ถูกวิธี 14 ล้านตัน

ปี พ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น (ล้านตัน)	ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดอย่างถูกต้อง		ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์	
		(ล้านตัน)	(ร้อยละ)	(ล้านตัน)	(ร้อยละ)
2551	23.93	5.69	24%	3.45	14%
2552	24.11	5.97	25%	3.86	16%
2553	24.22	5.77	24%	3.90	16%
2554	25.35	5.64	22%	4.10	16%
2555	24.73	5.83	24%	5.28	21%
2556	26.77	7.27	27%	5.15	19%
2557	26.19	7.88	30%	4.82	18%
2558	26.85	8.34	31%	4.94	18%
2559	27.06	9.57	35%	5.81	21%

รูปที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดและถูกนำมาใช้ประโยชน์ ในปี พ.ศ. 2551-2559[5]

ปัญหาขยะมูลฝอยจึงถือเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน[5] ดังนั้น การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนด้วยกระบวนการไพโรไลซิสถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดขยะพลาสติก โดยสามารถนำพลาสติกจำพวกพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีนพอลิสไตรีน ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกมาแปรรูปเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซล[6] ในอัตราการแปรรูป 500 ลิตรต่อตัน[7]

กระทรวงพลังงานได้ให้ความสนับสนุนการผลิตน้ำมันไพโรซิสหรือน้ำมันที่ได้จากการแปรรูปขยะพลาสติก โดยระบุไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่ง[8] ในปัจจุบันน้ำมันไพโรไลซิสสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลรอบต่ำได้ อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสยังคงมีลักษณะและคุณภาพไม่เป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2547 และประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 ลงวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562 เพื่อเป็นการสนับสนุนน้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซล และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลหมุนเร็วได้ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 ลงวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562 อีกทั้งยังเป็นการสร้างความมั่นคงทางพลังงานควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.2.1 ประเมินอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด

1.2.2. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล

1.2.3. ศึกษาแนวทางการใช้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 ลงวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562

1.3.2. ทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส ด้วยวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM ในห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3.3. ศึกษาน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วย พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน แหล่งที่มาจากศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว แหล่งที่มาจากบริษัท จีอาร์ดี เทค จำกัด

1.3.4. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล ที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์คุณภาพมาตรฐาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1. ศึกษาทฤษฎีและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้

1.4.2. ศึกษามาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน

1.4.3. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล จำนวน 5 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถันและจุดวาบไฟ

1.4.4. ศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่เหมาะสมในน้ำมันดีเซล ในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร โดยวิเคราะห์ผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟและการกลั่น

1.4.5. ศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุด จากช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร

1.4.6. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล

1.4.7. เผยแพร่งานวิจัย

1.4.8. สรุปผลงานวิจัย อุปสรรค ข้อเสนอแนะ จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. มีผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด

1.5.2. ลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมในภาคขนส่งของประเทศไทย

1.5.3. ลดปริมาณขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ

1.5.4. เป็นแนวทางสำหรับพัฒนาคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและกำหนดเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานได้

1.5.5. ส่งเสริมให้เกิดการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกในหลุมฝังกลบให้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเชิงพาณิชย์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน

การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ กระบวนการเชิงเคมีความร้อน (Thermochemical conversion processes) และกระบวนการเชิงเคมีชีวภาพ (Biochemical conversion processes) ซึ่งทั้งสองกระบวนการสามารถเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานได้ แต่กระบวนการเชิงเคมีความร้อนจะตอบสนองความต้องการในรูปแบบของพลังงานมากกว่ากระบวนการเชิงเคมีชีวภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ของเหลว นอกจากนี้กระบวนการเชิงเคมีความร้อนยังมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการต่ำกว่า และยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอีกด้วย โดยกระบวนการเชิงเคมีความร้อนสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท[9] ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง (Direct-Fired, Combustion) กระบวนการลิควิแฟกชัน (Liquefaction) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

2.1.1 การเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนในสถานะก๊าซ ซึ่งวัตถุที่เผาไหม้ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับออกซิเจนพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ[10] โดยรูปแบบการเผาไหม้ของชีวมวลสามารถแบ่งได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1) การเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงระเหย (Evaporation combustion) ชีวมวลที่เกิดจากการเผาไหม้รูปแบบนี้จะมีโมเลกุลขนาดเล็ก และสามารถระเหยได้เมื่อมีการให้ความร้อน โดยเมื่อมีการให้ความร้อนเกิดขึ้นชีวมวลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระบบเกิดเป็นเชื้อเพลิงที่ระเหยได้และเกิดการเผาไหม้

(2) การเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงสลายตัว (Decomposition combustion) เมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการสลายตัวได้เป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวจะมีความร้อนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นเปลวไฟและการเผาไหม้

(3) การเผาไหม้ที่พื้นผิว (Surface combustion) เป็นการเผาไหม้ของสารที่มีองค์ประกอบคาร์บอนที่สามารถระเหยได้โดยเกิดการสะสมกันอยู่บริเวณพื้นผิว เช่น ถ่านหิน ไม้ เป็นต้น ออกซิเจนหรือไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิด

การแพร่เข้าสู่รูพรุนที่มีอยู่บริเวณพื้นผิวของแข็งและเกิดเผาไหม้เมื่อมีการให้ความร้อนโดยปฏิกิริยาจะเกิดบริเวณพื้นผิว

(4) การเผาไหม้แบบช้าๆที่ไม่มีไฟแต่มีควัน (Smoldering combustion) เป็นการสลายตัวด้วยความร้อนที่มีอุณภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ชีวมวลจุดติดไฟจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบช้าๆ และไม่มีไฟ

2.1.2 กระบวนลิควิแฟกชัน (Liquefaction)

ลิควิแฟกชัน คือ การเผาไหม้ในสภาวะปราศจากอากาศภายในน้ำที่มีความดันสูงประมาณ 10 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ชีวมวลนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซ ของเหลวและของแข็ง นอกจากนี้ลิควิแฟกชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำ วัตถุดิบจึงไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบแห้งก็สามารถทำปฏิกิริยาได้ ซึ่งเหมาะสำหรับชีวมวลที่มีองค์ประกอบของความชื้นสูง เช่น ชีวมวลจากแหล่งน้ำ ขยะ และกากอินทรีย์อื่นๆ เป็นต้น

2.1.3 กระบวนแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนชีวมวลซึ่งเป็นของแข็งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซหรือเชื้อเพลิงก๊าซ โดยให้ความร้อนสูงถึง 700 องศาเซลเซียส ผ่านสารตัวกลาง (Gasifier agent) เช่น อากาศ ละอองน้ำหรือออกซิเจนที่มีจำนวนจำกัด ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากการเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบูรณ์ แต่การเกิดแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนรูปชีวมวลให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) ซึ่งผลิตภัณฑ์ก๊าซที่ได้ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่มีคุณภาพและง่ายต่อการใช้งาน รวมไปถึงสารตั้งต้นหลักในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนแตกตัวหรือแตกสลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะปราศจากออกซิเจน โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามสถานะ คือ ผลิตภัณฑ์ก๊าซ ผลิตภัณฑ์ของเหลวและผลิตภัณฑ์ของแข็ง ผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการไพโรไลซิส คือ ผลิตภัณฑ์ของเหลวหรือที่เรียกว่า น้ำมันไพโรไลซิส โดยอัตราส่วนและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยตรง ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการกลั่นหรือกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดเตาปฏิกรณ์ และสภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิส เป็นต้น

ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบและในขั้นตอนที่สองเป็นการแตกตัวของวัตถุดิบโดยองค์ประกอบที่สามารถแตกตัวได้ในสภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิสจะเกิดการแตกตัวออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง[11] เนื่องจากได้รับพลังงานที่สูงกว่าพลังงานที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสด้วย ถ้าให้พลังงานความร้อนในการไพโรไลซิสมากเกินไปจะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน ซึ่งการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นเริ่มต้น ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ และขั้นหยุดปฏิกิริยา โดยในขั้นเริ่มต้น ความร้อนจะทำให้พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมแตกออกจากกันและเกิดเป็นอนุมูลอิสระ ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ อนุมูลอิสระจากขั้นเริ่มต้นจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น อาจเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหม่โมเลกุลเดียวหรือเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล[12]

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมัน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก และได้สัดส่วนน้ำมันในปริมาณที่สูง[13] โดยในกระบวนการไพโรไลซิส มีการควบคุมอุณหภูมิและความดัน อาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างพลาสติก (Depolymerization) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงเหลว ที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ได้ โดยหากต้องการผลิตภัณฑ์หลักเป็นของเหลวจะต้องทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) ซึ่งมีอัตราการให้ความร้อนสูงมากกว่า 1,000 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิระดับปานกลางและระยะเวลาที่ใช้ในการไพโรไลซิสสั้น แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์หลักเป็นถ่านชาร์จะต้องทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) ซึ่งมีอัตราการให้ความร้อนต่ำ อุณหภูมิระดับปานกลางและระยะเวลาที่ใช้ในการไพโรไลซิสนาน[14]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส

น้ำมันไพโรไลซิสประกอบไปด้วยน้ำมันที่มีความแตกต่างกันหลายกลุ่มคล้ายน้ำมันดิบ กล่าวคือ มีส่วนผสมของน้ำมันเบารวมอยู่กับน้ำมันหนัก เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันหนัก โดยปกติค่าอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันเบนซินอยู่ในช่วง 35-185 องศาเซลเซียส น้ำมันดีเซลอยู่ในช่วง 180-350 องศาเซลเซียส และน้ำมันหนักอยู่ในช่วง 350-538 องศาเซลเซียส[15] ในขณะที่ค่าอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 82-352 องศาเซลเซียส[16] ครอบคลุมอุณหภูมิการกลั่นทั้งน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซลและน้ำมันหนัก อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาจำนวนคาร์บอนอะตอมของน้ำมันไพโรไลซิสที่สลายตัว ณ ช่วงอุณหภูมิ

200-240 องศาเซลเซียส และ 240-360 องศาเซลเซียส พบว่ามีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง C4-C12 และ C9-C27 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับจำนวนคาร์บอนอะตอมของน้ำมันเบนซินที่อยู่ในช่วง C5-C12 และน้ำมันดีเซลที่อยู่ในช่วง C13-C22 ในขณะที่น้ำมันไพโรไลซิสที่เกิดการควบแน่นต่อเนื่องมีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ C3-C27 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไพโรไลซิสมีองค์ประกอบของน้ำมันเบารวมอยู่กับน้ำมันหนัก นอกจากนี้คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสดังกล่าวยังมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1 โดยน้ำมันไพโรไลซิสที่สลายตัว ณ ช่วงอุณหภูมิ 200-240 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันเบนซินและช่วงอุณหภูมิ 240-360 องศาเซลเซียสมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซล[17]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส[17]

