

ไฟโรไลซิสแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์



นายจรรู นาถกรณกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

CONTINUOUS PYROLYSIS OF CRUDE PALM OIL TO LIQUID FUELS
ON DOLOMITE CATALYST

Mr. Jaru Natakaranakul



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ไฟโรไลซิสแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง
เหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์

โดย

นายจรรุ นาถกรณกุล

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หาญหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พุกษาทร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ)

จารุ นาถรณกุล : ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์. (CONTINUOUS PYROLYSIS OF CRUDE PALM OIL TO LIQUID FUELS ON DOLOMITE CATALYST) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 95 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร ทำการศึกษาที่ภาวะต่อไปนี้ คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3-9 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50-150 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30-60 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ ใช้การออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับ (2k factorial design) หาภาวะที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว และใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (distillation simulation gas chromatography ; DGC) วิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซล คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการป้อนน้ำมัน และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา จากการนำผลการทดลองที่ได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design Expert (เวอร์ชัน 7.0.0) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด พบว่า จะได้เชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของดีเซลมากที่สุดร้อยละ 70 โดยปริมาตร เมื่อใช้ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.5 มิลลิลิตรต่อนาที และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.2 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ จากการนำเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงบางประการพบว่า มีค่าความร้อน 47.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด 1.62 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกกรัม และจากการวิเคราะห์ธาตุ พบองค์ประกอบของธาตุออกซิเจนเพียงร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5571936023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS: PYROLYSIS / CATALYTIC CRACKING / CRUDE PALM OIL / DIESEL / BIO
DIESEL / DOLOMITE

JARU NATAKARANAKUL: CONTINUOUS PYROLYSIS OF CRUDE PALM OIL TO
LIQUID FUELS ON DOLOMITE CATALYST. ADVISOR: PROF. THARAPONG
VITIDSANT, Ph.D., 95 pp.

This research aims to study the pyrolysis of crude palm oil to liquid fuels over dolomite catalyst which perform in 3 L continuous reactor. In this study was interested in 4 parameters such as temperature of 400-500 C, oil feed rate of 3-9 ml/min, N₂ flow rate of 50-150 ml/min and amount of catalyst 30-60 %(by reactor volume). This study used 2k factorial design to investigate parameters, which influence on liquid yield and fraction of diesel in liquid product using distillation simulation gas chromatography. The results showed that reaction temperature and oil feed rate affected to liquid yield, where as diesel fraction yield was influenced by reaction temperature, oil feed rate and amount of catalyst. Finally, the mathematical simulation shown optimum condition was at 400 °C of reaction temperature, 3 ml/min of oil feed rate, 102.5 ml/min of N₂ flow rate and 48.2 %v/v of catalyst. That gave 70 vol. % of diesel fraction yield. Fuel properties of the product from this condition shown that its close to commercial diesel e.g. 47.3 MJ/kg of heating value and 1.62 mgKOH/g of acidity.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Chemical Technology Student's Signature

Field of Study: Chemical Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พุกษาทร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ ความคิดเห็น รวมถึงแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยที่กรุณาให้ความรู้ ความคิดเห็น รวมถึงแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology ; PETROMAT) สำหรับการให้ทุนการศึกษาและทุนสนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณ Japan International Cooperation Agency (JICA) สำหรับการให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ Dr.Haruki Tani นักวิจัยประจำมหาวิทยาลัยคิตะคิวชู (University of Kitakyushu) ประเทศญี่ปุ่น ผู้ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบุคลากรทั้งในภาควิชาเคมีเทคนิค และศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล อำนวย แก่งคอย จ.สระบุรี ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้ง อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปีโตรเลียม	4
2.2 ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณภาพน้ำมัน.....	7
2.3 พลังงานทดแทน	11
2.4 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564).....	12
2.5 ปาล์มน้ำมัน (palm oil).....	13
2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	14
2.7 โดโลไมต์.....	16
2.8 กระบวนการไพโรไลซิส.....	18
2.9 ปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์.....	19
2.10 ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน.....	21
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	26
3.1 เครื่องปฏิกรณ์และส่วนประกอบ.....	26
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์.....	29
3.3 สารตั้งต้นและสารเคมี	31

3.4	การดำเนินงานวิจัย	31
3.5	วิธีการทดลอง	33
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
4.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตั้งต้น	35
4.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา	38
4.3	การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาด และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์	40
4.4	การศึกษาภาวะที่มีผลต่อการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	41
4.5	การหาภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	58
4.6	การไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	62
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	70
5.1	สรุปผลการทดลอง	70
5.2	ข้อเสนอแนะ	70
	รายการอ้างอิง	71
	ภาคผนวก ก	76
	ภาคผนวก ข	82
	ภาคผนวก ค	85
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	95

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน.....	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแนฟทีน.....	5
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอโรมาติก	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกแบบ rhombohedral.....	17
รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของโพลีโพรพิลีน.....	17
รูปที่ 2.6 ผลึกที่ได้ออกมาจากการหลอมตัวของโพลีโพรพิลีน.....	18
รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาโดยรวมของการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์.....	19
รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องของการสลายตัวทางความร้อนของไตรกลีเซอไรด์.....	20
รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น	21
รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่องแบบลูกโซ่	21
รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาขั้นหยุดปฏิกิริยา.....	22
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร	26
รูปที่ 3.2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร	27
รูปที่ 3.3 แผนควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	28
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ควบแน่นผลิตภัณฑ์.....	29
รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น.....	30
รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ประกอบกับแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	30
รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมของน้ำมันปาล์มดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปกโตรมิเตอร์	36
รูปที่ 4. การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ 2(a) โพลีโพรพิลีนที่ได้จากธรรมชาติ และ (b) โพลีโพรพิลีนที่เผาที่ อุณหภูมิ 3 ชั่วโมง 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 800.....	39
รูปที่ 4.3 ภาพของโพลีโพรพิลีนโดย (a) โพลีโพรพิลีนที่ยังไม่ได้ทำการเผา และ (b) โพลีโพรพิลีนที่ทำการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากจุดทัศนวิสัยเลกตรอนแบบส่องกราด.....	40
รูปที่ 4.4 Half normal probability plot ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพ โรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีโพรพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	43
รูปที่ 4.5 normal plot of residuals ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการ ไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีโพรพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	44

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง residuals กับ predicted ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็น
ของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 44

รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการ
ไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง..... 46

รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการ
ไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง..... 46

รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยา
โคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของ
แก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ 47

รูปที่ 4.10 แผนภูมิจำลองการกลั่นของผลิตภัณฑ์เหลวจากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่ง
ปฏิกิริยาโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 1 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการ
ไหลของแก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์
..... 48

รูปที่ 4.11 Half Normal probability plot ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 49

รูปที่ 4.12 Normal Plot of Residuals ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 52

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residuals กับ Predicted ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลว
ของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 52

รูปที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 53

รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของเนฟทาในผลิตภัณฑ์เหลวของการ
ไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง..... 55

รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมัน
ปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 55

รูปที่ 4.17 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของเนฟทาในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 56

รูปที่ 4.18 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของกาคน้ำมันในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 56

รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์
น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง 57

รูปที่ 4.20 แผนภูมิสามมิติของความเหมาะสมของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการ
 ไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการไหล
 ของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตร
 ของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิและอัตราการป้อนน้ำมันที่ต่างกัน 61

รูปที่ 4.21 แผนภูมิสามมิติของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบน
 ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51
 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้
 อุณหภูมิและอัตราการป้อนน้ำมันที่ต่างกัน 61

รูปที่ 4.22 แผนภูมิองค์ประกอบทางเชื้อเพลิงในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบ
 บนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของ
 ดีเซลมากที่สุด 62

รูปที่ 4.23 โครงสร้างของกรดไขมันโอเลอิก 66

รูปที่ 4.24 โครงสร้างของ 2-Heptadecanone 66

รูปที่ 4.25 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสม ด้วยเครื่องแก๊ส
 โครมาโทกราฟีแมสเปก-กโตเมตรี 67

รูปที่ 4.26 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยา
 โคโลไมต์ โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด 67

รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมจากการแยกองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของเชื้อเพลิงเหลวจากเครื่องแก๊ส
 โครมาโทกราฟี..... 84

รูปที่ ข.2 แผนภูมิจำลองการกลั่น 84

รูปที่ ค.1 แสดงตารางของ 2 Level Factorial Design..... 88

รูปที่ ค.2 การกำหนดตัวแปร 89

รูปที่ ค.3 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง..... 89

รูปที่ ค.4 จำนวนการทดลองและค่าของตัวแปรแต่ละการทดลอง 90

รูปที่ ค.5 Half normal plot..... 90

รูปที่ ค.6 ANOVA ของการวิเคราะห์ตัวแปร 91

รูปที่ ค.7 การกำหนดตัวแปรตอบสนองที่ต้องการหาภาวะที่เหมาะสม..... 91

รูปที่ ค.10 แผนภูมิสมมติระหว่างสัดส่วนของดีเซล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อุณหภูมิในการทำ
 ปฏิกิริยา 93

รูปที่ ค.11 แผนภูมิสมมติระหว่างสัดส่วนของดีเซล อัตราการไหลของไนโตรเจน และ อุณหภูมิในการ
 ทำปฏิกิริยา 93

รูปที่ ค.12 แผนภูมิสมมติระหว่างสัดส่วนของดีเซล อัตราการไหลของไนโตรเจน และ อัตราการป้อน
 น้ำมันปาล์มดิบ 94

รูปที่ ค.13 แผนภูมิสมมติระหว่างสัดส่วนของดีเซล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อัตราการป้อนน้ำมัน
 ปาล์มดิบ 94



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3. ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษากาการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่ง 1 ปฏิกริยาโตโลไมต์	32
ตารางที่ 3. จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับประสม 2 กลาง เพื่อทำการศึกษากาการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์	32
ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับประสม (ต่อ) กลาง เพื่อทำการศึกษากาการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์	33
ตารางที่ 4.1 ร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ	36
ตารางที่ 4.2 ช่วงการกลั่นตามจุดเดือดขององค์ประกอบในเชื้อเพลิง	37
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น	37
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของธาตุในน้ำมันปาล์มดิบ	38
ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์	41
ตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	42
ตารางที่ 4.7 ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	43
ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	50
ตารางที่ 4.9 ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	51
ตารางที่ 4.10 การออกแบบการทดลองและข้อมูลการทดลองของการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด	59
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันปาล์มดิบ ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกริยาโตโลไมต์ ตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และไม้ใช้ตัวเร่งปฏิกริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	66
ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสม ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสเปกโตเมตรี-	68
ตารางที่ 4.12การวิเคราะห์ (ต่อ) ะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสเปกโตเมตรี-	69

ตารางที่ ก.1 ตัวแปร สัญลักษณ์ตัวแปร และระดับของตัวแปรที่ต้องการศึกษา.....	76
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับประสมกลาง	77
ตาราง ก.2 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับประสม (ต่อ) กลาง	78
ตารางที่ ก.3 การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไฟโรไลซ์ น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซล สูงที่สุด	79
ตารางที่ ก.3 การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไฟ (ต่อ) โรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของ ดีเซลสูงที่สุด.....	80
ตารางที่ ก.3 (ต่อ)การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไฟ โรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของ ดีเซลสูงที่สุด.....	81

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีความต้องการสูงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการ ในขณะที่มีปริมาณการสำรองน้ำมันปิโตรเลียมมีปริมาณจำกัด และความต้องการในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนต่อราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามกลไกทางเศรษฐกิจ รวมไปถึงความกังวลเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืชน้ำมัน ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมในประเทศอุตสาหกรรมการเกษตร สามารถหมุนเวียนได้ในระยะเวลาอันสั้น และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมที่มีปริมาณลดลงและอาจหมดไปได้ในอนาคตอันใกล้

ตัวอย่างการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืชน้ำมัน ได้แก่ การสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันพืช โดยน้ำมันพืชทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์คือ กลีเซอรอล และ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester ,FAME) หรือ ไบโอดีเซล กระบวนการนี้มีข้อดีคือ ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ำ (60-70 องศาเซลเซียส)[1] และกระบวนการไม่ซับซ้อน ไบโอดีเซลที่ได้สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ แต่ยังมีปัญหาบางประการ คือ น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นต้องมีความบริสุทธิ์มากเพียงพอ มีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำต่ำ อีกทั้งไบโอดีเซลที่ได้มีความหนืด และปริมาณออกซิเจนสูง ทำให้ค่าความร้อนต่ำ ในขั้นตอนการผลิต จำเป็นต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้น้ำล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออก ก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากที่ยากต่อการกำจัด แม้จะพบว่ากลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ แต่กลีเซอรอลดังกล่าวมีความบริสุทธิ์ต่ำ ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จึงทำให้การนำไปใช้ประโยชน์น้อย มักพบว่ามีก้างกลีเซอรอลเป็นของเสีย

การสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืชโดยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชในที่อับอากาศหรือปราศจากออกซิเจน เมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวทางความร้อน โดยโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนที่สร้างพันธะกับออกซิเจน 2 อะตอม จะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์[2] ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-500 องศาเซลเซียส สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้มีองค์ประกอบ และจำนวนอะตอมคาร์บอนใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างมาก โดยสามารถแยกได้เป็น 5 องค์ประกอบ คือ แก๊สไฮโดรคาร์บอนเบา (hydrocarbon gas) แนฟทา (naphtha) เคโรซีน (kerosene) แก๊สออยล์ (gas oil) และ กากน้ำมัน (residue)

กระบวนการไพโรไลซิสได้รับความสนใจ ในการนำไปผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืช เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ สามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ หรือกำจัดน้ำ เช่น สามารถใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกลั่น หรือแม้กระทั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว ก็สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบได้ และกระบวนการไพโรไลซิสใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalyst) นอกจากจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าด้วยดี ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามความต้องการแล้ว ยังสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ไม่ต้องมีกระบวนการล้างผลิตภัณฑ์จึงไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ของเสียหรือผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเกิดขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับการนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ความหนืดต่ำ จึงสามารถนำไปใช้ได้แทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ สนใจการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการไพโรไลซิสบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ โดยน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันปาล์มมิติก (palmitic acid, C16:0) และกรดไขมันโอเลอิก (oleic acid : C18:1)[3] มีกรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เมื่อนำมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของน้ำมันดีเซลสูง อีกทั้งน้ำมันปาล์มดิบยังมีมูลค่าต่ำและมีปริมาณคงเหลือภายในประเทศมาก โดยในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 มีปริมาณน้ำมันปาล์มดิบคงเหลือประมาณ 290,000 ตัน [4] ในขณะที่เลือกใช้โดโลไมต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยและมีราคาถูก โดยโดโลไมต์เป็นแหล่งของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมา[5, 6] ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ ส่งเสริมปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ช่วยลดความเป็นกรดในผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

หาภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในระบบต่อเนื่อง เพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของดีเซลมากที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในระบบต่อเนื่อง เพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของดีเซลมากที่สุด

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้เครื่องปฏิกรณ์ และข้อมูลทางด้านเทคนิค
3. ศึกษาองค์ประกอบ และสมบัติทางกายภาพของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา

- ศึกษาอุณหภูมิในการสลายทางความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบ และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Thermo gravimetric analysis (TGA)
 - ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (distillation simulation gas chromatography ; DGC)
4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ การหาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของแก๊สไนโตรเจน (N_2 physisorption measurement) และ X-ray Diffractometer (XRD)
5. ออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับ (2^k factorial design) โดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษา ประกอบด้วย
- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-450 องศาเซลเซียส
 - อัตราการป้อนสารตั้งต้น 3-9 มิลลิลิตรต่อนาที
 - อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 50-150 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
 - ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30-60 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์
6. ดำเนินการทดลอง และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น
 - เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)
 - วิเคราะห์ผลการทดลอง และหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของดีเซลมากที่สุด โดยใช้ระเบียบวิธีพื้นผิวการตอบสนอง (response surface methodology)
7. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปิโตรเลียม

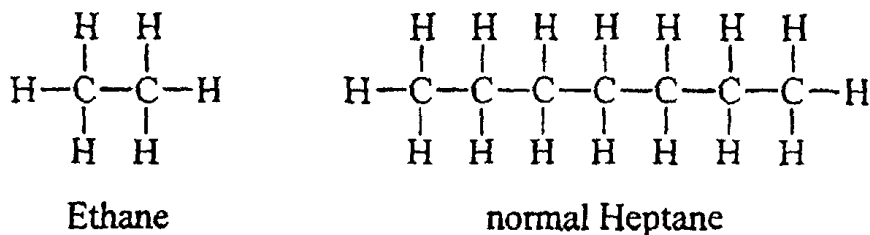
ปิโตรเลียม [7] หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยมีธาตุเป็นองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน และไฮโดรเจน โดยอาจมีธาตุอื่น เช่น กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน ปนอยู่ด้วย ปิโตรเลียมเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปิโตรเลียมเอง พลังงานความร้อน และความกดดันตามสภาพแวดล้อมที่ปิโตรเลียมสะสมตัวอยู่ ปิโตรเลียมแบ่งตามสถานะในธรรมชาติได้ 2 ชนิด

2.1.1 น้ำมันดิบ (Crude Oil) [8],[9]

น้ำมันดิบมีลักษณะปรากฏแตกต่างกันมาก โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมัน ส่วนใหญ่มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม แม้อาจจะมีสีออกเหลือง ออกแดง หรือออกเขียวบ้าง ในแหล่งกักเก็บ น้ำมันดิบมักพบร่วมกับแก๊สธรรมชาติ ซึ่งเบากว่า เกิดเป็นแหล่งปิโตรเลียมที่มีทั้งแก๊สและน้ำมัน (gas cap) เหนือปิโตรเลียม และน้ำเกลือ ซึ่งหนักกว่ารูปแบบน้ำมันดิบส่วนใหญ่ โดยปกติจะจมลงข้างใต้ น้ำมันดิบอาจพบในรูปกึ่งของแข็ง ซึ่งผสมกับทรายและน้ำ ดังที่พบในทรายน้ำมันอธาบาสกา (Athabasca) ในแคนาดา มักเรียกว่าเป็น ยางมะตอยดิบ ในแคนาดา ยางมะตอยถูกมองว่าเป็นน้ำมันดิบรูปแบบที่เหนียว สีดำ คล้ายกับน้ำมันดินซึ่งหนาและหนัก ต้องได้รับความร้อนหรือละลายก่อนจึงจะไหลได้[10] ในเวเนซุเอลามีปริมาณน้ำมันในรูปทรายน้ำมันโอรินโค (Orinoco) มากเช่นกัน แม้ไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในทรายน้ำมันดังกล่าวมีลักษณะเป็นของเหลวมากกว่าที่พบในทรายน้ำมันในแคนาดา และมักเรียกว่าเป็น น้ำมันดิบหนักพิเศษ (extra heavy oil) ทรัพยากรทรายน้ำมันเหล่านี้ถูกเรียกว่า น้ำมันไม่ใช้แบบธรรมดา (unconventional oil) เพื่อแยกแยะน้ำมันเหล่านี้จากน้ำมันที่สามารถแยกได้โดยใช้วิธีบ่อน้ำมันแบบเก่า ระหว่างทั้งสอง แคนาดาและเวเนซุเอลามียางมะตอยและน้ำมันดิบหนักพิเศษรวมกันที่ประเมินไว้ 3.6 ล้านล้านบาร์เรล (570×10^9 ลูกบาศก์เมตร) เกือบสองเท่าของปริมาณสำรองน้ำมันดิบแบบธรรมดา (conventional oil) ของโลก

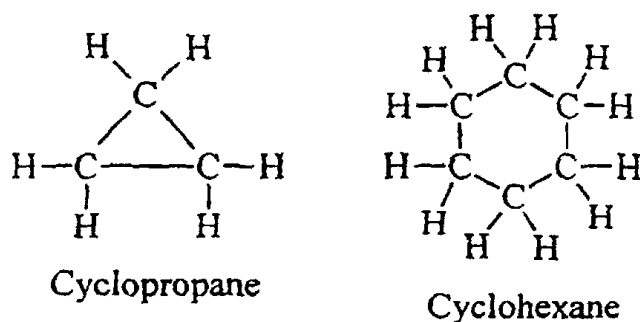
น้ำมันดิบมีสถานะตามธรรมชาติเป็นของเหลว ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่ายเป็นส่วนใหญ่ แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามคุณสมบัติ และชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบอยู่คือ

1. พาราฟิน (paraffin) เป็นอนุกรมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวโดยมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นเส้น มีสูตรทางเคมี โดยทั่วไปคือ C_nH_{2n+2} เช่น มีเทน (methane, CH_4) อีเทน (ethane, C_2H_6) เป็นต้น แสดงในรูปที่ 2.1



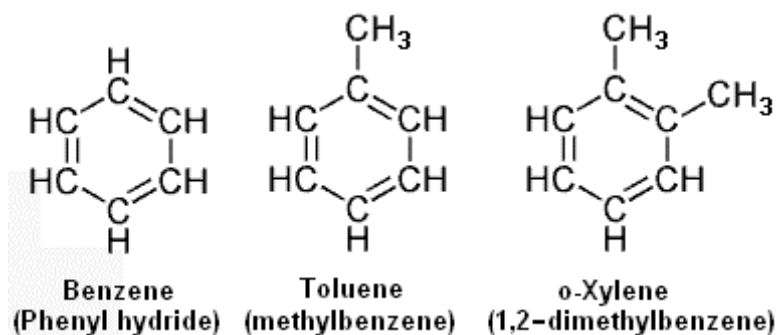
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน [10]

2. แนฟทีน (naphthene) เป็นอนุกรมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิมตัวโดยมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นวง มีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ C_nH_{2n} เช่น ไซโคลเพนเทน (cyclopentanes, C_5H_{10}) และไซโคลเฮกเซน (cyclohexanes, C_6H_{12}) แสดงในภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแนฟทีน [11]

3. อโรมาติก (aromatic) มีโครงสร้างโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันเป็นวงไม่อิมตัวหรือไม่มี ความเสถียรภาพ มีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ C_nH_{2n-6} เช่น เบนซีน (benzene, C_6H_6) โทลูอิน (toluene, C_7H_8) และไซลีน (xylene, C_8H_{10}) แสดงในภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอโรมาติก[12]

ปิโตรเลียมส่วนใหญ่ใช้เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สโซลีน ซึ่งทั้งสองเป็นแหล่ง "พลังงานปฐมภูมิ" ที่สำคัญ โดยร้อยละ 84 โดยปริมาตรของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในปิโตรเลียมถูกเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียม รวมทั้งแก๊สโซลีน ดีเซล น้ำมันเจ็ต น้ำมันให้ความร้อน (heating oil) และน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ ตลอดจนแก๊สปิโตรเลียมเหลว น้ำมันดิบระดับเบากว่าให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากที่สุด แต่แหล่งสำรองน้ำมันเบาและกลางของโลกได้หมดไปแล้ว โรงกลั่นน้ำมันจำเป็นต้องผ่านกระบวนการน้ำมันหนักและยางมะตอยเพิ่มขึ้น และใช้วิธีการอันซับซ้อนและเทคโนโลยีขั้นสูง ให้ได้ผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เพราะน้ำมันดิบหนักกว่ามีคาร์บอนมากเกินไปและมีไฮโดรเจนไม่พอ กระบวนการเหล่านี้โดยทั่วไปแล้วมีทั้งการนำคาร์บอนออกจากหรือเพิ่มไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุล และใช้การแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (fluid catalytic cracking) เพื่อเปลี่ยนโมเลกุลที่ยาวและซับซ้อนในน้ำมันเป็นโมเลกุลที่สั้นกว่าและเรียบง่ายกว่าในเชื้อเพลิง

ด้วยความหนาแน่นของพลังงานที่สูง การขนส่งที่ง่ายและค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ ทำให้น้ำมันกลายเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของโลกตั้งแต่กลางคริสต์ทศวรรษ 1950 ปิโตรเลียมยังเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เคมีหลายชนิด รวมทั้ง เกล็ดซักผ้า ตัวทำละลาย ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และพลาสติก ปริมาตรของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช้ในการผลิตพลังงาน ร้อยละ 16 จะถูกเปลี่ยนมาเป็นหนึ่งในวัตถุดิบเหล่านี้ ปิโตรเลียมพบในชั้นหินเนื้อพรุนในชั้นหินบางพื้นที่ของเปลือกโลก นอกจากนี้ยังมีปิโตรเลียมในทรายน้ำมัน ปริมาณน้ำมันสำรองที่ทราบกันประเมินไว้ที่ราว 190 กิโลเมตร³ (1.2 ล้านล้านบาร์เรล) โดยไม่คิดทรายน้ำมัน หรือ 595 กิโลเมตร³ (3.74 ล้านล้านบาร์เรล) หากคิดรวมทรายน้ำมัน การบริโภคปัจจุบันอยู่ที่ 84 ล้านบาร์เรลต่อวัน (13.4×10⁶ ม.3) หรือ 4.9 กิโลเมตร ต่อปี ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันคงเหลือสามารถใช้ต่อไปได้อีก 120 ปี หากความต้องการปัจจุบันคงที่

2.1.2 แก๊สธรรมชาติ (Natural Gas) [13],[14]

แก๊สธรรมชาติ คือ แก๊สธรรมชาติเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีแก๊สมีเทนเป็น ส่วนประกอบหลัก สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซล แก๊สธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas for Vehicle หรือ NGV) โดยทั่วไปเรียกว่า แก๊ส NGV (เอ็น จี วี) คือ แก๊สธรรมชาติที่ถูกอัดจนมีความดันสูง (มากกว่า 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว, psi) ซึ่งในบางประเทศเรียกว่า Compressed Natural Gas (CNG) หรือ แก๊สธรรมชาติอัด ดังนั้นแก๊ส NGV และแก๊ส CNG เป็นแก๊สตัวเดียวกันนั่นเอง

คุณสมบัติพิเศษของแก๊ส NGV

1. มีสัดส่วนของคาร์บอนน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และมีคุณสมบัติเป็นแก๊ส ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และปริมาณไอเสีย ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ใช้แก๊สธรรมชาติมีปริมาณต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น
2. เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดควันดำหรือสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน จึงสามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

แก๊สธรรมชาติเป็นปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่มีอยู่ทั่วไปในโลกของเราตั้งแต่โบราณกาลแล้ว เมื่อหลายล้านปีก่อนพื้นผิวโลกส่วนใหญ่เป็นทะเลเต็มไปด้วยสัตว์และพืชนานาพันธุ์ ซึ่งเมื่อตายลงก็ทับถมกันเป็นชั้นๆ ต่อมาชั้นซากสิ่งมีชีวิต โคลนทรายและกากตะกอนเหล่านี้ก็ค่อยกดอัดกันแน่นเข้าจนกลายเป็นหินชั้น หรือเรียกว่า หินดินดาน หินตะกอน ส่วนซากพืชซากสัตว์แปรสภาพไปเป็นแก๊สและน้ำมันเนื่องด้วยความร้อนความกดดันและปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่สลับซับซ้อนของผิวโลก สะสมอยู่ในชั้นใต้ดิน ซากพืชเหล่านี้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นสารประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลัก แหล่งกักเก็บปิโตรเลียมเกิดจากการปรับตัวของเปลือกโลก สภาพของชั้นหินจะเกิดการโค้งงอหรือเลื่อนตัวออกจากกัน ทำให้ปิโตรเลียมที่สะสมอยู่ในชั้นหินเดิมถูกแรงบีบอัดให้เคลื่อนตัวมาอยู่ในโครงสร้างชั้นหินที่มีรูพรุนเหมือนกับน้ำที่อยู่ในฟองน้ำกลายเป็นแหล่งน้ำมันดิบหรือแก๊สธรรมชาติ ซึ่งจะอยู่ที่ระดับความลึกต่างๆ กัน ตั้งแต่ 100 ฟุต จนถึงหลายกิโลเมตร ซึ่งสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของถ่านหิน แก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบ

ประเทศไทยได้มีการสำรวจพบแหล่งแก๊สธรรมชาติในอ่าวไทยและนำขึ้นมาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันและน้ำเตาซึ่งมีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในแต่ละปีมีมูลค่ามหาศาลและขณะเดียวกันต้องเผชิญความผันผวนของราคาน้ำมันตลาดโลก เสี่ยงต่อความมั่นคงของพลังงาน

การนำแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยขึ้นมาใช้จึงเป็นการพึ่งพาพลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศของเราเองอย่างเป็นรูปธรรม และแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด คุณภาพดี ราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ทำให้ปริมาณการใช้แก๊สธรรมชาติของไทยสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน ได้พยายามนำแก๊สธรรมชาติมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด นอกเหนือจากการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรมและยานพาหนะ

การใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งแก๊สภายในประเทศ ทำให้รัฐมีรายได้จากค่าภาคหลวงและภาษีเงินได้ปิโตรเลียม นับแต่ปี พ.ศ. 2524 ที่เริ่มผลิตแก๊สจากอ่าวไทยขึ้นมาใช้จนถึงปี พ.ศ. 2542 รัฐบาลได้รับค่าภาคหลวงทั้งสิ้น กว่า 56,000 ล้านบาท และภาษีเงินได้ปิโตรเลียมอีกกว่า 41,000 ล้านบาท แก๊สธรรมชาติ เชื้อเพลิงที่ดีที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้า เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแก๊สธรรมชาติดีกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหินและน้ำมัน เนื่องจากมีต้นทุนการลงทุนต่ำกว่า และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ามาก ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงได้หันมาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแก๊สธรรมชาติซึ่งกว่าร้อยละ 50 ของเชื้อเพลิงที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ใช้คือแก๊สธรรมชาติ

2.2 ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณภาพน้ำมัน

ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีหลายชนิด สามารถนำมาไปใช้ ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางตรงและทางอ้อม คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ให้ทันกับพัฒนาการของเครื่องยนต์ที่เจริญก้าวหน้า ซึ่งจะขอยกตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันทั่วไป 2 ชนิด คือ น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล [15]

น้ำมันเบนซิน

น้ำมันเบนซิน เป็นน้ำมันที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นขี้มัน โดยตรง และจากการแยกแก๊สธรรมชาติเหลวหรือแก๊สโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินจะผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น สารเพิ่มค่าออกเทน สารต้านการรวมตัวกับอากาศ สารเคมีสำหรับป้องกันสนิม ป้องกันการกัดกร่อนในถังขี้มัน และท่อน้ำมัน รวมทั้งสารเคมีที่ช่วยทำความสะอาดคาร์บูเรเตอร์ จึงเหมาะที่จะใช้กับ ยานพาหนะ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือเครื่องยนต์ทั่วไป เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก

ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเบนซิน

1. ค่าออกเทน เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการชิงจุดระเบิดก่อนเวลาที่กำหนด ในเครื่องยนต์เบนซิน หรือเป็นตัวเลขแสดงความต้านทานการน็อคของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ ภายในบริเวณของส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่กำลังถูกอัด โดยคลื่นเปลวไฟ ก่อนกระบวนการเผาไหม้จะสิ้นสุดภายใน ระบายของเครื่องยนต์ การน็อคทำให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์แต่ละแบบจะมีค่าออกเทนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์

2. ปริมาณตะกั่ว แม้ในปัจจุบันจะไม่มีเติมตะกั่วในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนแล้วก็ตาม แต่อาจจะมีการปนเปื้อนมาจากน้ำมันดิบหรือจาก กระบวนการในการผลิตก็ได้ เพราะเนื่องจาก ตะกั่วเป็นสารก่อมลพิษในไอเสียและเป็นโทษต่อร่างกาย จึงต้องมีการกำหนดปริมาณมาตรฐานควบคุมไว้

3. ปริมาณกำมะถัน เมื่อกำมะถันในน้ำมันถูกเผาไหม้จะสามารถกัดกร่อนเครื่องยนต์ให้สึกหรอ นอกจากนั้นยังเป็นฝุ่นทำให้เครื่องยนต์สกปรกและ เป็นมลพิษทางอากาศ

4. ปริมาณฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสจะมาจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเบนซิน สามารถทำให้เครื่องกรองไอเสียชำรุดเสียหาย

5. การกัดกร่อน น้ำมันที่มีสิ่งปนเปื้อน เช่น กำมะถัน จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดเครื่องยนต์สึกหรอ ค่าการกัดกร่อนเป็น ตัวบ่งชี้การสึกหรอของเครื่องยนต์

6. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นค่าที่บ่งถึงความสามารถของน้ำมันที่จะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้อย่างเหนียว ซึ่งมีผลกระทบต่อไอดี ห้องเผาไหม้และการเก็บสำรองน้ำมัน

7. ปริมาณยางเหนียว เมื่อน้ำมันที่มีสารประกอบของไนโตรเจน ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดเป็นยางเหนียว เป็นสิ่งสกปรกในระบบไอดี และห้องเผาไหม้ ทำให้วาล์วติดตาย คาร์บูเรเตอร์ขัดข้อง แหวนติด และเครื่องยนต์เสียหาย

8. อัตราการระเหย เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกว่าน้ำมันมีองค์ประกอบส่วนหนักเบาอย่างไร จะถูกเผาไหม้ได้ในลักษณะใด ต่อเนื่องแค่ไหน เช่น ถ้ามีส่วนเบาน้อยจะจุดสตาร์ทยาก ถ้าน้ำมันค่อยๆ

ระเหยอย่างสม่ำเสมอเมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น การเผาไหม้ก็จะต่อเนื่องเครื่องยนต์ก็จะเดินได้ราบเรียบ อัตราการระเหยของน้ำมันจึงมีผลต่อการสตาร์ทของเครื่องยนต์ การเร่งเครื่องยนต์ และการผลต่อการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

9. ความดันไอ ความดันไอจะต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาไอน้ำมันอุดขวางท่อทางเดินน้ำมัน เกิดการขาดตอนของน้ำมันในคาร์บูเรเตอร์ ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด กระตุกหรือดับ

10. ปริมาณสารเบนซิน เบนซินเป็นสารจำพวกแอลโรแมติก มีค่าออกเทนสูง แต่มีพิษต่อระบบทางเดินหายใจและสมอง การสูดดมสารนี้เป็นระยะเวลานานๆ อาจเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

11. ปริมาณสารแอลโรแมติก สารแอลโรแมติกจะมีค่าของออกเทนสูง แต่ก็มีสารแอลโรแมติกบางตัว เช่น เบนซิน โพลีไซคลิกแอลโรแมติก ซึ่งจะก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง นอกจากนี้แล้วการเผาไหม้ของน้ำมันที่มีสารแอลโรแมติก สูงจะทำให้มีเขม่าปริมาณสูงและหากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดไอเสียที่มีสารแอลโรแมติก ด้วย

12. สี โดยปกติเนื่อน้ำมันเบนซินเองไม่มีสี แต่ผู้ประกอบการใส่สีลงไปเพื่อให้สามารถแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ง่ายและป้องกันการปลอมปน น้ำมันเบนซินออกเทน 91 มีสีแดง และน้ำมันเบนซินออกเทน 95 มีสีเหลือง

13. ปริมาณน้ำ มีผลทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็วและทำให้เกิดการอุดตันที่อุณหภูมิต่ำหรือทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ

14. สารออกซิเจนเนท ที่เติมในน้ำมันเบนซินจะเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน ได้แก่ MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ดี ลดการเกิดมลพิษ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ ขณะเดียวกันการที่ MTBE มีค่าออกซิเจนสูงกว่า 100 จึงช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซินสำเร็จรูปด้วย แต่เนื่องจาก MTBE เป็นสารที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี ผู้ประกอบการ จึงถูกควบคุมปริมาณการใช้ในระดับที่เหมาะสม

15. สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเบนซิน การเติมสารเพิ่มคุณภาพลงในน้ำมันเบนซินก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน สารเหล่านี้ ได้แก่

- สารทำความสะอาด จะทำการช่วยชะล้างสิ่งสกปรกที่ตกค้างในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง และช่วยรักษาคาร์บูเรเตอร์ให้สะอาดอยู่เสมอ
- สารต้านการรวมตัวกับอากาศ จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันเบนซินรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ เพื่อป้องกันการเกิดยางเหนียว ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบน้ำมันเชื้อเพลิง
- สารป้องกันสนิมและการกัดกร่อน จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสนิมอุดตันไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงที่คาร์บูเรเตอร์

น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน เครื่องยนต์ดีเซล มีพื้นฐานการทำงานที่แตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน กล่าวคือ

การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศ อย่างมากมายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ ไม่ใช่เป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียนเหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน

น้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (Automotive Diesel Oil ; ADO) หรือที่เรียกว่า โซล่า สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบเร็ว ซึ่งส่วนมากใช้กับยานยนต์ เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และอุปกรณ์ก่อสร้าง หรือจะใช้เผาไหม้ให้ความร้อนในงานอุตสาหกรรม น้ำมันดีเซลจะมีสีเหลืองอ่อนในตัวเองโดยธรรมชาติ และน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (Industrial Diesel Oil ; IDO) บางครั้งเรียกว่าน้ำมันซีไล้ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบช้าและปานกลาง ซึ่งนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและเรือขนาดใหญ่ หรือใช้เผาไหม้ให้ความร้อนก็ได้เหมือนกัน น้ำมันชนิดนี้จะมีสีเข้มกว่าชนิดแรก