รายการทดสอบ	**น้ำมันไพโรไลซิส**	**น้ำมันไพโรไลซิสช่วงอุณหภูมิ**	
		200-240 °C	**240-360 °C**
API gravity @ 60°F	49.7	59.0	44.8
Research octane number	N/A	79.2	N/A
Calculated cetane index	N/A	42.3	58.3
IBP recovery ; °C (°F)	43.1 (109.5)	41.5 (106.7)[1]	171.8 (341.2)
10% recovery ; °C (°F)	119.0 (246.2)	74.7 (166.4)[1]	201.6 (394.8)
50% recovery ; °C (°F)	253.1 (487.5)	127.8 (262.0)[1]	247.2 (476.9)
90% recovery ; °C (°F)	N/A	170.2 (338.4)[1]	302.4 (576.4)
FBP recovery ; °C (°F)	334.2 (633.5)	222.1 (431.7)[1]	329.9 (625.9)
Corrected flash point ; °C (°F)	< room temperature	N/A	28 (80)
Kinematic viscosity at 100°F (cSt)	N/A	N/A	2.187

หมายเหตุ [1] อุณหภูมิการระเหยโดยปริมาตร (% evaporated)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกลั่นหรือปรับปรุงคุณภาพในประเทศไทย อรรถวิทย์ สากระจาย[18] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบไว้ จำนวน 6 แหล่ง และอาจจำแนกน้ำมันไพโรไลซิสได้เป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและน้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3

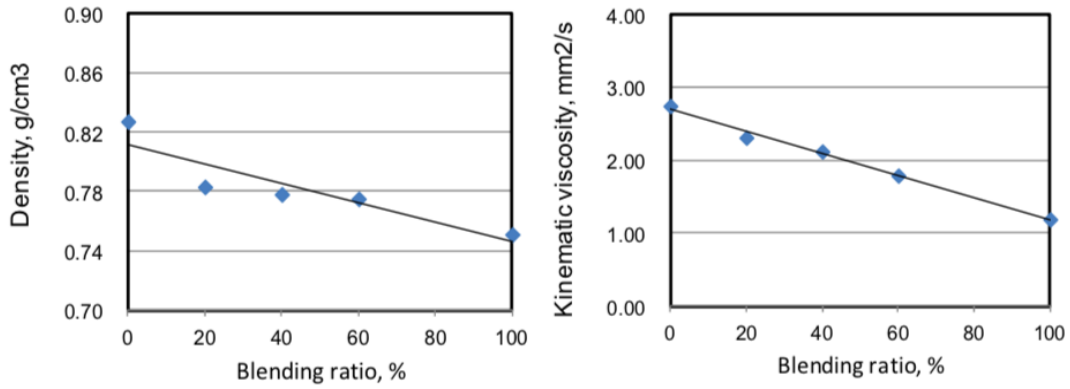
ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ	PO1	PO2	PO3	PO4	PO5	PO6
ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D4294	-	0.013	0.061	-	0.516	0.015
ความถ่วง จำเพาะ ณ อุณหภูมิ15.6 °ซ	ASTM D1298	0.795	0.805	0.792	0.804	0.835	0.779
ความหนืด ณ 50 °ซ (เซนติสโตกส์)	ASTM D445	1.696	1.178	1.097	1.985	1.884	1.299
จุดวาบไฟ (°ซ)	ASTM D93	22	23	22	28	23	22
จุดไหลเท (°ซ)	ASTM D97	20	24	0	0	-15	18
ปริมาณความร้อน (แคลอรี่/กรัม)	ASTM D240	11319	11189	11086	11285	10598	11256
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D482	0	0	0	0.004	0	0
ตะกอนและน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D1796	0.025	0.025	0.05	0.225	0.05	0.1
สี	ASTM D1500	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสในประเทศไทย[18]

จากคุณสมบัติข้างต้นอาจจำแนกน้ำมันไพโรไลซิสได้เป็น 2 กลุ่มคือ น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก และน้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ โดยทั่วไปการไพโรไลซิสพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพลาสติกและสภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิสด้วย พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในการไพโรไลซิส เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้สูง หาได้ง่าย น้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกทั้งสองชนิดเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงทำให้น้ำมันที่ได้มีค่าจุดไหลเทค่อนข้างสูง สำหรับการไพโรไลซิสยางรถยนต์จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันประมาณร้อยละ 38-56 ทั้งนี้น้ำมันที่ได้จะมีสารประกอบอะโรมาติกสูงและมีปริมาณกำมะถันสูงกว่าน้ำมันที่ได้จากขยะพลาสติก เนื่องจากยางรถยนต์มีกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพที่เรียกว่า กระบวนการวัลคาไนเซชันซึ่งใช้สารกำมะถันในการทำปฏิกิริยา[19] นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาค่ากลางคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2547 แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสดังกล่าว ยังมีคุณภาพไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยทั่วไปน้ำมันไพโรไลซิสมีสัดส่วนน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 60 น้ำมันเบนซินร้อยละ 20 และอื่นๆ

ร้อยละ 20 [13] ทั้งนี้หากผ่านกระบวนการกลั่นหรือปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันไพโรไลซิสอาจสามารถกำหนดเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานและนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก เนื่องจากมีปริมาณกำมะถันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลไม่มากนัก โดยมาตรฐานกำหนดให้น้ำมันดีเซลมีปริมาณกำมะถันได้ไม่เกิน 0.005 ร้อยละโดยน้ำหนัก ในขณะที่น้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์มีปริมาณกำมะถันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานถึง 100 เท่า

การผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำดีเซลเป็นอีกหนึ่งวิธีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ การศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปเป็นการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานกับเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดมีความสัมพันธ์กับการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยค่าความหนาแน่นบ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากจะให้พลังงานความร้อนมาก ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นยังเป็นตัวแปรสำคัญในระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลอีกด้วย ส่วนค่าความหนืดบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการไหลของน้ำมันและการฉีดเป็นฝอยในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์และบอกความสามารถในการหล่อลื่นของน้ำมันอีกด้วย จากการศึกษาคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสของ Lee และคณะ[20] พบว่ามีค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิส 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่ำกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนืดของ น้ำมันไพโรไลซิส 1.10 เซนติสโตกส์ ต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล 2.74 เซนติสโตกส์ เมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันผสมลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แนวโน้มค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิส[20]

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาสรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลด้วยน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 20 และ 40 โดยปริมาตร พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสที่อัตราส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร ทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 13 ที่ความเร็วรอบสูงสุด 2,450 รอบต่อนาที และลดลงร้อยละ 17 ที่ความเร็วรอบสูงสุด 3,500 รอบต่อนาที แต่อย่างไรก็ตามแรงบิดที่ลดลงนี้ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนน้ำไพโรไลซิสที่อัตราส่วนร้อยละ 40 โดยปริมาตร ทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 37 ที่ความเร็วรอบสูงสุด 2,450 รอบต่อนาที แรงบิดลดลงร้อยละ 57 ที่ความเร็วรอบสูงสุด 3,500 รอบต่อนาที และเครื่องยนต์สามารถทำงานได้เพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไพโรไลซิสที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 20 สามารถใช้ได้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านความเร็วรอบ ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 40 สามารถใช้ได้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำกว่า 2,450 รอบต่อนาที

สำหรับการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลเพื่อศึกษาคุณสมบัติเปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพนั้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงของแต่ละงานวิจัย Miteva และคณะ[21] ได้ทำการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนร้อยละ 70:30 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีค่าความหนาแน่น 0.79 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนืด 1.19 เซนติสโตกส์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 1 3 6 10 20 40 50 และ 75 โดยปริมาตร เปรียบเทียบมาตรฐาน EN 590 เมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันผสมลดลง ค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสมากกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร ค่าความหนืดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 40 โดยปริมาตร และที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร ค่าความหนืดมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำในประเทศไทย วราคม วงศ์ชัย[22] ได้ทำการไพโรไลซิสพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 600-700 องศาเซลเซียส น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.789 ค่าความหนืด 5.92 เซนติสโตกส์ ตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐาน ค่าจุดวาบไฟต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพมาตรฐาน วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยปริมาตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) เมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าจุดวาบไฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของน้ำมันผสมลดลงในขณะที่ค่าความหนืดสูงขึ้น คุณสมบัติทั้ง 3 รายการของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลผ่านเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานในทุกอัตราส่วน จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลสำหรับแต่ละงานวิจัยนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสเป็นปัจจัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสสามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้ในอัตราส่วนเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 40 โดยปริมาตร เมื่อผสมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันผสมและการทำงานของเครื่องยนต์

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากน้ำมันไพโรไลซิสยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอน สืบเนื่องมาจากปัญหาด้านคุณภาพน้ำมันที่มีองค์ประกอบของน้ำมันหลายชนิดรวมกันอยู่คล้ายน้ำมันดิบส่งผลทำให้ไม่สามารถกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้หากผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วน น้ำมันที่ได้จะสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องให้ความร้อนได้โดยตรง สำหรับน้ำมันไพโรไลซิสที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์นั้นจะต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพหรือผสมกับน้ำมันชนิดอื่นก่อนจึงจะนำไปใช้ได้[14] ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร โดยทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 [23] รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก เพื่อผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่งได้

2.3 ข้อกำหนดและมาตรฐานการทดสอบน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงโดยทั่วไปนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมีและกายภาพ เช่น การทดสอบหาปริมาณกำมะถัน การทดสอบหาจุดวาบไฟ เป็นต้น และการทดสอบคุณสมบัติการทำงานกับเครื่องยนต์ เช่น การทดสอบค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน การทดสอบค่าซีเทนในน้ำมันดีเซล เป็นต้น คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถทดสอบได้ด้วยเครื่องมือที่อาศัยหลักการทางวิทยาศาตร์โดยตรงนั้นมีอยู่ไม่กี่รายการ เช่น ปริมาณกำมะถัน ค่าความหนืด เป็นต้น[14] สำหรับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงรายการอื่นนั้นเป็นการกำหนดวิธีการทดสอบที่เป็นมาตรฐานขึ้นของ American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ European Standards Organization (CEN) โดยในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบเฉพาะคุณสมบัติเชิงเคมีและกายภาพ ดังนี้

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) หรือความหนาแน่น (Density) เป็นดัชนีที่จำเป็นสำหรับการแปลงปริมาตร ณ อุณหภูมิทดสอบเป็นปริมาตร ณ อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการซื้อขาย อีกทั้งยังใช้ในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของเหลว เมื่อใช้พิจารณาร่วมกับคุณสมบัติอื่นๆ โดยความถ่วงจำเพาะจะสามารถบ่งบอกองค์ประกอบของน้ำมันและความเหมาะสมในการใช้งานของน้ำมันนั้นได้ นอกจากนี้ค่าความถ่วงจำเพาะยังมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น (Density) ที่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อการจุดติดของเครื่องยนต์น้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจน โดยจะส่งผลต่อประสิทธิการทำงานของเครื่องยนต์และยังเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลอีกด้วย วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่นสัมพัทธ์ ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D1298 โดยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) วิธีทดสอบ ASTM D4052 โดย Digital Density Meter