การเลือกใช้น้ำมันดีเซลไม่มีปัญหาเหมือนน้ำมันเบนซิน เพราะน้ำมันดีเซลหมუნเท่านั้นที่มีจำหน่ายตามสถานีบริการน้ำมัน ส่วนน้ำมันดีเซลหมუნช้าบริษัทจำหน่ายมักขายโดยตรงแก่โรงงานอุตสาหกรรม สิ่งที่ควรระวัง คือ ต้องเติมน้ำมันให้ถูกต้องตามชนิดของเครื่องยนต์ โดยช่องเติมน้ำมันของรถยนต์ควรมีป้ายบอกให้ชัดเจนว่าใช้น้ำมันชนิดใด หากใช้น้ำมันผิดชนิดกันจะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องยนต์

อันตรายจากน้ำมันดีเซล มีลักษณะคล้ายคลึงกับอันตรายจากน้ำมันเบนซิน เพียงแต่น้ำมันดีเซลไม่มีสารประกอบของตะกั่ว แต่ในน้ำมันดีเซลก็ยังมีสารที่ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้หากสัมผัสโดยตรงมาก ๆ สารดังกล่าว คือ PCA (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) จึงควรล้างมือให้สะอาดทุกครั้งหลังจากสัมผัสกับน้ำมันดีเซล

ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

1. การติดไฟ เป็นค่าบ่งบอกถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ และการป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่าง การเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ ลักษณะการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้เร็ว การเผาไหม้จะมีประสิทธิภาพสูง แสดงออกมาในรูปดัชนีซีเทน (cetane number) ค่าซีเทนควรให้สูงพอกับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้ติดเครื่องยนต์ง่ายไม่น็อก และประหยัดการใช้น้ำมัน

2. ความสะอาด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของน้ำมันดีเซล โดยต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น ต้องมีตะกอน น้ำ กากหรือเขม่าให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากระบบน้ำมันดีเซลจะต้องใช้ปั้มน้ำมันและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการเผาไหม้

3. การกระจายตัวเป็นฝอย ความหนืดหรือความข้นใสจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของการกระจายตัวของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะทำให้น้ำมันน้ำมัน กระจายเป็นฝอยดี ความหนืดของน้ำมันดีเซลยังมีผลต่อระบบการสูบน้ำมัน เพราะในขณะที่ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ตัวน้ำมันก็จะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั้มน้ำมันในตัวด้วย

4. อัตราการระเหยตัว เป็นค่าที่บ่งบอกการมีผลต่อจุดเดือด จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ

5. สี โดยปกติน้ำมันดีเซลจะมีสีขาอ่อน แต่บางครั้งสีอาจเปลี่ยนไปบ้างเนื่องจากในกระบวนการกลั่นน้ำมันอาจใช้น้ำมันดิบจากแหล่งต่างกัน แต่คุณสมบัติในการเผาไหม้ยังคงเหมือนเดิม ทั้งนี้สีไม่ได้เป็นตัวสำคัญที่กำหนดคุณภาพน้ำมัน ผู้ประกอบการได้กำหนดมาตรฐาน สีที่มีค่าไม่เกิน 3 ซึ่งเป็นสีคล้ายสีชา สีของน้ำมันดีเซลอาจเข้มขึ้น หากเก็บไว้นานๆ แต่ในกรณีที่สีเปลี่ยนแปลงไปมาก เช่น เป็นสีเขียว หรือสีดำคล้ำ และจะควรตั้งข้อสังเกตว่าอาจจะมีการปลอมปนของน้ำมันก๊าด น้ำมันเตา หรือน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

6. ปริมาณกำมะถัน ในน้ำมันชนิดใดๆ หากสูงเกินไปย่อมก่อให้เกิดการกัดกร่อนเครื่องยนต์ การกัดกร่อนของกำมะถันในน้ำมันมีด้วยกัน 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเกิดจากการกัดกร่อนภายหลังการเผาไหม้ ของสารประกอบของกำมะถัน เมื่อถูกเผาไหม้ก็จะเกิดแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์ เมื่อรวมกับน้ำจะกลายเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และจะทำการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้ ลักษณะที่สอง เกิดจากกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง โดยตรง คือเมื่อน้ำมันจะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล กำมะถันในน้ำมันดีเซลจะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบและกระบวนการกลั่นที่ใช้ สารประกอบกำมะถันที่มีคุณสมบัติ กัดกร่อนจะอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น เมอร์แคปแทน ไตซัลไฟด์หรือสารประกอบเฮเตอร์โรไซคลิก เช่น ไธโอเฟน (thiophen)

7. ความหนาแน่นและความชื้นใน ความชื้นในจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด ถ้าน้ำมันมีความชื้นสูง จะทำให้การฉีดเป็นฝอยละอองจะไม่ดีเท่าที่ควร เพราะละอองน้ำมันจะมีขนาดใหญ่และพุ่งเป็นสายไปไกล แทนที่จะกระจายพุ่งเป็นแบบฝอยเล็กๆ ทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศไม่ดี การเผาไหม้จึงไม่สมบูรณ์และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดน้อยลง แต่ถ้า น้ำมันดีเซลมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้การฉีดฝอยน้ำมันละเอียด แต่จะไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้ก็จะไม่ดีและอาจจะทำให้เกิดมีการรั่วกลับในตัวปั๊มหัวฉีด ด้วยเหตุผลเช่นนี้เอง น้ำมันดีเซลหมุนเร็วโดยทั่วไป จะมีกำหนดค่าความชื้นในอยู่ระหว่าง 1.8-4.1 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

2.3 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน [16],[17] หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มากเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในขณะนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน

การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิตตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค

เศรษฐกิจ และสังคม สำหรับผู้ใช้ในเมือง และชนบท ซึ่งในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าวยังรวมถึงการพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์เพื่อการใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย งานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานพัฒนาพลังงานทดแทน ซึ่งมีโครงการที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายใต้แผนงานนี้คือ โครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงาน และมีความเชื่อมโยงกับแผนงานพัฒนาชนบทในโครงการจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า ประเภทเตาออร์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้า โดยงานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทนจะเป็นงานประจำที่มีลักษณะการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆ ในเชิงกว้างเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ทั้งในด้านวิชาการเชิงทฤษฎี และอุปกรณ์เครื่องมือทดลอง และการทดสอบ รวมถึงการส่งเสริมและเผยแพร่ ซึ่งจะเป็นการสนับสนุน และรองรับความพร้อมในการจัดตั้งโครงการใหม่ๆ ในโครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงานและโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น การติดตามความก้าวหน้าและร่วมมือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาต้นแบบ ทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินความเหมาะสมเบื้องต้นและเป็นงานส่งเสริมการพัฒนาโครงการที่กำลังดำเนินการให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนสนับสนุนให้โครงการที่เสร็จสิ้นแล้วได้นำผลไปดำเนินการส่งเสริมและเผยแพร่และการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไป

2.4 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)

ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี 2554 พบว่ากว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศ[18] และยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาแก๊สธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทน ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนแก๊สธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล แก๊สชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง สามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต โดยมีการกำหนด แนวทางในการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม อาทิ

เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต : เป้าหมาย 2564 25.0 ล้านลิตร/วัน

1. ปัจจุบันการวางแผนการใช้เอทานอล เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินในประเทศสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกันการวางแผนที่จะนำไปโอดีเซลมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยเฉพาะการที่ประเทศไทยมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นโอดีเซลได้ไม่เพียงพอ ดังนั้น ในการวิจัยและพัฒนา “เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต” จึงมีความสำคัญเป็น

อย่างยิ่ง โดยในปัจจุบันสามารถบ่งชี้แนวทางการพัฒนา เชื้อเพลิงใหม่ทั้งสิ้น 7 แนวทาง ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาพืชพลังงานใหม่ 2 แนวทาง (สบูดำ และ สาหร่าย) การนำเอทานอลมาผสมใช้แทนน้ำมันดีเซล 3 แนวทาง (FAEE, ED95 และ ดีโซฮอล) และการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรสภาพน้ำมัน 2 แนวทาง (BHD และ BTL) โดยได้มีการจัดทำแผนปฏิบัติการ (พ.ศ. 2555-2559) เพื่อส่งเสริมงานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลอนาคตเรียบร้อยแล้ว โดยเป็นการบูรณาการการทำงานร่วมกันระหว่าง กระทรวงพลังงาน (พ.น.) และ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) โดยพอสรุปสังเขป ดังนี้

- สบูดำ พัฒนาพันธุ์และเพาะปลูกที่ให้ผลผลิตสูง พัฒนาเครื่องจักรในวัฏจักรสบูดำ และ ทดสอบการใช้งานระยะยาวในเครื่องยนต์
- สาหร่ายน้ำจืด-น้ำเค็ม ปรับปรุงพันธุ์และพัฒนาการผลิตเชิงพาณิชย์
- FAEE ทดสอบการใช้งานกับรถยนต์ และมาตรฐานทดสอบคุณภาพ
- ED95 พัฒนาสารเติมแต่งและเทคโนโลยีการดัดแปลงเครื่องยนต์เก่า
- ดีโซฮอล ทดสอบสัดส่วนเอทานอลที่เหมาะสมจะผสมในน้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซลผสมอยู่แล้ว 3-5% ทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์
- BHD ทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์ และมาตรฐานทดสอบคุณภาพ
- BTL ผลิตระดับ pilot scale ทดสอบการใช้งาน

2. สำหรับการขยายผลเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ (ระยะยาว พ.ศ.2560-2564) จะเตรียมการในลำดับของการจัดทำแผนปฏิบัติการต่อไปเมื่อผลงานวิจัยได้รับการยอมรับ โดยคาดว่าจะขยายผลสู่โรงกลั่นทุกแห่งในไทย

2.5 ปาล์มน้ำมัน (palm oil)

ประเทศไทยมีการผลิตปาล์มเพื่อเป็นพืชน้ำมันสำหรับการบริโภคมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ โดยมีการนำเข้าและส่งออกน้ำมันปาล์ม ทั้งในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ สกัดผ่านกรรมวิธีและชนิดเติมไฮโดรเจน การผลิตไบโอดีเซลสามารถใช้น้ำมันทุกส่วนที่ได้จากปาล์ม น้ำมาเป็นวัตถุดิบ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอสลิน ไชสเตียริน กรดไขมันปาล์มกลั่น และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม [19],[20]

น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันพืช (vegetable oil) บีบได้จากส่วนเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มซึ่งมีน้ำ มันร้อยละ 56 ข้อเสียของน้ำมันปาล์มคือจะแตกตัว (hydrolysis) ได้ง่ายด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) เมื่อเกิดการชำรุดหรือการกระแทกของผลปาล์มในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนย้ายทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) สูงและมีสีเหลืองส้มของแคโรทีน

(carotene) ปะปนทำให้น้ำมันต้องกำจัดสีโดยขบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย

- phosphatides (ยางเหนียว) tocopherols หรือ vitaminic E ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ
- ขี้ผึ้ง (wax) เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันอิสระมีความสัมพันธ์ต่อการผลิตไบโอดีเซล

น้ำมันปาล์ม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) สกัดจากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มมันน้ำมัน
2. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (crude palm kernel oil) สกัดจากเมล็ดในของผลปาล์มมันน้ำมัน

2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา [21, 22] คือ สารที่ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (activation Energy) ให้ต่ำลง ทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์มีจำนวนมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เร็วขึ้น ข้อดีของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในกระบวนการ คือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวของวัตถุดิบ
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้เลือกผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างเฉพาะเจาะจง
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
4. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ผลิตกากได้น้อยลง
5. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดมลพิษบางตัวที่เกิดจกสารปนเปื้อนมากับวัตถุดิบที่ได้

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น มีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูง และสามารถเลือกให้เร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นที่เหลือและผลิตภัณฑ์ได้ยาก และอายุการใช้งานสั้นกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์

- ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalyst) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคแตกต่างกับสารที่ทาปฏิกิริยา มีข้อดีคือใช้ในภาวะที่มีอุณหภูมิหรือความดันสูงได้ สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นที่เหลือและผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีอายุการใช้งานนาน

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญ เช่น พื้นที่ผิว (surface area) ปริมาตร รูพรุน (pore volume) ขนาดรูพรุน (pore size) และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน (pore size distribution)

พื้นที่ผิว (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยามีความสำคัญมาก เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเพิ่มพื้นที่ผิวทำได้ด้วยการลดขนาดของวัสดุให้เล็กลงจนเป็นผงละเอียด แต่วิธีนี้ทำได้ค่อนข้างยาก วิธีเพิ่มพื้นที่ผิวที่ดีที่สุดจึงได้แก่การทำวัสดุให้พรุนโดยทำให้เกิดโพรงเล็กๆ จำนวนมาก

ขนาดและจำนวนรูพรุน (size and number of pores) สามารถบอกปริมาณพื้นที่ผิวภายในของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวภายในสูงจะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้การกระจายตัวของตำแหน่งกัมมันต์ (active site) สูง และขนาดของรูพรุนที่เลือกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับโมเลกุลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากตำแหน่งกัมมันต์ได้ดีที่สุด เนื่องจากขนาดของโพรงของตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีความสำคัญต่อความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขนาดของโพรงแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1. โพรงชนิดแมโครพอร์ (macropores) เป็นกลุ่มที่มีขนาดของโพรงใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร หรือมีรัศมีเฉลี่ยของโพรงใหญ่กว่า 25 นาโนเมตร
2. โพรงชนิดเมโซพอร์ (mesopores) เป็นกลุ่มที่มีขนาดของโพรงระหว่าง 2 และ 50 นาโนเมตร หรือมีรัศมีเฉลี่ยของโพรงระหว่าง 1 และ 25 นาโนเมตร
3. โพรงชนิดไมโครพอร์ (micropores) หรือโพรงระดับอะตอม เป็นกลุ่มที่มีขนาดของโพรงเล็กกว่า 2 นาโนเมตร หรือมีรัศมีเฉลี่ยของโพรงน้อยกว่า 1 นาโนเมตร

การดูดซับและการคายซับ

การดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ลักษณะที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ มีพื้นที่ผิวที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับของตัวทำปฏิกิริยา การดูดซับ คือ การเกิดพันธะเคมีระหว่าง ตัวดูดซับ (adsorbent) กับตัวถูกดูดซับ (adsorbate) บนตำแหน่งกัมมันต์ (active site) เพื่อให้โมเลกุลเหล่านั้น เกิดปฏิกิริยาต่อไป การคายซับ คือ การแตกออกของพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ทำให้ได้ตำแหน่งกัมมันต์กลับคืนมา การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

- การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) การดูดซับทางกายภาพเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (vander waals forces) มีค่าความร้อนของการดูดซับต่ำ (น้อยกว่า 25 กิโลจูลต่อโมล) เป็นกระบวนการคายความร้อน ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ และไม่มีการแตกพันธะ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่มาถึงผิวหน้าตัวดูดซับ และ

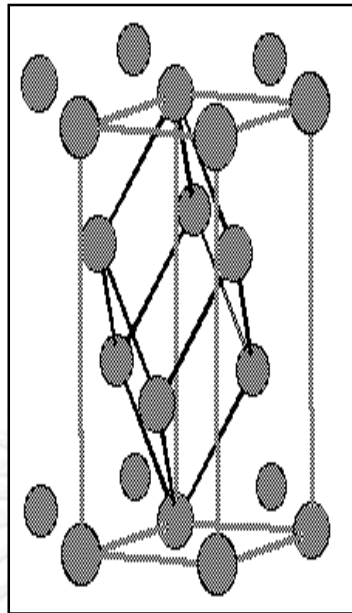
สามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ทำให้สามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับหรือตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย

- การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) การดูดซับทางเคมีอย่างง่ายเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) โดยตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมสร้างเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น ด้วยพันธะเคมีที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 60- 85 กิโลจูลต่อโมล ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับหรือตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำได้ยาก

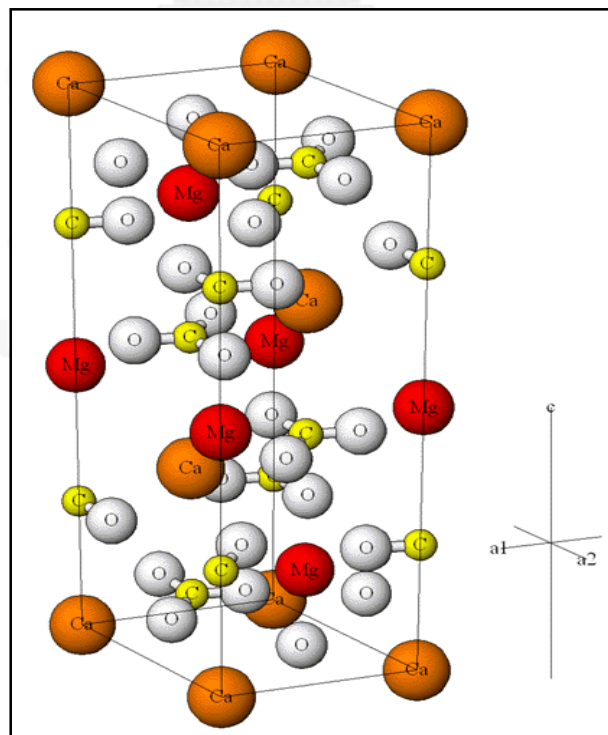
2.7 โดโลไมต์

โดโลไมต์ [23] (dolomite) เป็นแร่หรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ เป็นส่วนใหญ่ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับหินปูน (CaCO_3) โดโลไมต์ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางรุนแรงนัก เนื้อหินมักจะมีรอยแตกขนาดเล็กค่อนข้างมาก ทำให้ผิวนอกขรุขระ โดโลไมต์จะหนักกว่าและแข็งกว่าหินปูนเล็กน้อย มีหลายสีเช่น สีขาว เทาและ เทาเข้ม ฯลฯ การกำเนิดของแร่โดโลไมต์ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ อย่างไรก็ตาม ค่อนข้างแน่ชัดว่า โดโลไมต์ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทุติยภูมิที่ทำให้อนุมูลแมกนีเซียมสามารถเข้าไปแทนที่อนุมูลแคลเซียมในโครงสร้างแร่เดิมได้ โดยมักเกี่ยวข้องกับการเกิดแร่ในกลุ่มของอีแวพอไรต์ (evaporites) เช่น ยิปซัมและเกลือหิน ในประเทศไทยมักเกิดอยู่ใกล้เคียงกับเขาหินปูน เกิดเป็นชั้น หินปูนโดโลไมต์ (dolomitic limestone) หรือพบเป็นเกิดเพื่อนแร่ในสายแร่ตะกั่วหรือสายแร่สังกะสีที่ตัดผ่านหินปูน แหล่ง โดโลไมต์ในประเทศไทยมักพบบริเวณเขตติดต่อระหว่างอำเภอเมืองและท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอดอนสัก จังหวัด สุราษฎร์ธานี และอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อื่น ๆ ได้แก่ จังหวัดแพร่ ชลบุรี จันทบุรีและสงขลา ประโยชน์ โดโลไมต์เป็นสินแร่หลักของโลหะแมกนีเซียม ใช้ทำแมกนีเซียมซึ่งเป็นวัสดุทนไฟสำหรับการบุเตาถลุงเหล็ก ใช้ทำปูนซีเมนต์บางชนิด และใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก นอกจากนี้ยังใช้เป็นหินก่อสร้างหรือหินประดับได้อีกด้วย การใช้โดโลไมต์ผสมในเนื้อดินในงานเซรามิก มีจุดประสงค์เพื่อลดจุดหลอมตัวของวัตถุดิบ แต่โดยทั่วไปมักใช้ในปริมาณน้อย และใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาเคลือบมากกว่าในเนื้อดิน

โดโลไมต์มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกแบบ rhombohedral แสดงในรูปที่ 2.4 เป็นโครงสร้างผลึกแบบ rhombohedral และโครงสร้างผลึกของโดโลไมต์แสดงดังรูปที่ 2.5



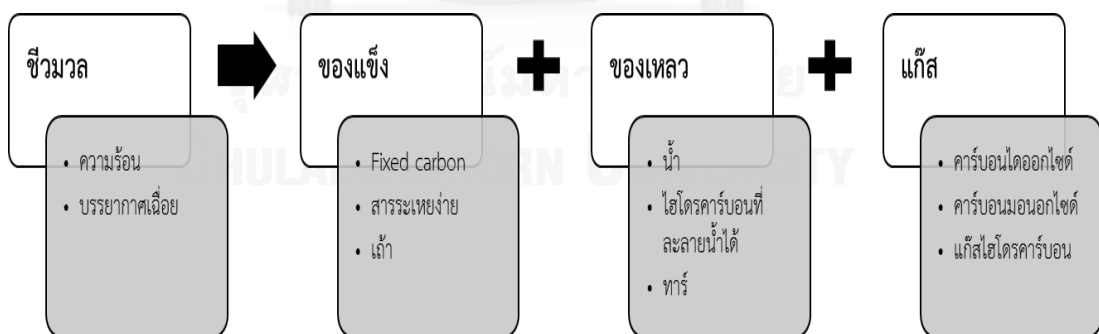
รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกแบบ rhombohedral [24]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของโดโลไมต์ [25]

2.8 กระบวนการไพโรไลซิส

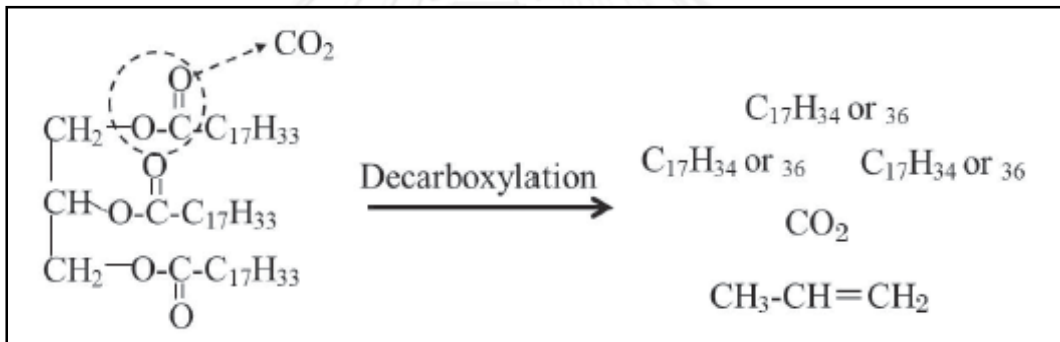
กระบวนการไพโรไลซิส [26],[27] คือ กระบวนการแตกสลายทางความร้อนเคมี (thermochemical decomposition) ของสารอินทรีย์ด้วยความร้อนหรือปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลงได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ (primary products) เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น การนำเอาเชื้อเพลิงเหลวที่เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงเพื่อผลิตคาร์บอนแบล็ค (carbon black) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิ (secondary products) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ขั้นแรก การสลายตัวของสารที่ ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (devolatilization) ขั้นที่สอง เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบ โดยองค์ประกอบที่สามารถแตกตัวได้ที่ ภาวะที่ใช้จะแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง จนกระทั่ง เกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ ไพโรไลซิสมักอยู่ในช่วง 400–1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งการเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับชนิด และพันธะเคมีที่อยู่ในสารประกอบนั้นๆ ทั้งนี้อาจมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อเปลี่ยนการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่มีความเสถียรมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนที่เติมเข้าไปจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนที่มีอยู่ในเนื้อวัตถุดิบ



รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวล

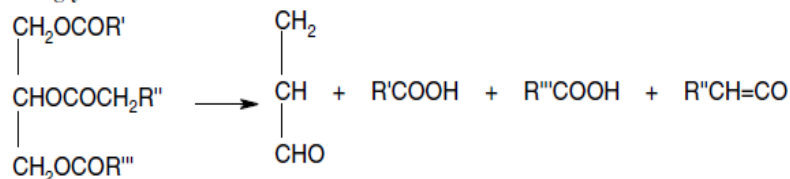
2.9 ปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์

องค์ประกอบของน้ำมันพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ เมื่อไตรกลีเซอไรด์ได้รับความร้อนในที่อับอากาศ จะเกิดการสลายตัวทางความร้อนขึ้น แสดงในรูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องของการสลายตัวทางความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ เริ่มจาก ไตรกลีเซอไรด์ได้รับความร้อนที่เพียงพอจะเกิดการสลายตัวตรงตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิล ได้เป็น กรดไขมันอิสระ คีโตน และแอลดีไฮด์ จากนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งสามจะเกิดปฏิกิริยาต่อ โดยกรดไขมันอิสระจะเกิดปฏิกิริยาตีคาร์บอกซิเลชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรคาร์บอน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่คีโตนและแอลดีไฮด์จะเกิดการสลายตัว ได้เป็นผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ จากนั้นผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นก็ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อีกหลายปฏิกิริยา แสดงในรูปที่ 2.8 ดังนั้นหากสรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยภาพรวมแล้ว สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงปฏิกิริยาโดยรวมของการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ [2, 28]