ความหนืด (Kinematic Viscosity) เป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการไหลตัวของน้ำมัน การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้และบ่งบอกถึงความสามารถในการหล่อลื่นอีกด้วย จึงมีความสำคัญอย่างมากในการนำน้ำมันไปใช้งานอย่างเหมาะสม วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าความหนืด ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D445 หรือ ISO DIS 3104 โดย Viscometer ซึ่งเป็นการวัดเวลาในการไหลของของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วง ทั้งนี้ค่าความหนืดมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่อนข้างมาก ดังนั้น การทดสอบจะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิเป็นอย่างดี การรายงานผลการทดสอบจะต้องกำกับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบเสมอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุดวาบไฟ (Flash Point) เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดเปลวไฟเหนือผิวน้ำมัน ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงสามารถในการระเหยและจุดติดไฟของสารระเหยง่ายได้ โดยค่าจุดวาบไฟมีผลต่อความปลอดภัยในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บน้ำมัน วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าจุดวาบไฟ ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D93 หรือ ISO 2719 โดย Pensky-Martens Closed Cup Tester สำหรับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล (บี100) และน้ำมันเตา วิธีทดสอบ ASTM D92 หรือ ISO 2592 โดย Cleveland Open Cup Tester สำหรับน้ำมันหล่อลื่น

จุดไหลเท (Pour Point) เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการนำเอาน้ำมันไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ไม่สามารถนำเอาน้ำมันไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดไหลเทได้ เนื่องจากน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดไหลเทนั้นจะเกิดไข (Wax) อุดตันตัวกรองในเครื่องยนต์ได้ วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการ

หาค่าจุดไหลเท ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D97 สำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม หรือ ASTM D5853 สำหรับน้ำมันดิบ โดย Pour Point Tester

กำมะถัน (Sulphur) ปริมาณกำมะถันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมัน เมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่มีความเป็นพิษ โดยจะถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่ากำมะถันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเทคนิคการตรวจวัด ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D2622 โดยเทคนิค Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry หรือ ASTM D4294 โดยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry หรือ ASTM D5453 โดยเทคนิค Ultraviolet Fluorescence

การกลั่น (Distillation) เป็นดัชนีที่ใช้ในการพิจารณาการระเหยตัวของน้ำมันที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่ออุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีค่าสูงจะส่งผลทำให้การจุดติดของเครื่องยนต์ทำได้ยาก เมื่ออุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ร้อยละ 90 โดยปริมาตรและจุดเดือดสุดท้ายมีค่าต่ำ จะช่วยลดการเกิดเถ้าและสิ่งสกปรกของน้ำมันได้ วิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าการกลั่น ได้แก่ วิธีทดสอบ ASTM D86 เป็นการกลั่นแบบความดันบรรยากาศปกติ หรือ ASTM D1160 เป็นการกลั่นแบบลดความดันบรรยากาศสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและไบโอดีเซล

2.4 โครงสร้างราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย

ราคาน้ำมันสำเร็จรูปของประเทศไทยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ต้นทุนเนื้อน้ำมัน ค่าภาษีและกองทุน และค่าการตลาด โดยทั่วไปต้นทุนเนื้อน้ำมันหรือราคาหน้าโรงกลั่นมีสัดส่วนต่อราคามากกว่าร้อยละ 65 มีองค์ประกอบย่อย 2 ส่วน คือ ราคาต้นทุนน้ำมันดิบและค่าการกลั่น จึงเป็นต้นทุนที่สะท้อนราคาการนำเข้าน้ำมันดิบจากตลาดโลก ทั้งนี้คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.) ได้มีมติเห็นชอบให้อ้างอิงราคาน้ำมันสำเร็จรูปในตลาดสิงคโปร์ นอกจากต้นทุนเนื้อน้ำมันแล้ว ยังมีค่าภาษีและกองทุนที่จัดเก็บตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ ภาษีสรรพสามิต ภาษีมหาดไทย (ภาษีเทศบาล) กองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและภาษีมูลค่าเพิ่มของราคาขายส่ง โดยค่าภาษีและกองทุนมีสัดส่วนต่อราคาประมาณร้อยละ 28 และส่วนสุดท้ายค่าการตลาด เป็นผลตอบแทนของผู้ประกอบการที่ได้รับจากการทำธุรกิจค้าปลีกน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งระบบ ซึ่งรวมถึงผลตอบแทนของการลงทุนก่อสร้างคลังน้ำมัน ระบบขนส่ง การก่อสร้างสถานีบริการ การส่งเสริมการขาย และค่าใช้จ่ายในการดำเนินธุรกิจทุกอย่างรวมถึงค่าใช้จ่ายบุคลากร[24] โดยค่าการตลาดรวมภาษีมูลค่าเพิ่มของค่าการตลาด มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 6-7 ของราคาน้ำมัน[25]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.) ได้มีมติเห็นชอบหลักเกณฑ์การคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว[26] ดังนี้

$$\text{ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล} = [(1-\text{x})(\text{MOPS} + \text{พรีเมียม})] + [\text{x}(\text{B100})]$$

โดยที่

x คือ ร้อยละโดยปริมาตรไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์อัตราเฉลี่ยของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

MOPS + พรีเมียม คือ (ราคา MOPS Gasoil 50 ppm + พรีเมียม) ที่ 600°F x อัตราแลกเปลี่ยน /158.984
โดยที่ พรีเมียม = ค่าขนส่ง World Scale ด้วยเรือขนาด LR1 แบบ Long Term Charter (สิงคโปร์ – ศรีราชา) + ค่าขนส่งทางท่อ (ศรีราชา – กรุงเทพฯ) + ค่าประกันภัยร้อยละ 0.084 ของ C&F + ค่าสูญเสียร้อยละ 0.3 ของ CIF + ค่าสำรองน้ำมัน เพื่อความมั่นคง 0.68 เหรียญสหรัฐฯ ต่อบาร์เรล

B100 คือ ราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันตามหลักเกณฑ์ที่คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงานเห็นชอบ

สำหรับงานวิจัยนี้ การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลจะทำการศึกษาเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส โดยคำนวนที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซล ซึ่งมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล

ตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน แหล่งที่มาจากศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี และน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว แหล่งที่มาจากบริษัท จีอาร์ดี เทค จำกัด และตัวอย่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ADO) จำนวน 1 ตัวอย่าง จากห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีตามรายการทดสอบที่เกี่ยวข้อง ในห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ด้วยเครื่องมือที่รองรับวิธีทดสอบตามมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าการทดสอบและค่าตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน[23] ดังแสดงในตารางที่ 2 และรายละเอียดเพิ่มเติมอื่นๆ ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 2 สรุปวิธีทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา เทียบตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ

รายการทดสอบ	งานวิจัยใช้ศึกษา		ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน	
	วิธีทดสอบ	เครื่องมือทดสอบ	วิธีทดสอบ	อัตราสูงต่ำ
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส	ASTM D4052	Density Meter ยี่ห้อ Anton Parr รุ่น DMA4500M	ASTM D1298	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	ASTM D445	Viscosity Meter ยี่ห้อ Cannon รุ่น CAV2100	ASTM D445	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ASTM D97	Cloud and Pour point Apparatus ยี่ห้อ Stanhope-Seta รุ่น 93531-7V	ASTM D97	ไม่สูงกว่า 10
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D5453	Elemental Analyzer ยี่ห้อ Antek รุ่น MultiTek	ASTM D2622	ไม่สูงกว่า 0.005
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ASTM D93	Flash Point Analyzer ยี่ห้อ Petrotest รุ่น PM4	ASTM D93	ไม่ต่ำกว่า 52
การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ASTM D86	Automatic Distillation ยี่ห้อ PAC รุ่น OptiDist	ASTM D86	ไม่สูงกว่า 357

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลดำเนินการทดสอบจำนวน 5 รายการ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถันและจุดวาบไฟ สำหรับการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันไพโรไลซิสทั้ง 2 ตัวอย่างในน้ำมันดีเซล ดำเนินการทดสอบในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร จากนั้นเลือกอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสข้างต้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทุกรายการทดสอบ เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสผสมสูงสุดในน้ำมันดีเซล โดยเพิ่มอัตราส่วนร้อยละ 1 โดยปริมาตร และดำเนินการทดสอบจำนวน 6 รายการ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟ และการกลั่น

3.2 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล ด้วยการเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส โดยใช้ข้อมูลราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ประจำเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานเผยแพร่[27] ทั้งนี้กำหนดให้ราคาอ้างอิงน้ำมันเตาชนิดที่ 1 แทนราคาน้ำมันไพโรไลซิส สำหรับการคำนวณราคาอ้างอิงหน้าโรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส โดยการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสตามสมการนี้ เป็นการคำนวณราคาแบบถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนเนื้อน้ำมันแต่ละชนิด

$$\text{ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันผสม} = [(1-x-y)(\text{MOPS} + \text{พรีเมียม})] + [x(\text{B100})] + [y(\text{PO})]$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่

$1-x-y$	คือ	สัดส่วนร้อยละโดยปริมาตร ของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
x	คือ	สัดส่วนร้อยละ 6.8 โดยปริมาตร ของน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์
y	คือ	สัดส่วนร้อยละโดยปริมาตร ของน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ต้องการศึกษา
MOPS + พรีเมียม	คือ	ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอ้างอิงราคากลางของตลาดภูมิภาคเอเชียรวมค่าขนส่ง
B100	คือ	ราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันตามหลักเกณฑ์ที่คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงานเห็นชอบ
PO	คือ	ราคาไพโรไลซิสโดยใช้ราคาอ้างอิงน้ำมันเตาชนิดที่ 1

บทที่ 4
ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสจำนวน 2 ตัวอย่าง และน้ำมันดีเซล จำนวน 5 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถันและจุดวาบไฟ ผลการทดสอบพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืดและค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไพโรไลซิสทั้งสองตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 0.80 และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลที่วัดได้ 0.85 ค่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 2.9 และ 2.6 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่วัดได้ 3.2 เซนติสโตกส์ ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 31 และต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลที่วัดได้ 63 องศาเซลเซียส ในขณะที่ค่ากำมะถันของน้ำมันไพโรไลซิสทั้งสองตัวอย่างสูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ค่ากำมะถันของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 0.012 และ 0.114 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ากำมะถันของน้ำมันดีเซลที่วัดได้ร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าจุดไหลเทของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 มีค่า 24 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลที่วัดได้ 0 องศาเซลเซียส แต่ค่าจุดไหลเทของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีค่า -27 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซล แสดงดังตารางที่ 3

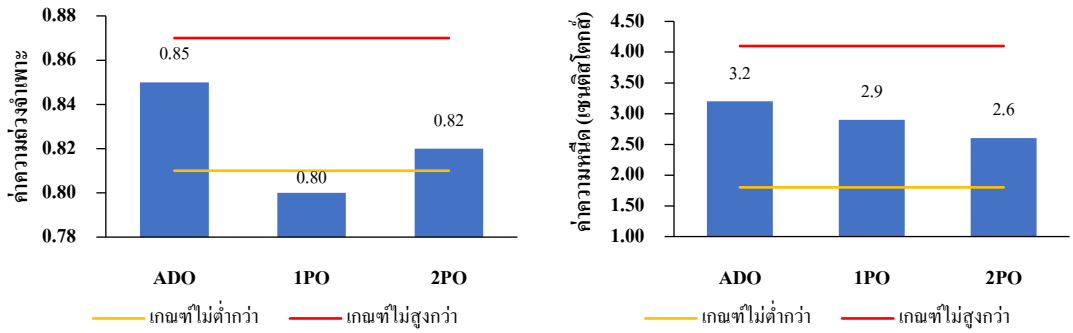
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล

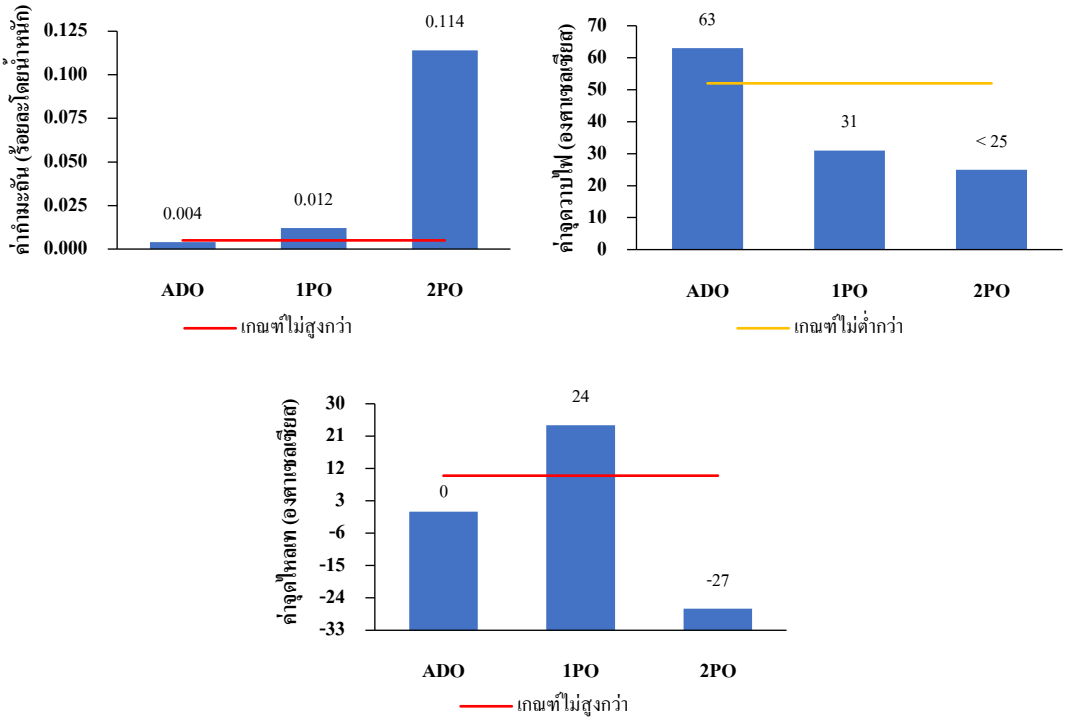
รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	ตัวอย่างน้ำมันดีเซล	น้ำมันไพโรไลซิส	
			ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87	0.85	0.80	0.82
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1	3.2	2.9	2.6
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	0	24	-27
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	0.004	0.012	0.114
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	63	31	< 25

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 2 รายการทดสอบ คือ ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความหนืด โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.80 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81 – 0.87 ค่าความหนืด 2.9 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8 – 4.1 เซนติสโตกส์ และมีคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 3 รายการทดสอบ คือ ค่าจุดไหลเทและค่ากำมะถันซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ในขณะที่ค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ โดยที่มีค่าจุดไหลเท 24 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.012 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก และค่าจุดวาบไฟ 31 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 3 รายการทดสอบ คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืดและค่าจุดไหลเท โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.82 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81 – 0.87 ค่าความหนืด 2.6 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8 – 4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท -27 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส และมีคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 2 รายการทดสอบ คือ ค่ากำมะถันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ในขณะที่ค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ โดยที่มีค่ากำมะถันร้อยละ 0.114 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก และค่าจุดวาบไฟต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ



รูปที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ (ต่อ)

คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสทั้ง 2 ตัวอย่าง แตกต่างกันตามวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส โดยน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ทำให้น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 มีค่ากำมะถันต่ำแต่มีค่าจุดไหลเทสูง เนื่องจากพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแล้ว มักประกอบไปด้วยโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว (Aliphatic compounds) ส่งผลให้มีความเป็นไขสูง ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ทำให้น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีค่ากำมะถันสูง เนื่องจากในกระบวนการผลิตยางมีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพยางที่เรียกว่า กระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ยางทำปฏิกิริยากับกำมะถันภายใต้อุณหภูมิสูง ทำให้กำมะถันสร้างพันธะโคเวเลนต์อยู่ระหว่างโครงสร้างของยาง สำหรับค่าจุดไหลเทของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั้น เนื่องจากวัตถุดิบยางมีโครงสร้างที่เป็นอะโรมาติกสูง ส่งผลให้มีความเป็นไขต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซล

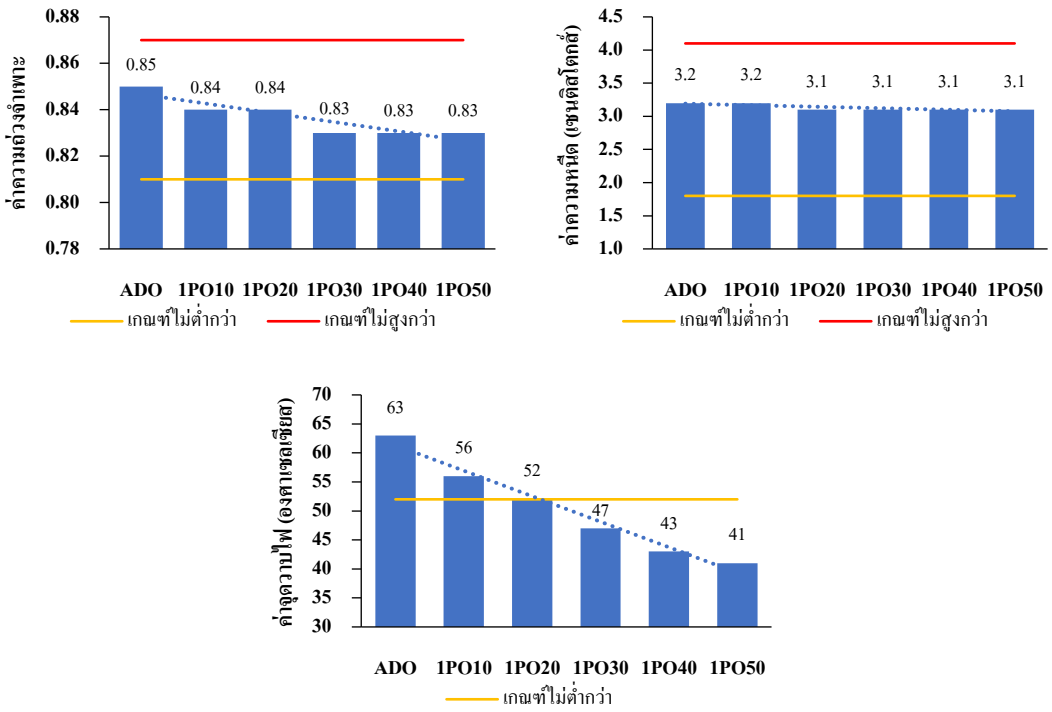
การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟและการกลั่น ผลการทดสอบสำหรับน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) พบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืดและค่าจุดวาบไฟของน้ำมันผสมลดลง ในขณะที่ค่าจุดไหลเท ค่ากำมะถันและค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตรของน้ำมันผสมสูงขึ้น

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน น้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีค่าจุดไหลเทและค่ากำมะถันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทั้ง 6 รายการทดสอบ โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81 – 0.87 ค่าความหนืด 3.2 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8 – 4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท 6 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก ค่าจุดวาบไฟ 56 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 354 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4

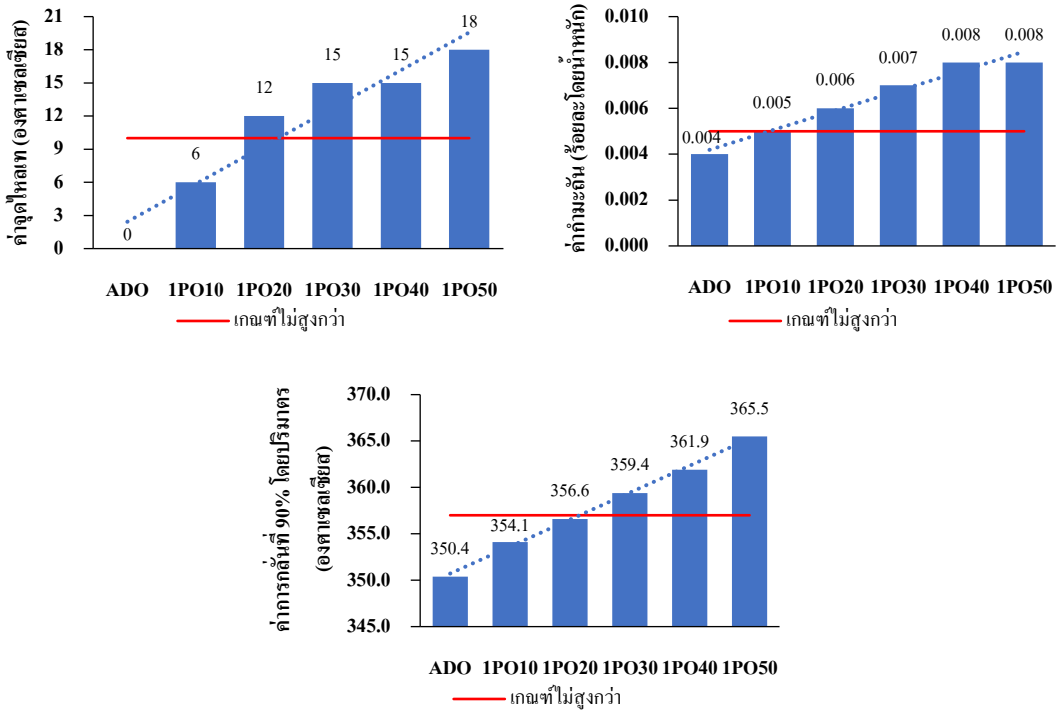
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	ADO	1PO10	1PO20	1PO30	1PO40	1PO50
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	0	6	12	15	15	18
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.008
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	63	56	52	47	43	41
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 357	350.4	354. 1	356.6	359.4	361.9	365.5



รูปที่ 6 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 7 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซล