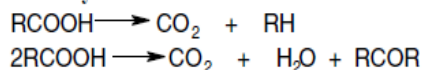


รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาโดยรวมของการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ [6]

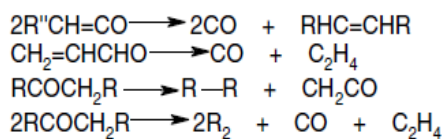
Decomposition of the glyceride



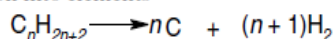
(2) Decomposition of fatty acids



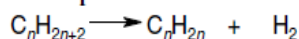
(3) Decomposition of ketenes and acrolein



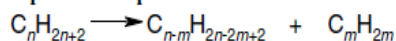
(4) Decomposition into elements



(5) Dehydrogenation of paraffins

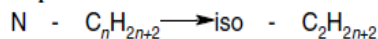


(6) Splitting Decomposition of paraffins

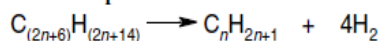


(7) Alkylation of paraffins, the reverse of (6)

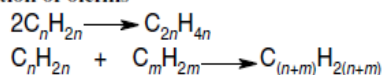
(8) Isomerization of paraffins



(9) Aromatic cyclization of paraffins



(10) Polymerization of olefins



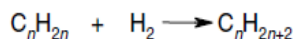
(11) Depolymerization of olefins, reverse of (10)

(12) Decomposition of olefins to diolefins

(13) Decomposition of olefins to acetylenic hydrocarbons

(14) Aromatization or cyclization of olefins

(15) Hydrogenation of olefins



(16) Isomerization of olefins

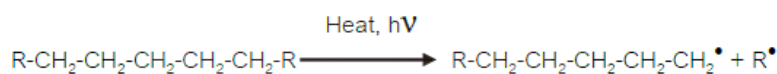


รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องของการสลายตัวทางความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ [2]

2.10 ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน

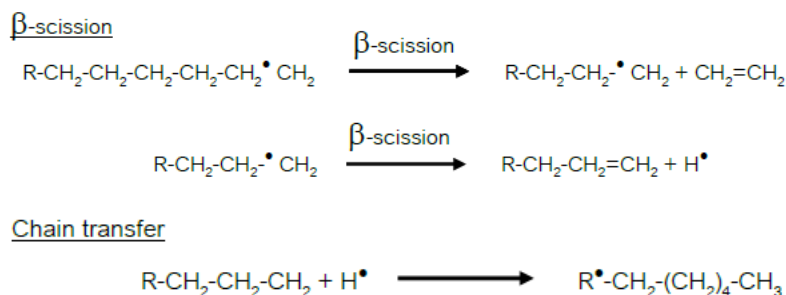
กระบวนการแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อนการแตกตัวด้วยความร้อน[7] เป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเล็กลง และหากมีการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงได้ดี จะทำให้การเลือกเกิดผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ต้องการได้มากที่สุด แต่ถ้าหากมีการให้ความร้อนมากเกินไป อาจทำให้การแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากเกินไป จนได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสถานะแก๊ส $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนส่วนที่มีแชนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) จะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากันเองได้ กระบวนการแตกตัวโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบ อนุมูลอิสระ (free radical) แบบต่อเนื่องแบบลูกโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (initiation step) เป็นขั้นตอนในการเกิดอนุมูลอิสระ เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการแตกพันธะของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ได้เป็นอนุมูลอิสระซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป ดังรูปที่ 2.9



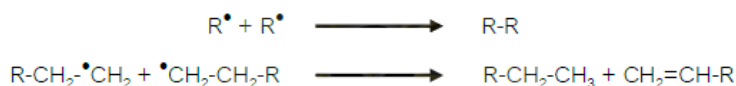
รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น

2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์และแตกพันธะเป็นโมเลกุลที่สายโซ่สั้นลง พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระ อาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น ได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่สายโซ่สั้นลงต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่องแบบลูกโซ่

3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากันเองเพื่อหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยวหรือเกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาขั้นหยุดปฏิกิริยา

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tani และคณะ [6] ทำการศึกษาการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ ลงบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างชนิดกัน เพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันพืช โดยทำการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักลงบนตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกา (SiO₂) ถ่านกัมมันต์ และตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 430 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 50 มิลลิลิตร อัตราการป้อนน้ำมันพืช 5-20 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สตัวพา มีอัตราการป้อน 50 มิลลิลิตรต่อนาที่ จากการศึกษาพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้ได้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวสูงสุด คือ ร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก อีกทั้งเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ยังมีค่าความเป็นกรดต่ำที่สุดด้วย (0.02 มิลลิลิตรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนมาก ทำให้สามารถส่งเสริมปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้ดี อีกทั้งแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างนอกจากจะมีความสามารถในการส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาข้างต้นแล้ว ยังสามารถลดความเป็นกรดของเชื้อเพลิงเหลวได้อีกด้วย และเนื่องจากการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

Xu และคณะ [5] ได้ตั้งสมมติฐานว่าการตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างจะช่วยส่งเสริมกระบวนการไพโรไลซิส และช่วยลดความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ได้ จึงทำการศึกษการสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ อะลูมินา (Al₂O₃) MCM-41 โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่งปริมาตร 250 มิลลิลิตร พบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (อะลูมินา) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเป็นกรด 104.5 มิลลิลิตรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม หากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง พบว่าค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะการใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 104.5 เหลือ 36.9 มิลลิลิตรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

ซึ่งพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างสามารถช่วยลดความเป็นกรดให้กับผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสได้

Fortes และคณะ [29] ทำการศึกษาองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากน้ำมันผลหมาก ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 700-800 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 10 20 และ 30 วินาที ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก แอลดีไฮด์ (aldehyde) ไฮโดรคาร์บอน (cycloalkane) ไดอีน (diene) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยผลิตภัณฑ์ที่พบมากคือ 2-propenal ผู้วิจัยจึงสรุปว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสคือ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เนื่องจากพบ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอะตอมคาร์บอนที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน แอลคอกซีคาร์บอนิล (alkoxycarbonyl group, -COOR) และยับยั้งด้วย 2-propenal ที่พบในปริมาณมากซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ ไตรกลีเซอไรด์ ที่อยู่ในน้ำมันพืช นอกจากนี้ยังพบว่าหากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น (30 วินาที) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 และขั้นที่ 3 ได้แก่ ปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (dehydrogenation), ปฏิกิริยาการสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (cracking) หรือ ปฏิกิริยารีโพลีเมอไรเซชัน (repolymeryzation) เป็นต้น

Tracy และคณะ [30] ทำการศึกษาปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในกระบวนการไพโรไลซิส และศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ HZSM-5 fujasite และ ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา จากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองของกระบวนการไพโรไลซิสไว้ดังนี้ คือ จากสารตั้งต้นซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันพืชเมื่อนำมาให้ความร้อนโดยปราศจากออกซิเจน จะเกิดการแตกตัวตรงตำแหน่งของหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิลได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดโซ่ตรง เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อีกทั้งยังพบแก๊สพอฟิลินและโพเพน ในสัดส่วนที่มีนัยสำคัญ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างอื่นขึ้นได้ เช่น แก๊สพอฟิลินและโพเพน สามารถสร้างวงเกิดเป็นสารประกอบอโรมาติกได้ นอกจากนี้ หากในโมเลกุลของน้ำมันพืชมีตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัว จะเกิดการแยกออกของสายโซ่คาร์บอนทำให้ได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง และจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกันพบว่าองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็แตกต่างกันด้วย โดย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 พบเบนซีน มากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 มีความเป็นผลึกและมีรูพรุนขนาด 5.7 อังสตรอม ซึ่งเป็นขนาดที่พอดีกับการเกิดเบนซีน ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินา พบสารประกอบประเภทไดอีนเป็นหลัก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินา ไม่มีความเป็นผลึกและความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาต่ำ

Yean และคณะ [31] ทำการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงผ่านกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้ HZHM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครชนิดเบดนิ่ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-450 องศาเซลเซียส และ weight hour space velocity (WHSV) 2.5-4.5 h⁻¹ และออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบสองระดับ ในการหา

ภาวะที่เหมาะสม พบว่า ได้ภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส WHSV 3.66 h⁻¹ ซึ่งทำให้ได้ร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์ม ร้อยละ 85.4 โดยน้ำหนัก และได้ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน (gasoline) ร้อยละ 44.4 โดยน้ำหนัก

วิชชากร จารุศิริ [32] ศึกษาผลของอุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารป้อนผสมระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และโพพริลีนต่อการแตกตัวด้วยความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารป้อน ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และโพพริลีนเท่ากับ 0.7 : 0.1 : 0.2 อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของสารป้อนเข้า 1.23 กรัมต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5 wt% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้ร้อยละของแก๊สโซลีนสูงที่สุด 50.95 เปอร์เซ็นต์ 10.38 แก๊สออยล์เบา 21.68 แก๊สออยล์หนัก และ กากน้ำมัน 16.99 โดยน้ำหนัก

มารินา มงคล [33] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบสูงที่สุด ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ทำปฏิกิริยา น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันของไฮโดรเจนเริ่มต้น พบว่าที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที HZSM-5 0.05 กรัม และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์เกจ ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าสูงสุด 83.59 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วย แก๊สโซลีน 26.75 เปอร์เซ็นต์ 13.79 แก๊สออยล์เบา 22.99 แก๊สออยล์หนัก 3.76 และ กากน้ำมัน 16.30

นิตา วิสุทธีรังษิโอร [34] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้ แล้วผสมเม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน (อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก) ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ อุณหภูมิ 350-600 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารป้อน 4.14 9.04 และ 15.49 กรัมต่อนาที พบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันพืชใช้แล้วผสมพอลิสไตรีน 60 : 40 โดยน้ำหนักอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารป้อน 9.04 กรัมต่อนาที ได้ค่าการแปลงผันเท่ากับ 91.79 % ได้เชื้อเพลิงเหลว 98.55 wt% แก๊สและของแข็ง 1.45 wt% มีองค์ประกอบในส่วนของเชื้อเพลิงเหลว ดังนี้ แก๊สโซลีน 57.16 เปอร์เซ็นต์ 5.62 แก๊สออยล์เบา 22.05 แก๊สออยล์หนัก 7.27 และ Long Residue 6.45 wt% สำหรับกรณีการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ภาวะเดียวกัน ได้ค่าการแปลงผันเท่ากับ 85.85 % เชื้อเพลิงเหลวที่ได้เท่ากับ 99.17 wt% แก๊สและของแข็ง 0.83 wt% มีองค์ประกอบในส่วนของเชื้อเพลิงเหลว ดังนี้ แก๊สโซลีน 41.15 เปอร์เซ็นต์ 8.72 แก๊สออยล์เบา 28.26 แก๊สออยล์หนัก 9.92 และ Long Residue 11.12 wt% และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 600 องศาเซลเซียส แทบไม่มีผลต่อผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวในการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วผสมพอลิสไตรีนอัตราส่วน 60 : 40 และการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้ว (เชื้อเพลิงเหลว 97.89 และ 98.31 wt% ตามลำดับ)

เชษฐา จิงเจริญพาณิชย์ [35] ศึกษาการไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร ทากการศึกษาที่ภาวะอุณหภูมิ 380-430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว 60-180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 100-300 มิลลิลิตรต่อ นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30-60 โดยปริมาตรของ

เครื่องปฏิกรณ์ และใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มา วิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatography (DGC) ภาวะที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม design-expert พบว่า ภาวะของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์คืออุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันปรุงอาหาร ใช้แล้ว 66.60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 60.00 โดยน้ำหนัก จะได้ค่าร้อยละผลได้ของ ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 74.78 โดยน้ำหนัก ผลได้ของแนฟทา ร้อยละ 20.17โดยน้ำหนัก ผลได้ของ เคโรซีนร้อยละ 10.39 โดยน้ำหนัก และผลได้ของดีเซลร้อยละ 43.82 โดยน้ำหนัก