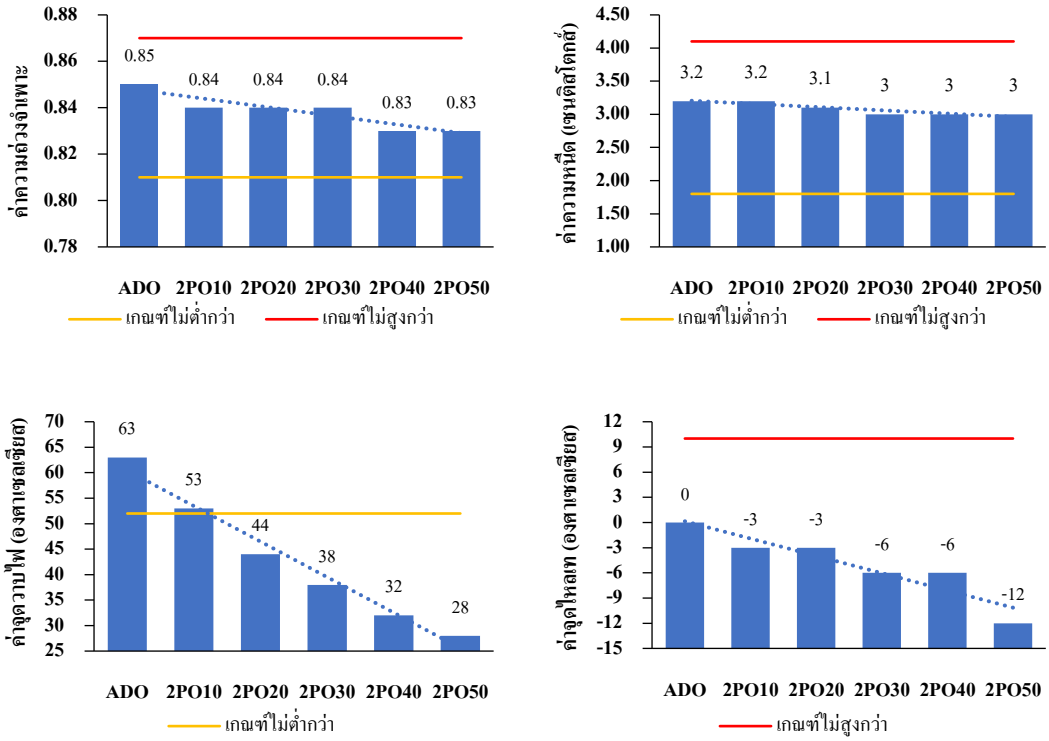
การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถันจุดวาบไฟและการกลั่น ผลการทดสอบสำหรับน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) พบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด ค่าจุดวาบไฟและค่าจุดไหลเทของน้ำมันผสมลดลง ในขณะที่ค่ากำมะถันและค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตรของน้ำมันผสมสูงขึ้น

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน น้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 1 รายการทดสอบ คือ ค่ากำมะถันที่ตรวจวัดได้ร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก และผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 5 รายการทดสอบ โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81 – 0.87 ค่าความหนืด 3.2 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8 – 4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท -3 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่าจุดวาบไฟ 53 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 353 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 5

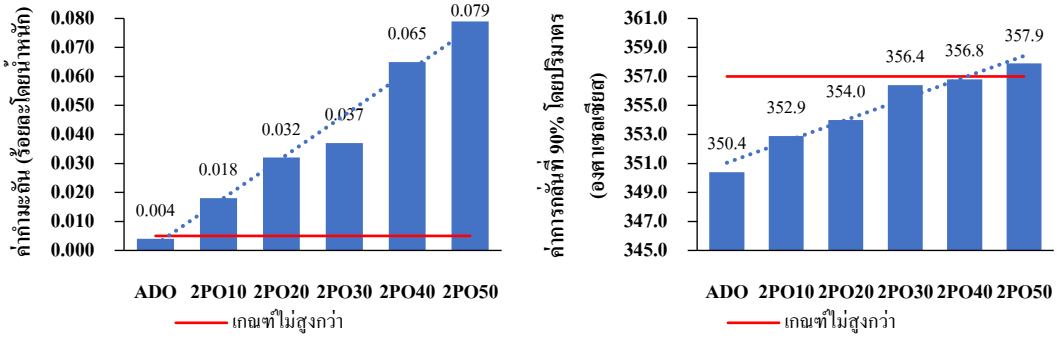
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	ADO	2PO10	2PO20	2PO30	2PO40	2PO50
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	0	-3	-3	-6	-6	-12
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	0.004	0.018	0.032	0.037	0.065	0.079
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	63	53	44	38	32	28
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 357	350.4	352.9	354.0	356.4	356.8	357.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 8 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 9 รายการทดสอบที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2

การปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร (2PO10) ซึ่งมีค่ากำมะถันสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ด้วยถ่านกัมมันต์ (Desulphurization by absorption) ในอัตราส่วนถ่านต่อน้ำมัน 2 ต่อ 5 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าค่ากำมะถันไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้สามารถปรับปรุงค่ากำมะถันด้วยกระบวนการ Hydrodesulfurization ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดกำมะถันด้วยการเติมก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิและความดันสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ นิกเกิลโมลิบดินัม/อะลูมินา

($NiMo/Al_2O_3$) และ โคบอลต์โมลิดิบนัม/อะลูมินา ($CoMo/Al_2O_3$) กำมะถันจะถูกกำจัดในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)[28] แม้ว่ากระบวนการดังกล่าวจะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่มีต้นทุนสูง ส่งผลให้น้ำมันไพโรไลซิสที่ผ่านการปรับปรุงค่ากำมะถันด้วยกระบวนนี้มีต้นทุนสูงขึ้น 2-4 บาทต่อลิตร

ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซล เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้า ในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 ลงวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562 พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ดังนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 ค่าความหนืด 3.2 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดไม่สูงกว่า 8.0 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท -3 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 16 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ค่าจุดวาบไฟ 53 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 353 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า

รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	2PO10	2PO20	2PO30	2PO40	2PO50
ความถ่วงจำเพาะ	-	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่สูงกว่า 8.0	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 16	-3	-3	-6	-6	-12
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 1.5	0.018	0.032	0.037	0.065	0.079
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	53	44	38	32	28
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	-	352.9	354.0	356.4	356.8	357.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตรข้างต้น อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทั้ง 6 รายการทดสอบคืออัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร ส่วนอัตราส่วน

น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทั้ง 6 รายการทดสอบ คืออัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร ผู้วิจัยเลือกน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตรแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร

การศึกษาน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตรแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร โดยทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 11 12 13 14 15 16 17 18 และ 19 โดยปริมาตร จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟและการกลั่น ผลการทดสอบพบว่าปริมาณสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้ และมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ทั้ง 6 รายการทดสอบ คือที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	1PO11	1PO12	1PO13	1PO14	1PO15	1PO16	1PO17	1PO18	1PO19
ความถ่วงจำเพาะ	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	6	6	6	6	9	9	9	9	12
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	56	56	55	55	54	54	54	52	52
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	354.0	354.8	355.0	354.8	355.3	356.0	355.7	355.4	356.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81 – 0.87 ค่าความหนืด 3.1 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8 – 4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท 9 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก ค่าจุดวาบไฟ 52 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 355 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส นอกจากนี้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร (1PO18) พบว่ามีปริมาณความร้อนใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณความร้อนของน้ำมันดีเซลวัดได้ 10,691 แคลอรี่ต่อกรัม และปริมาณความร้อนของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร วัดได้ 10,701 แคลอรี่ต่อกรัม

4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซล (สมการที่ 1) และราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร (สมการที่ 2) ใช้ข้อมูลราคาน้ำมันอ้างอิงประจำเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานเผยแพร่ โดยการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสตามสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เป็นการคำนวณราคาแบบถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนเนื้อน้ำมันแต่ละชนิด

สมการที่ 1 การคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล

$$\text{ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล} = [(1-\mathrm{x})(\mathrm{MOPS} + \text{พรีเมียม})] + [\mathrm{x}(\mathrm{B100})] \quad (1)$$

สมการที่ 2 การคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส

$$\text{ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันผสม} = [(1-\mathrm{x}-\mathrm{y})(\mathrm{MOPS} + \text{พรีเมียม})] + [\mathrm{x}(\mathrm{B100})] + [\mathrm{y}(\mathrm{PO})] \quad (2)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยที่

$1-\mathrm{x}-\mathrm{y}$	คือ	สัดส่วนร้อยละโดยปริมาตร ของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
x	คือ	สัดส่วนร้อยละ 6.8 โดยปริมาตร ของน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์
y	คือ	สัดส่วนร้อยละโดยปริมาตร ของน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
MOPS + พรีเมียม	คือ	ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอ้างอิงราคากลางของตลาดภูมิภาคเอเชียรวมค่าขนส่ง
B100	คือ	ราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
PO	คือ	ราคาไพโรไลซิสโดยใช้ราคาอ้างอิงน้ำมันเตาชนิดที่ 1

ผลการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอ้างอิงราคากลางของตลาดภูมิภาคเอเชีย (MOPS Gasoil 50 ppm + พรีเมียม) และราคาไบโอดีเซล แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและราคาน้ำมันอ้างอิง

วัน เดือน ปี	ราคาอ้างอิง (หน่วย : บาท/ลิตร)		
	ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล	MOPS + พรีเมียม	ราคาไบโอดีเซล
2 ม.ค. 62	14.0454	13.4767	21.84
3 ม.ค. 62	13.8376	13.2537	21.84
4 ม.ค. 62	13.9810	13.4076	21.84
7 ม.ค. 62	14.4448	13.9045	21.85
8 ม.ค. 62	14.8861	14.3780	21.85
9 ม.ค. 62	15.0065	14.5072	21.85
10 ม.ค. 62	15.1353	14.6454	21.85
11 ม.ค. 62	15.3555	14.8816	21.85
14 ม.ค. 62	15.6796	15.2294	21.85
15 ม.ค. 62	15.5391	15.0787	21.85
16 ม.ค. 62	15.3487	14.8744	21.85
17 ม.ค. 62	15.4054	14.9352	21.85
18 ม.ค. 62	15.3906	14.9193	21.85
21 ม.ค. 62	15.4717	15.0224	21.63
22 ม.ค. 62	15.5703	15.1282	21.63
23 ม.ค. 62	15.6083	15.1689	21.63
24 ม.ค. 62	15.5428	15.0987	21.63
25 ม.ค. 62	15.4012	14.9467	21.63
28 ม.ค. 62	15.4367	15.0053	21.35
29 ม.ค. 62	15.2617	14.8175	21.35
30 ม.ค. 62	15.1338	14.6803	21.35
31 ม.ค. 62	15.3125	14.8720	21.35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส ร้อยละ 18 โดยปริมาตร ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอ้างอิงราคากลางของตลาดภูมิภาคเอเชีย (MOPS Gasoil 50 ppm + พรีเมียม) ราคาไบโอดีเซล และราคาน้ำมันเตาชนิดที่ 1 แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสและราคาน้ำมันอ้างอิง

วัน เดือน ปี	ราคาอ้างอิง (หน่วย : บาท/ลิตร)			
	ราคา ณ โรงกลั่น น้ำมันดีเซลผสม น้ำมันไพโรไลซิส	MOPS + พรีเมียม	ราคาไบโอดีเซล	น้ำมันเตาชนิดที่ 1
2 ม.ค. 62	13.9058	13.4767	21.84	12.7011
3 ม.ค. 62	13.6895	13.2537	21.84	12.4308
4 ม.ค. 62	13.8157	13.4076	21.84	12.4891
7 ม.ค. 62	14.2776	13.9045	21.85	12.9755
8 ม.ค. 62	14.7094	14.3780	21.85	13.3962
9 ม.ค. 62	14.5066	14.5072	21.85	11.7298
10 ม.ค. 62	14.9500	14.6454	21.85	13.6156
11 ม.ค. 62	15.1774	14.8816	21.85	13.8923
14 ม.ค. 62	15.4827	15.2294	21.85	14.1356
15 ม.ค. 62	15.3307	15.0787	21.85	13.9204
16 ม.ค. 62	15.1268	14.8744	21.85	13.6412
17 ม.ค. 62	15.1932	14.9352	21.85	13.7561
18 ม.ค. 62	15.1865	14.9193	21.85	13.7853
21 ม.ค. 62	15.2739	15.0224	21.63	13.9234
22 ม.ค. 62	15.3916	15.1282	21.63	14.1351
23 ม.ค. 62	15.4461	15.1689	21.63	14.2679
24 ม.ค. 62	15.3882	15.0987	21.63	14.2398
25 ม.ค. 62	15.2554	14.9467	21.63	14.1372
28 ม.ค. 62	15.2804	15.0053	21.35	14.1367
29 ม.ค. 62	15.1134	14.8175	21.35	13.9938
30 ม.ค. 62	14.9892	14.6803	21.35	13.8769
31 ม.ค. 62	15.1633	14.8720	21.35	14.0430

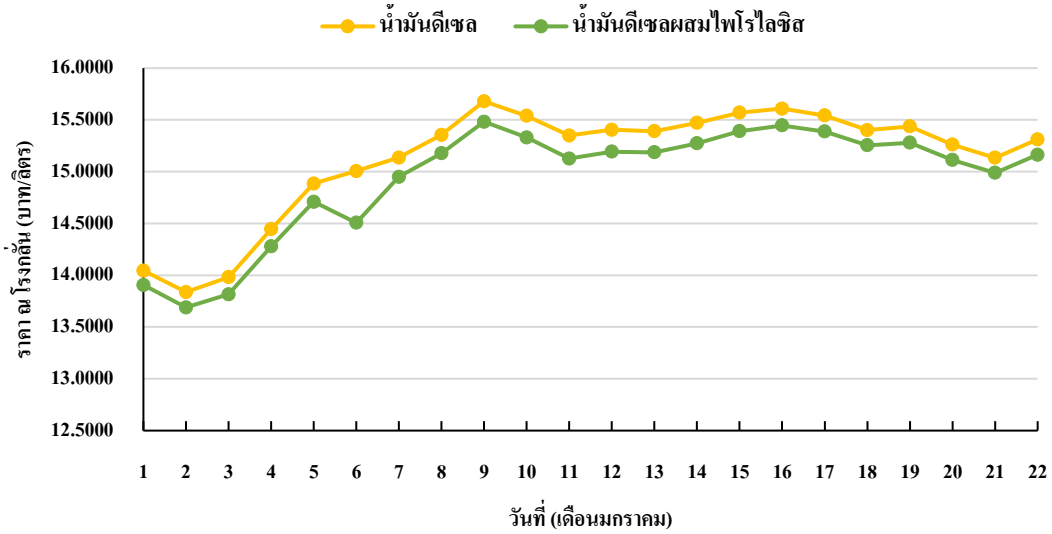
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 15.1270 บาทต่อลิตร ราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสเฉลี่ยอยู่ที่ 14.9388 บาทต่อลิตร ดังนั้น ราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส

วัน เดือน ปี	ราคา ณ โรงกลั่น (หน่วย : บาท/ลิตร)			
	น้ำมันดีเซล	น้ำมันดีเซลผสมไพโรไลซิส	เปลี่ยนแปลง	ร้อยละเปลี่ยนแปลง
2 ม.ค. 62	14.0454	13.9058	-0.1396	-0.9940
3 ม.ค. 62	13.8376	13.6895	-0.1481	-1.0704
4 ม.ค. 62	13.9810	13.8157	-0.1653	-1.1825
7 ม.ค. 62	14.4448	14.2776	-0.1672	-1.1577
8 ม.ค. 62	14.8861	14.7094	-0.1767	-1.1872
9 ม.ค. 62	15.0065	14.5066	-0.4999	-3.3314
10 ม.ค. 62	15.1353	14.9500	-0.1854	-1.2247
11 ม.ค. 62	15.3555	15.1774	-0.1781	-1.1596
14 ม.ค. 62	15.6796	15.4827	-0.1969	-1.2557
15 ม.ค. 62	15.5391	15.3307	-0.2085	-1.3418
16 ม.ค. 62	15.3487	15.1268	-0.2220	-1.4462
17 ม.ค. 62	15.4054	15.1932	-0.2122	-1.3776
18 ม.ค. 62	15.3906	15.1865	-0.2041	-1.3262
21 ม.ค. 62	15.4717	15.2739	-0.1978	-1.2786
22 ม.ค. 62	15.5703	15.3916	-0.1788	-1.1480
23 ม.ค. 62	15.6083	15.4461	-0.1622	-1.0390
24 ม.ค. 62	15.5428	15.3882	-0.1546	-0.9947
25 ม.ค. 62	15.4012	15.2554	-0.1457	-0.9461
28 ม.ค. 62	15.4367	15.2804	-0.1563	-1.0128
29 ม.ค. 62	15.2617	15.1134	-0.1483	-0.9715
30 ม.ค. 62	15.1338	14.9892	-0.1446	-0.9555
31 ม.ค. 62	15.3125	15.1633	-0.1492	-0.9745
เฉลี่ย	**15.1270**	**14.9388**	**-0.1883**	**-1.2444**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 10 เปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิส

ในปี พ.ศ.2559 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเฉลี่ย 62 ล้านลิตรต่อวัน ประกอบไปด้วยน้ำมันดีเซลพื้นฐาน 58.6 ล้านลิตรต่อวัน และไบโอดีเซล (บี100) 3.4 ล้านลิตรต่อวัน จากการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้ในอัตราส่วนร้อยละ 18 โดยปริมาตร ส่งผลให้ปริมาณความต้องการน้ำมันดีเซลพื้นฐานลดลง 11.3 ล้านลิตรต่อวัน ทั้งนี้อัตราส่วนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันไพโรไลซิสอยู่ที่ 500 ลิตรต่อตัน ส่งผลให้ขยะพลาสติกลดลง 22,600 ตันต่อวัน จึงถือเป็นการสร้างความมั่นคงทางพลังงานควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติของอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 พบว่าอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คือ ที่อัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร แต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในขณะที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คือ ที่อัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร

อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่ผสมใน 2 ตัวอย่าง แตกต่างกันตามวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส โดยน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว วัตถุดิบที่แตกต่างกันดังกล่าวส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำมันผสม ทำให้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีค่ากำมะถันสูง เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ที่ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร (2PO10) ด้วยถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนถ่านต่อน้ำมัน 2 ต่อ 5 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าค่ากำมะถันไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้สามารถปรับปรุงค่ากำมะถันด้วยกระบวนการ Hydrodesulfurization ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดกำมะถันด้วยการเติมก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นนิยมกันอย่างแพร่หลาย แต่มีต้นทุนสูงส่งผลให้น้ำมันไพโรไลซิสที่ผ่านการปรับปรุงค่ากำมะถันด้วยกระบวนนี้มีต้นทุนสูงขึ้น 2-4 บาทต่อลิตร อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้า

ดังนั้น เพื่อศึกษาในเชิงปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสสูงสุดที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน และเพื่อศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) จึงถูกนำมาศึกษาต่อ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 11 12 13 14 15 16 17 18 และ 19 โดยปริมาตร พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสผสม

น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร (1PO18) มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานทั้ง 6 รายการทดสอบ เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซล และราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 บาทต่อลิตร ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่งต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับแนวทางการใช้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยนำเสนอนโยบายเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการใช้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในภาคขนส่ง ดังนี้

1. การกำหนดมาตรฐานลักษณะและคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิส

เพื่อสร้างความมั่นใจแก่ผู้บริโภค โรงกลั่น และผู้ผลิต หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการกำหนดมาตรฐานสำหรับน้ำมันไพโรไลซิสโดยเฉพาะ เพื่อก่อให้เกิดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลให้การนำไปใช้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องอาจใช้มาตรฐานสากลเป็นแนวทางในการกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสสำหรับเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในภาคขนส่งของประเทศไทยได้ ตัวอย่างเช่น การกำหนดมาตรฐานและคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม ที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานสากลตาม ASTM D7544 สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม[4] ดังแสดงในรูปที่ 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมบัติ	ค่ากำหนด
ค่าความร้อนสูง (HHV, MJ/kg)	ไม่ต่ำกว่า 15
ค่าปริมาณน้ำ (Water Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 30
ค่าปริมาณของแข็ง (Solids Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 2.5* หรือไม่สูงกว่า 0.25**
ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity, cSt @ 40°C)	ไม่สูงกว่า 125
ความหนาแน่น (Density, kg/dm^3 @ 20°C)	1.1 – 1.3
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.05
ปริมาณเถ้า (Ash Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.25* หรือสูงกว่า 0.15**
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	รายงาน
จุดวาบไฟ (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า 45
จุดไหลเท (Pour Point, °C)	ไม่สูงกว่า -9

รูปที่ 11 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม[4]

2. ส่งเสริม ปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

ส่งเสริมผู้ผลิต หรือผู้ประกอบการที่สนใจให้ปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิสให้มีประสิทธิภาพ และได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด เพื่อสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคขนส่ง และเกษตรกรรม โดยการส่งเสริมและสนับสนุนในช่วงแรกอาจจะสร้างแรงจูงใจทางภาษีเพื่อให้ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการสนใจที่จะผลิตน้ำมันไพโรไลซิสมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ยังเป็นการลดการใช้น้ำมันฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด และเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานในระยะยาวให้กับประเทศได้อีกด้วย

3. การกำหนดสัดส่วนการเติมน้ำมันไพโรไลซิส

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสข้างต้น จะเห็นได้ว่าน้ำมันไพโรไลซิสสามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้ในสัดส่วนหนึ่ง แม้ว่าสัดส่วนการเติมจะไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มาหรือวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตาม ยังสามารถกำหนดสัดส่วนการเติมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลเป็นช่วงกว้าง หรือกำหนดหลายสัดส่วนการเติมได้ เช่น น้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ กำหนดสัดส่วนการเติม ไม่เกินร้อยละ 10 โดยปริมาตร หรือน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก กำหนดสัดส่วนการเติม ไม่เกินร้อยละ 10-15 โดยปริมาตร เป็นต้น ซึ่งการผลักดันดังกล่าวเป็นการผลักดันในลักษณะเดียวกันกับเชื้อเพลิงทดแทนไบโอดีเซล (บี100) ที่ได้มีการกำหนดสัดส่วนการเติมไบโอดีเซลที่สัดส่วนร้อยละ 6.6-7 โดยปริมาตร (B7) ร้อยละ 9-10 โดยปริมาตร (B10) และร้อยละ 19-20 โดยปริมาตร (B20) ทั้งนี้ อาจสนับสนุนนโยบายดังกล่าวควบคู่ไปกับการสนับสนุนด้านราคาหรือภาษี เพื่อเพิ่มแรงจูงใจในเชิงพาณิชย์ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.

ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล

แนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล				วิธีทดสอบ[๒]
				หมุนเร็ว			หมุนช้า	
				ธรรมดา	บี ๑๐	บี ๒๐		
๑	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ ๑๕.๖/๑๕.๖ (Specific gravity at 15.6/15.6)	*องศาเซลเซียส* °C	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๐.๘๑ ๐.๘๗	๐.๘๑ ๐.๘๗	๐.๘๑ ๐.๘๗	- ๐.๙๒๐	ASTM D ๑๒๙๘
๒	จำนวนซีเทน (Cetane number) หรือ		ไม่ต่ำกว่า	๕๐	๕๐	๕๐	๔๕	ASTM D ๖๑๓
	ดัชนีซีเทน (Calculated cetane index)							ASTM D ๙๗๖
๓	ความหนืด (Viscosity)	*เซนติสโตกส์* *cSt*						ASTM D ๔๔๕
	๓.๑ ณ อุณหภูมิ ๔๐ องศาเซลเซียส หรือ (at 40 °C)		ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๑.๘ ๔.๑	๑.๘ ๔.๑	๑.๘ ๔.๑	- ๘.๐	
	๓.๒ ณ อุณหภูมิ ๕๐ องศาเซลเซียส (at 50 °C)		ไม่สูงกว่า	-	-	-	๖.๐	
๔	จุดไหลเท (Pour point)	*องศาเซลเซียส* °C	ไม่สูงกว่า	๑๐	๑๐	๑๐	๑๖	ASTM D ๙๗
๕	กำมะถัน (Sulphur)	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๕	๐.๐๐๕	๐.๐๐๕	๑.๕	ASTM D ๒๖๒๒
๖	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข ๑	หมายเลข ๑	หมายเลข ๑	-	ASTM D ๑๓๐
๗	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability)						-	
		กรัม/ลูกบาศก์เมตร g/m^3	ไม่สูงกว่า	๒๕	๒๕	๒๕	-	ASTM D ๒๒๗๔
		ชั่วโมง *hours*	ไม่ต่ำกว่า	๓๕	๓๕	๓๕	-	EN ๑๕๗๕๑
๘	กากถ่าน จากร้อยละ ๑๐ ของส่วนที่เหลือจากการกลั่น (Carbon residue on 10% distillation residue)	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*	ไม่สูงกว่า	๐.๓๐	๐.๓๐	๐.๓๐	-	ASTM D ๔๕๓๐
๙	น้ำและตะกอน (Water and sediment)	*ร้อยละโดยปริมาตร* *% vol.*	ไม่สูงกว่า	-	-	-	๐.๓	ASTM D ๒๗๐๙
๑๐	น้ำ (Water)	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg*	ไม่สูงกว่า	๓๐๐	๒๐๐	๓๐๐	-	EN ISO ๑๒๙๓๗
๑๑	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contamination)	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg*	ไม่สูงกว่า	๒๔	๒๔	๒๔	-	EN ๑๒๖๖๒
๑๒	เถ้า (Ash)	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*	ไม่สูงกว่า	๐.๐๑	๐.๐๑	๐.๐๑	๐.๐๒	ASTM D ๔๘๒

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล				วิธีทดสอบ[๔/]
				หมุนเร็ว			หมุนช้า	
				ธรรมดา	บี ๑๐	บี ๒๐		
๑๓	จุดวาบไฟ	*องศาเซลเซียส*	ไม่ต่ำกว่า	๕๒	๕๒	๕๒	๕๒	ASTM D ๙๓
	(Flash point)	*°C*						
๑๔	การกลั่น	*องศาเซลเซียส*						ASTM D ๘๖
	(Distillation)	*°C*						
	อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ		ไม่สูงกว่า	๓๕๗	๓๕๗	๓๕๗	-	
	(90% Recovered)							
๑๕	โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน	*ร้อยละโดยน้ำหนัก*	ไม่สูงกว่า	๑๑	๑๑	๑๑	-	IP ๓๙๑
	(Polycyclic aromatic hydrocarbon)	*% wt.*						
๑๖	สี							
	(Colour)							
	๑๖.๑ ชนิดของสี			เหลือง	ม่วง	แดง	น้ำตาล	
	(Hue)							
	๑๖.๒ ความเข้มของสี		ไม่ต่ำกว่า	-	เทียบเท่าสี	เทียบเท่าสี	๔.๕	(๑) น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดาและ น้ำมันดีเซลหมุนช้าให้เปรียบเทียบความเข้มของสีตามมาตรฐาน ASTM D ๑๕๐๐ (๒) น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี ๑๐ และน้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี ๒๐ให้เปรียบเทียบความเข้มของสีกับน้ำมันมาตรฐานที่เตรียมขึ้นใหม่โดยใช้สีละลายในน้ำมันก่อนการย้อมสีให้มีปริมาณเท่ากับที่กำหนดแล้วนำมาบรรจุแยกกันในภาชนะที่ใช้ในการวัดสีตามวิธีทดสอบ ASTM D ๑๕๐๐ แล้วตรวจพินิจด้วยสายตา หรือตามมาตรฐาน ASTM D ๒๓๙๒
	(Intensity)		และ		มาตรฐาน[๒/]	มาตรฐาน[๓/]		
			ไม่สูงกว่า	๔.๐			๗.๕	
๑๗	ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน	*ร้อยละโดยปริมาตร*	ไม่ต่ำกว่า	๖.๖	๙	๑๙	-	EN ๑๔๐๗๘
	(Methyl ester of fatty acids)	*% vol.*	และ ไม่สูงกว่า	๗	๑๐	๒๐	-	

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล				วิธีทดสอบ๓/
				หมุนเร็ว			หมุนช้า	
				ธรรมดา	บี ๑๐	บี ๒๐		
๑๘	คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (Lubricity wear scar)	*ไมโครเมตร* μm	ไม่สูงกว่า	๔๖๐	๔๖๐	๔๖๐	-	CEC F–๐๖-๙๖
๑๙	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives, if any)			ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน				

หมายเหตุ ๑/ ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในตารางแนบท้ายนี้หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในตารางแนบท้ายนี้

๒/ สีมาตรฐานที่เตรียมได้จากการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี ๑๐ ที่มีความเข้มของสีก่อนการย้อม วัดตามมาตรฐาน ASTM D ๑๕๐๐ เท่ากับ ๐.๕ มาย้อมด้วยสีม่วงที่เป็นสารประกอบจำพวก ๑,๔ - dialkylamino anthraquinone และ ๒ - naphthalenol [(phenylazo) phenyl] azo alkyl derivatives ในอัตราส่วน ๑ ต่อ ๑ โดยน้ำหนัก ปริมาณเนื้อสีที่ใช้ ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๓/ สีมาตรฐานเตรียมได้จากการนำน้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี ๒๐ ที่มีความเข้มของสีก่อนการย้อม วัดตามมาตรฐาน ASTM D ๑๕๐๐ เท่ากับ ๒.๐ มาย้อมด้วยสีแดงที่เป็นสารประกอบจำพวก 2- naphthalenol [(phenylazo) phenyl] azo alkyl derivatives ปริมาณ ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข.

โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง

ประจำเดือนมกราคม พ.ศ.2562

ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง

หน่วย : บาท/ลิตร

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	ราคา (บาท/ลิตร)		ภาษี		กองทุน		ราคาขายส่ง	ภาษีมูลค่าเพิ่ม	ราคาขายส่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
		อ้างอิง	หน้าโรงกลั่น	สรรพสามิต	เทศบาล	น้ำมันเชื้อเพลิง	อนุรักษ์พลังงาน			
2 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว	21.84	14.0454	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	20.9234	1.4646	22.3880
	เตาชนิดที่ 1		11.0362	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	11.8702	0.8309	12.7011
	ไบโอดีเซล									
3 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว	21.84	13.8376	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	20.7156	1.4501	22.1657
	เตาชนิดที่ 1		10.7836	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	11.6176	0.8132	12.4308
	ไบโอดีเซล									
4 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว	21.84	13.9810	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	20.8590	1.4601	22.3191
	เตาชนิดที่ 1		10.8381	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	11.6721	0.8170	12.4891
	ไบโอดีเซล									
7 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว	21.85	14.4448	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	21.3228	1.4926	22.8154
	เตาชนิดที่ 1		11.2926	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.1266	0.8489	12.9755
	ไบโอดีเซล									

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง (ต่อ) หน่วย : บาท/ลิตร

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	ราคา (บาท/ลิตร)		ภาษี		กองทุน		ราคาขายส่ง	ภาษีมูลค่าเพิ่ม	ราคาขายส่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
		อ้างอิง	หน้าโรงกลั่น	สรรพสามิต	เทศบาล	น้ำมันเชื้อเพลิง	อนุรักษ์พลังงาน			
8 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		14.8861	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	21.7641	1.5235	23.2876
	เตาชนิดที่ 1		11.6858	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.5198	0.8764	13.3962
	ไบโอดีเซล	21.85								
9 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.0065	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	21.8845	1.5319	23.4164
	เตาชนิดที่ 1		11.7298	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.5638	0.8795	13.4433
	ไบโอดีเซล	21.85								
10 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.1353	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.0133	1.5409	23.5542
	เตาชนิดที่ 1		11.8909	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.7249	0.8907	13.6156
	ไบโอดีเซล	21.85								
11 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.3555	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.2335	1.5563	23.7898
	เตาชนิดที่ 1		12.1495	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.9835	0.9088	13.8923
	ไบโอดีเซล	21.85								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง (ต่อ)

หน่วย : บาท/ลิตร

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	ราคา (บาท/ลิตร)		ภาษี		กองทุน		ราคาขายส่ง	ภาษีมูลค่าเพิ่ม	ราคาขายส่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
		อ้างอิง	หน้าโรงกลั่น	สรรพสามิต	เทศบาล	น้ำมันเชื้อเพลิง	อนุรักษ์พลังงาน			
14 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1		15.6796	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.5576	1.5790	24.1366
			12.3768	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	13.2108	0.9248	14.1356
	ไบโอดีเซล	21.85								
15 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1		15.5391	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.4171	1.5692	23.9863
			12.1757	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	13.0097	0.9107	13.9204
	ไบโอดีเซล	21.85								
16 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1		15.3487	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.2267	1.5559	23.7826
			11.9148	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.7488	0.8924	13.6412
	ไบโอดีเซล	21.85								
17 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1		15.4054	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.2834	1.5598	23.8432
			12.0222	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.8562	0.8999	13.7561
	ไบโอดีเซล	21.85								

CHULALONGKORN UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง (ต่อ)

หน่วย : บาท/ลิตร

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	ราคา (บาท/ลิตร)		ภาษี		กองทุน		ราคาขายส่ง	ภาษีมูลค่าเพิ่ม	ราคาขายส่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
		อ้างอิง	หน้าโรงกลั่น	สรรพสามิต	เทศบาล	น้ำมันเชื้อเพลิง	อนุรักษ์พลังงาน			
18 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.3906	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.2686	1.5588	23.8274
	เตาชนิดที่ 1		12.0495	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	12.8835	0.9018	13.7853
	ไบโอดีเซล	21.85								
21 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.4717	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.3497	1.5645	23.9142
	เตาชนิดที่ 1		12.1785	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	13.0125	0.9109	13.9234
	ไบโอดีเซล	21.63								
22 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.5703	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.4483	1.5714	24.0197
	เตาชนิดที่ 1		12.3764	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	13.2104	0.9247	14.1351
	ไบโอดีเซล	21.63								
23 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว		15.6083	5.9800	0.5980	0.2000	0.1000	22.4863	1.5740	24.0603
	เตาชนิดที่ 1		12.5005	0.6400	0.0640	0.0600	0.0700	13.3345	0.9334	14.2679
	ไบโอดีเซล	21.63								

CHULALONGKORN UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 โครงสร้างราคาน้ำมันและราคาอ้างอิง (ต่อ)

หน่วย : บาท/ลิตร

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	ราคา (บาท/ลิตร)		ภาษี		กองทุน		ราคาขายส่ง	ภาษีมูลค่าเพิ่ม	ราคาขายส่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
		อ้างอิง	หน้าโรงกลั่น	สรรพสามิต	เทศบาล	น้ำมันเชื้อเพลิง	อนุรักษ์พลังงาน			
30 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1 ไบโอดีเซล	21.35	15.1338 12.1351	5.9800 0.6400	0.5980 0.0640	0.2000 0.0600	0.1000 0.0700	22.0118 12.9691	1.5408 0.9078	23.5527 13.8769
31 ม.ค. 62	ดีเซลหมุนเร็ว เตาชนิดที่ 1 ไบโอดีเซล	21.35	15.3125 12.2903	5.9800 0.6400	0.5980 0.0640	0.2000 0.0600	0.1000 0.0700	22.1905 13.1243	1.5533 0.9187	23.7438 14.0430

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค.
ต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสอ้างอิงและความอ่อนไหวด้านราคา

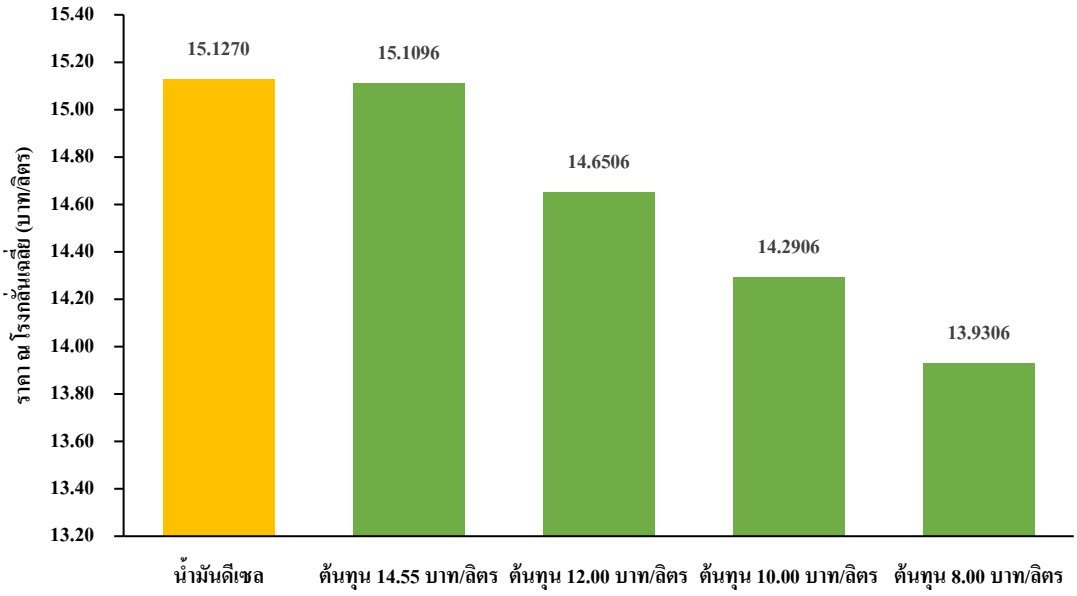
การประชุมคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.) ครั้งที่ 1/2560 มีมติการทบทวนต้นทุนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกในปี 2559 ให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสหรือน้ำมันจากขยะพลาสติก เฉลี่ยอยู่ที่ 14.55 บาทต่อลิตร[29] เมื่อคำนวณราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร โดยกำหนดให้ต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสราคาเฉลี่ย 14.55 บาทต่อลิตร และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสที่ราคา 12 10 และ 8 บาทต่อลิตร แสดงผลการคำนวณในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณราคา ณ โรงกลั่นและความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิส

ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซล (บาท/ลิตร)	ราคา ณ โรงกลั่นน้ำมันดีเซลผสม (บาท/ลิตร) ที่ต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิส							
	14.55 บาท/ลิตร	เปลี่ยนแปลง	**12.00 บาท/ลิตร**	เปลี่ยนแปลง	**10.00 บาท/ลิตร**	เปลี่ยนแปลง	**8.00 บาท/ลิตร**	เปลี่ยนแปลง
14.0454	14.2386	0.1932	13.7796	-0.2658	13.4196	-0.6258	13.0596	-0.9858
13.8376	14.0709	0.2333	13.6119	-0.2257	13.2519	-0.5857	12.8919	-0.9457
13.9810	14.1866	0.2056	13.7276	-0.2534	13.3676	-0.6134	13.0076	-0.9734
14.4448	14.5610	0.1162	14.1020	-0.3428	13.7420	-0.7028	13.3820	-1.0628
14.8861	14.9171	0.0310	14.4581	-0.4280	14.0981	-0.7880	13.7381	-1.1480
15.0065	15.0142	0.0077	14.5552	-0.4513	14.1952	-0.8113	13.8352	-1.1713
15.1353	15.1181	-0.0172	14.6591	-0.4762	14.2991	-0.8362	13.9391	-1.1962
15.3555	15.2958	-0.0597	14.8368	-0.5187	14.4768	-0.8787	14.1168	-1.2387
15.6796	15.5573	-0.1223	15.0983	-0.5813	14.7383	-0.9413	14.3783	-1.3013
15.5391	15.4440	-0.0952	14.9850	-0.5542	14.6250	-0.9142	14.2650	-1.2742
15.3487	15.2903	-0.0584	14.8313	-0.5174	14.4713	-0.8774	14.1113	-1.2374
15.4054	15.3361	-0.0693	14.8771	-0.5283	14.5171	-0.8883	14.1571	-1.2483
15.3906	15.3241	-0.0665	14.8651	-0.5255	14.5051	-0.8855	14.1451	-1.2455
15.4717	15.3867	-0.0850	14.9277	-0.5440	14.5677	-0.9040	14.2077	-1.2640
15.5703	15.4662	-0.1041	15.0072	-0.5631	14.6472	-0.9231	14.2872	-1.2831
15.6083	15.4969	-0.1114	15.0379	-0.5704	14.6779	-0.9304	14.3179	-1.2904
15.5428	15.4441	-0.0988	14.9851	-0.5578	14.6251	-0.9178	14.2651	-1.2778
15.4012	15.3298	-0.0714	14.8708	-0.5304	14.5108	-0.8904	14.1508	-1.2504
15.4367	15.3548	-0.0820	14.8958	-0.5410	14.5358	-0.9010	14.1758	-1.2610
15.2617	15.2136	-0.0481	14.7546	-0.5071	14.3946	-0.8672	14.0346	-1.2272
15.1338	15.1104	-0.0235	14.6514	-0.4825	14.2914	-0.8425	13.9314	-1.2025
15.3125	15.2545	-0.0580	14.7955	-0.5170	14.4355	-0.8770	14.0755	-1.2370
15.1270	**15.1096**	**-0.0174**	**14.6506**	**-0.4764**	**14.2906**	**-0.8364**	**13.9306**	**-1.1964**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร โดยกำหนดให้ต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสราคาเฉลี่ย 14.55 บาทต่อลิตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 15.1270 บาทต่อลิตร ราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสเฉลี่ยอยู่ที่ 15.1096 บาทต่อลิตร ดังนั้น ราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส ต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 บาทต่อลิตร



รูปที่ 12 ราคา ณ โรงกลั่นเฉลี่ยและความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนน้ำมันไพโรไลซิสที่ราคา 12 10 และ 8 บาทต่อลิตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสเฉลี่ยอยู่ที่ 14.6506 14.2906 และ 13.9306 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้น ราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส ต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.48 0.84 และ 1.20 บาทต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อต้นทุนของน้ำมันไพโรไลซิสถูกลงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลสูงขึ้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส ต้นทุนการจัดการขยะ และราคาของน้ำมันดีเซลอีกด้วย

บรรณานุกรม

1. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย *2560*. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน: www.eppo.go.th/index.php/th/informationservices/ct-menu-item-56?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1.
2. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย. 2559, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47340.
3. โครงการศึกษาการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ *20* ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยวิธีการทดสอบภาคสนาม. 2557, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) http://www.doeb.go.th/2017/#/category/514/news.
4. โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล. 2560, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www.dede.go.th/more_news.php?cid=405&filename=index.
5. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ.*2559*. 2560, สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste.html.
6. การเสริมสร้างองค์ความรู้ในการจัดการขยะเป็นพลังงาน. 2559, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: https://madlab.cpe.ku.ac.th/TR2/?itemID=663672.
7. แนวทางการส่งเสริมน้ำมันจากขยะพลาสติก. เชื้อเพลิงชีวภาพ 18 เมษายน 2559 [cited 2561.
8. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.*2558-2579*. 2558, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp.
9. ฐานันดร ประกอบ, การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิส *Ceratophyllum demersum L.* โดยใช้โดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง. 2561, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
10. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน, in ทฤษฎีการเผาไหม้. 2553, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html.
11. เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน/เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. p. 1-11.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

12. กรวิกา วงษ์ผาบ, et al., การแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย *USY* ซีโอไลต์, in การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ *21*. 2554: อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. p. 1-5.
13. กิติศักดิ์ สรรสัจจะนนท์, อัตราส่วนของถุงพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (*HDPE)*ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส. 2556, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
14. รัตน์ยาภรณ์ ฉายศรี, การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันจากขยะพลาสติกให้ได้มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน. 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. Al-Salem, S.M., et al., *A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW).* J Environ Manage, 2017. **197**: p. 177-198.
16. Kumar, S. and R.K. Singh, *Recovery of hydrocarbon liquid from waste high density polyethylene by thermal pyrolysis.* Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2011. **28**: p. 659-667.
17. Sarker, M., M.M. Rashid, and M. Molla, *New alternative vehicle hydrocarbon liquid fuels from municipal solid waste plastics.* Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications, 2011. **1**: p. 1-9.
18. อรรถวิทย์ สากระจาย, การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อกำหนดมาตรฐานการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์. 2559, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. ศิริรัตน์ จิตการค้า, น้ำมันจากขยะพลาสติกและยางรถยนต์เก่า. เศรษฐกิจพอเพียง, 2553: p. 1-8.
20. Lee, S., K. Yoshida, and K. Yoshikawa, *Application of waste plastic pyrolysis oil in a direct injection diesel engine: for a small scale non-grid electrification.* Energy and Environment Research, 2015. **5**(1).
21. MITEVA, K., et al., *Evaluation of density and viscosity of waste plastic pyrolysis oil and and commercially diesel fuel.* Journal of Environmental Protection and Ecology, 2016. **17**: p. 1142-1151.
22. วราคม วงศ์ชัย, ผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะและก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 2014. **10**(2): p. 72-84.
23. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.*2562*, กรมธุรกิจพลังงาน, Editor. 2562.
24. โครงสร้างราคาน้ำมันสำเร็จรูปในประเทศไทย. 2559 28 กันยายน 2559 [cited 2562.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

25. รู้จักโครงสร้างราคาน้ำมันของไทย ทำไมปรับตามราคาตลาดโลก. 2562 11 กรกฎาคม 2562 [cited 2562.

26. มติการประชุมคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ *23/2561 (*ครั้งที่ *70)*. 2561 29 พฤศจิกายน 2561 [cited 2562.

27. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, โครงสร้างราคาน้ำมัน. http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/structure-oil-price.

28. Serefentse, R.R., W. Danha, G. and E. Muzenda, *A review of the desulphurization methods used for pyrolysis oil.* Procedia Manufacturing, 2019. **35**: p. 762–768.

29. มติการประชุมคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ *1/2560 (*ครั้งที่ *34)*. 2560 6 มีนาคม 2560 [cited 2562.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวอรปวีณ์ แสงเนตร
วัน เดือน ปี เกิด	26 มกราคม 2533
สถานที่เกิด	ภูเก็ต
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 18/77 พลัมคอนโด ตึกเอ ถนนเมืองใหม่กลาง ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University