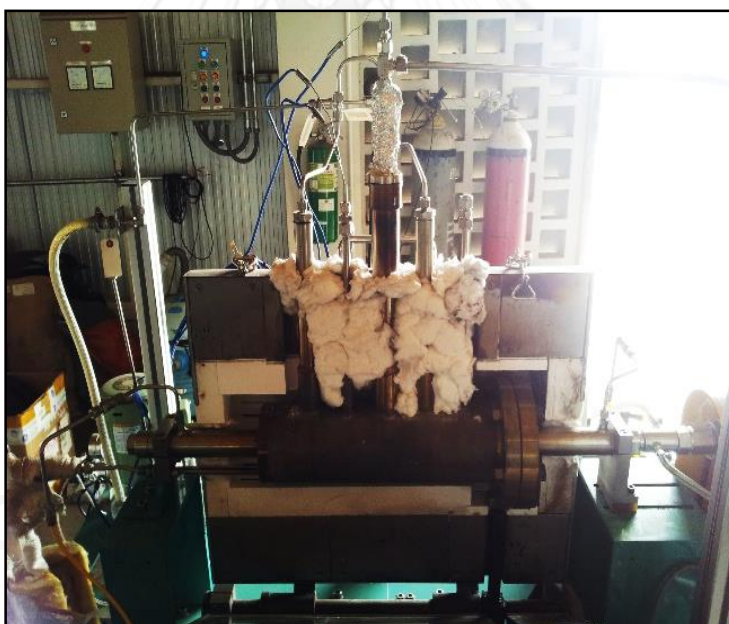
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง

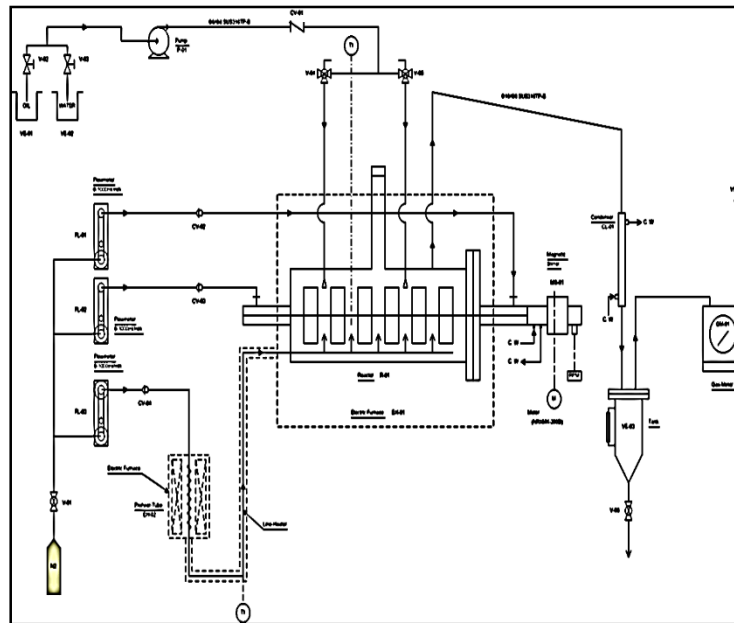
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยา โดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง และหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องปฏิกรณ์และส่วนประกอบ

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ทำจากวัสดุชนิดเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม มีปริมาตร ความจุ 3 ลิตร สามารถทนความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็น ทรงกระบอกถูกวางในแนวนอน แกนกลางถูกติดตั้งใบกวนไว้ และมีช่องสำหรับใส่เครื่องมือวัด อุณหภูมิ ซึ่งจะสามารถวัดอุณหภูมิได้ทั้งด้านข้างของผนังเครื่องปฏิกรณ์ และภายในเครื่องปฏิกรณ์ ดัง รูปที่ 3.1 โดยมีแผนภาพของเครื่องปฏิกรณ์ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร



รูปที่ 3.2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร

3.1.2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (temperature controller) ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดให้ความร้อนในส่วนต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ และสามารถตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ โดยแบ่งการควบคุมอุณหภูมิออกเป็น

- ควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์
- ควบคุมอุณหภูมิประเภททั้งสองข้างของเครื่องปฏิกรณ์

โดยมีแผงควบคุมดังที่แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผงควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์

3.1.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Thermocouple) เป็นแบบ k-type ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร เพื่อวัดอุณหภูมิในส่วนต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะแสดงผลที่แผงควบคุม

3.1.4 ชุดลดความร้อนแบบ Injection ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 โวลต์ กำลัง 400 วัตต์ต่อชุด เพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์

3.1.5 ชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊สตัวพา โดยแก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สตัวพา ซึ่งจะถูกควบคุมการไหลของแก๊สให้เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ทางด้านประเกนของเครื่องปฏิกรณ์ ตามที่ต้องการ

3.1.6 อุปกรณ์ควบแน่นผลิตภัณฑ์ (Condenser) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ประกอบไปด้วยสองส่วนคือ

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอของผลิตภัณฑ์และน้ำหล่อเย็น
- เครื่องทำความเย็นให้แก่ น้ำหล่อเย็น

3.1.7 เครื่องซังน้ำหนักละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.1.8 เครื่องซังน้ำหนักละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.9 ปุ่มสำหรับป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ปุ่มที่ใช้เป็นชนิดโรตารี



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ควบแน่นผลิตภัณฑ์

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น ดังแสดงดังรูปที่ 3.5 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามจุดเดือด โดยใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ตาม ASTM D2887 ประกอบด้วยสองส่วน คือ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น GC7890 ของบริษัท Agilent จำกัด ภายในใช้คอลัมน์ชนิด capillary จากบริษัท J&W Scientific จำกัด รุ่น DB-1 และ ซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (simulation distillation software)



รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

3.2.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatography mass spectrometer, GC-MS) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น GC2010 โดยมีเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น GCMSQP2010 เป็นดีเทคเตอร์ จากบริษัท Agilent จากัด โดยใช้ Capillary column จากบริษัท J&W Scientific จากัด รุ่น DB-1 ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ซึ่งมี 100% Dimethylpolysiloxane หนา 0.25 ไมโครเมตรเป็นวัฏภาคนิ่ง ซึ่งสามารถใช้ได้ ในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์

3.3 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.3.1 น้ำมันปาล์มดิบ จาก บริษัท ทักษิณปาล์ม จำกัด เป็นน้ำมันปาล์มที่ได้รับเป็นน้ำมันที่ผ่านกระบวนการหีบน้ำมันด้วยความร้อน และเป็นการผลิตในรอบเดียวกันทั้งหมด ถูกเก็บรักษาไว้ในถังที่แสงที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำมาทำการทดลองจะต้องกวนน้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเนื้อเดียวกันทุกครั้ง

3.3.2 โดโลไมต์ที่ใช้นำมาจากแหล่งโดโลไมต์ที่จังหวัดกาญจนบุรี

3.3.3 แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 บรรจุอยู่ในถังความดันสูงขนาดปริมาตร 7 ลูกบาศก์เมตร จากบริษัท Big

3.3.4 ตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.95 (A.R. Grade) จากบริษัท เมอร์ค (Merck)

3.4 การดำเนินงานวิจัย

3.4.1 ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จำลองการกลั่น และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.4.2 ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโดโลไมต์ โดยใช้เครื่อง XRD

3.4.3 ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการเผาโดโลไมต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นลงและเก็บในหม้อดูดความชื้น

3.4.4 ออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับ ประสมกลาง โดยมีระดับของตัวแปร 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) ระดับสูง (1) และระดับกลาง (0) โดยมีตัวแปรที่จะศึกษา 4 ตัวแปร แสดงในตารางที่ 3.1 และมีการทำซ้ำการทดลองของตัวแปรระดับกลาง 5 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.4.5 ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว โดย

- วิเคราะห์หาสัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวตามมาตรฐาน ASTM D2887 ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น
- วิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.4.6 หาภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด โดยใช้โปรแกรม Design Expert (รุ่น 7.0.0)

3.4.7 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณและผลที่ได้จากการทดลองจริง และนำผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ไปทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์

ตัวแปร	สัญลักษณ์ ตัวแปร	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (1)
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	A	400	425	450
อัตราการป้อนน้ำมัน (มิลลิลิตรต่อนาที)	B	3	6	9
อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (มิลลิลิตรต่อนาที)	C	50	100	150
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์)	D	30	45	60

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับประสมกลาง เพื่อทำการศึกษาการไฟโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์

การทดลองที่	สัญลักษณ์การทดลอง	A	B	C	D
1	i	-1	-1	-1	-1
2	a	1	-1	-1	-1
3	b	-1	1	-1	-1
4	ab	1	1	-1	-1
5	c	-1	-1	1	-1
6	ac	1	-1	1	-1
7	bc	-1	1	1	-1
8	abc	1	1	1	-1
9	d	-1	-1	-1	1
10	ad	1	-1	-1	1
11	bd	-1	1	-1	1
12	abd	1	1	-1	1
13	cd	-1	-1	1	1
14	acd	1	-1	1	1
15	bcd	-1	1	1	1
16	abcd	1	1	1	1

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับ
ประสมกลาง เพื่อทำการศึกษากาโรไลซีนน้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์

การทดลองที่	สัญลักษณ์การทดลอง	A	B	C	D
17	center	0	0	0	0
18	center	0	0	0	0
19	center	0	0	0	0
20	center	0	0	0	0
21	center	0	0	0	0

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นและเก็บไว้ในหม้อสุญญากาศ

3.5.2 เตรียมวัตถุดิบ โดยทำการกวนน้ำมันปาล์มดิบที่อาจจะเกิดการตกตะกอนของชั้น
สเตอร์อิน ให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุใส่ภาชนะที่เตรียมไว้พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและจดบันทึก

3.5.3 เตรียมเครื่องปฏิกรณ์ให้พร้อมใช้งาน โดยทำการปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ หุ้มฉนวนกัน
ความร้อน และต่อระบบน้ำหล่อเย็นเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เรียบร้อย

3.5.4 ตวงปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาตามที่ต้องการพร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก และใส่ลงใน
เครื่องปฏิกรณ์

3.5.5 ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นเปิดระบบให้ความร้อน ไบคอน และระบบน้ำหล่อ
เย็น

3.5.6 เปิดแก๊สไนโตรเจนและปรับอัตราการไหลตามที่ต้องการ

3.5.7 รอจนกระทั่งเครื่องปฏิกรณ์ และตัวเร่งปฏิกิริยา มีความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

3.5.8 ทำการป้อนน้ำมันปาล์มดิบตามอัตราการป้อนที่ต้องการ จดบันทึกอุณหภูมิ และ
น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวทุกครั้งชั่วโมง ในสองชั่วโมงแรก
ของการเริ่มป้อนน้ำมัน และบันทึกทุกชั่วโมงเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่สาม

3.5.9 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ บันทึกน้ำหนัก และนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง
ชนิดใยแก้ว ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วในขวดเก็บสารเคมี
เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสัดส่วนของเชื้อเพลิงต่อไป

3.5.10 ล้างเครื่องปฏิกรณ์ด้วยสารละลายโทลูอีน และเอทานอล

3.5.11 ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น มี
วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ดังนี้

- นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ละลายในตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 30 โดยปริมาตร

3.5.12 คำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่หายไป}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ จะทำการศึกษา ตั้งแต่องค์ประกอบของวัตถุดิบ องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่มีผลต่อการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ หากภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด และสุดท้ายจะทำการเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงระหว่างวัตถุดิบ เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ที่ภาวะที่ดีที่สุด เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะที่ดีที่สุดนั้นแต่ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา และเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจาก โคโลไมต์เป็นถ่านกัมมันต์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์

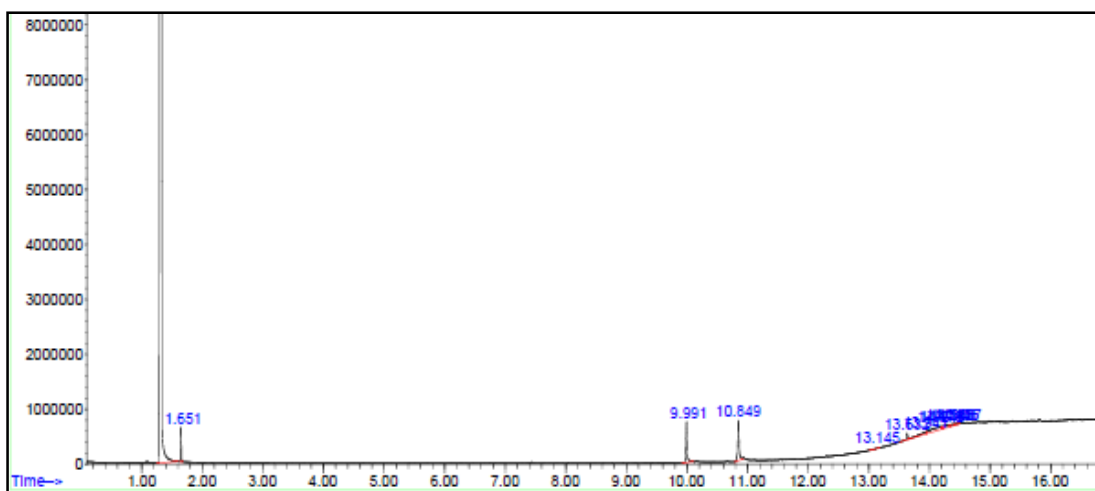
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตั้งต้น

ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นในการ ศึกษาการไพโรไลซ์เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลว ดังนั้นก่อนการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ในการทดลองจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบเสียก่อน เพื่อใช้ในการอธิบายผลของการทดลอง และเพื่อเปรียบเทียบสมบัติก่อนและหลังทำการทดลอง โดยสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ องค์ประกอบทางเชื้อเพลิง และสมบัติทางเชื้อเพลิง

4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ ทำโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงโครมาโทแกรมขององค์ประกอบในน้ำมันปาล์มดิบ โดย พบพีคที่เด่นชัดอยู่ 3 พีค ได้แก่ที่ เวลา (retention time) 1.651, 9.991 และ 10.849 นาที จากการเปรียบเทียบรูปแบบของสเปกตรัม พบว่า พีคที่เวลาเหล่านั้น คือ คาร์บอนไดซัลไฟด์ (ตัวทำละลาย), กรดไขมันปาล์มไม่ติด และ กรดไขมันโอเลอิก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในน้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบของกรดไขมัน 2 ชนิดเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดไขมันปาล์มติด (palmitic acid, C16:0) และกรดไขมันโอเลอิก (oleic acid : C18:1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Che Man และคณะ [3] ได้ทำการหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ ไว้อย่างละเอียด ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงองค์ประกอบในน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย ที่ประกอบด้วย กรดไมริสติก (myristic acid, C14:0) ร้อยละ 0.93, กรดปาล์มติด ร้อยละ 45.48, กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) ร้อยละ 3.49, กรดโอเลอิก ร้อยละ 40.17 และ กรดไลโนอิก (linoleic acid, C18:2) ร้อยละ 9.92 จากข้อมูลดังกล่าว จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่เลือกใช้วัตถุดิบเป็นน้ำมันปาล์มดิบในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวโดยวิธีไพโรไลซิส เนื่องจาก น้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของ

คาร์บอนเรียงต่อกัน 16-18 อะตอม ซึ่งตรงกับจำนวนของอะตอมคาร์บอนเชื้อเพลิงดีเซลที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมของน้ำมันปาล์มดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ 4.1 ร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ [3]

ชนิดของกรดไขมัน	ร้อยละ
กรดไขมันอิ่มตัว	
กรดไมริสติก (myristic acid, C14:0)	0.93
กรดปาล์มิติก (palmitic acid, C16:0)	45.48
กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0)	3.49
รวม	49.91
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
กรดโอเลอิก (oleic acid, C18:1)	40.17
กรดไลโนอิก (linoleic acid, C18:2)	9.92
รวม	50.09

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบ ทำได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น สามารถจำแนกองค์ประกอบทางเชื้อเพลิง ตามคาบจุดเดือด ออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆ ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงการกลั่นตามจุดเดือดขององค์ประกอบในเชื้อเพลิง ได้แก่ แนฟทา เคโรซีน ดีเซล และ กากน้ำมัน โดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงในน้ำมันปาล์มดิบนี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials ; ASTM) โดยใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ช่วงของการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมหมายเลข D2887 (Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography, ASTM D 2887) สามารถจำแนกองค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบ แสดงองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น ในตารางที่ 4.3 พบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงในน้ำมันปาล์มดิบ 3 องค์ประกอบหลัก คือ เคโรซีน ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ดีเซล ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และ กากน้ำมัน ร้อยละ 80 โดยปริมาตร จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่ประกอบด้วยกากน้ำมันเป็นจำนวนมาก จึงไม่เหมาะในการนำไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหากยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเพื่อปรับปรุงคุณภาพเสียก่อน

ตารางที่ 4.2 ช่วงการกลั่นตามจุดเดือดขององค์ประกอบในเชื้อเพลิง [7]

จุดเดือด (°C)	องค์ประกอบ	จำนวนคาร์บอน (อะตอม)
IBP - 200	แนฟทา	5 - 12
200 - 250	เคโรซีน	12 - 15
250 - 370	ดีเซล	15 - 33
370 - FBP	กากน้ำมัน	> 33

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตร
แนฟทา	0
เคโรซีน	10
ดีเซล	10
กากน้ำมัน	80

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบสามารถทำได้อีกวิธีหนึ่ง คือ การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ตารางที่ 4.4 แสดงองค์ประกอบของธาตุในน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า ในน้ำมันปาล์มดิบประกอบไปด้วย ธาตุคาร์บอน ร้อยละ 76.46 โดยน้ำหนัก ธาตุไฮโดรเจน ร้อยละ 11.94 โดยน้ำหนัก ธาตุออกซิเจน 11.57 ร้อยละ โดยน้ำหนัก และธาตุไนโตรเจน ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าในน้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบของออกซิเจนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป แต่หากนำน้ำมันปาล์มดิบมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอเนชัน และดีออกซิเจนชัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น

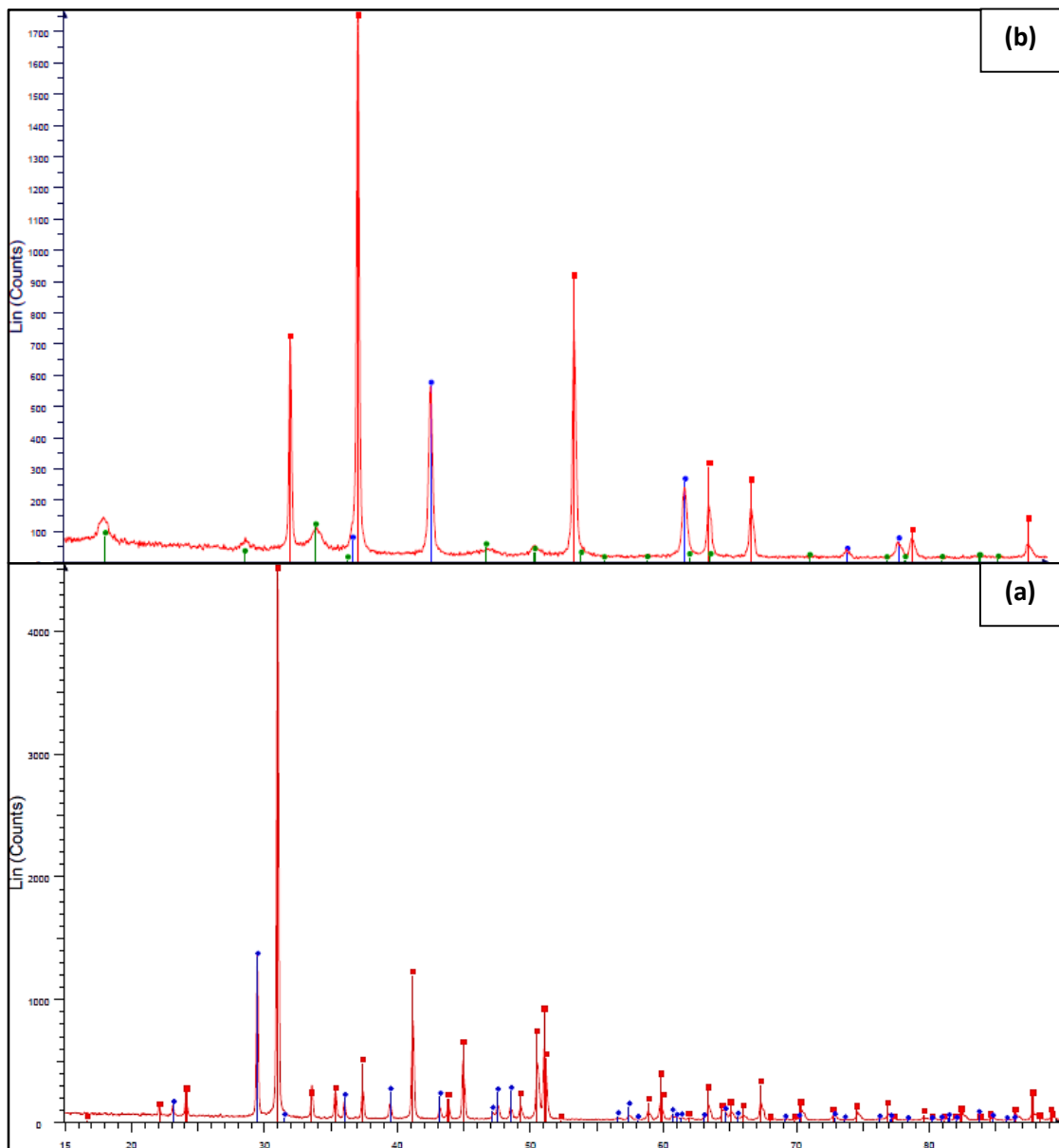
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของธาตุในน้ำมันปาล์มดิบ

ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
คาร์บอน	76.46
ไฮโดรเจน	11.94
ออกซิเจน	11.57
ไนโตรเจน	0.02

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โดโลไมต์ จากแหล่งโดโลไมต์ในจังหวัดกาญจนบุรี โดยการศึกษาองค์ประกอบของโดโลไมต์ ใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer ; XRD) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 (a) ซึ่งแสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของโดโลไมต์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งบ่งบอกถึงผลึกขององค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ทำการทดสอบ โดยพบว่า โดโลไมต์ธรรมชาติที่นำมาทดสอบนั้นมีผลึกของแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (จุดสีแดง) เป็นองค์ประกอบหลัก แต่การนำโดโลไมต์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องอยู่ในรูปของออกไซด์ (แมกนีเซียมออกไซด์ และ แคลเซียมออกไซด์) จึงจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ ดังนั้นต้องนำโดโลไมต์ไปเผา (calcine) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศปกติ ซึ่งการเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาเช่นนี้ เป็นผลมาจากการสลายตัวของโดโลไมต์ในบรรยากาศปกติ นั้นจะมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส[36] และหลังจากทำการเผาโดโลไมต์แล้วทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโดโลไมต์ที่เผาแล้วอีกครั้งหนึ่งด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงผลในรูปที่ 4.2 (b) แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของโดโลไมต์ที่เผาที่อุณหภูมิ

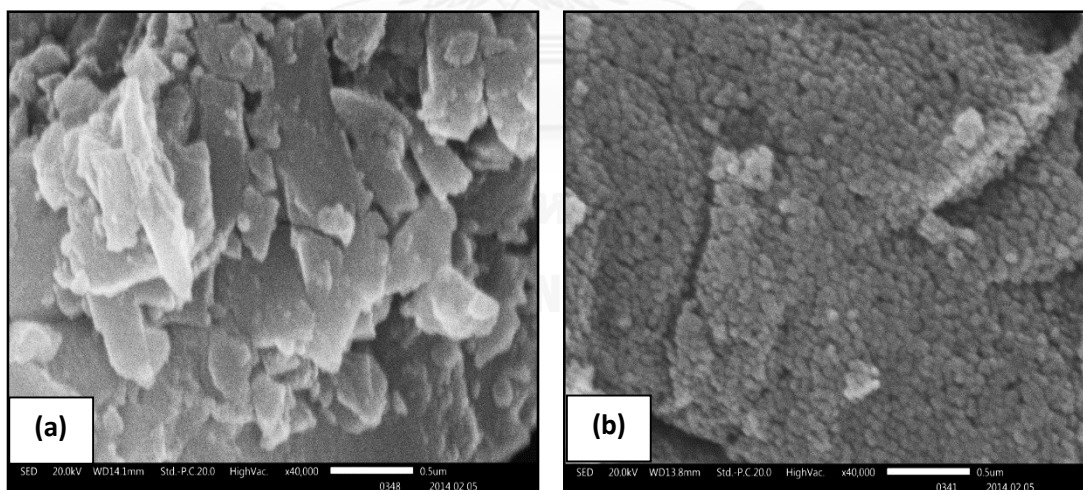
800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไม่พบองค์ประกอบของแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต แต่พบองค์ประกอบของแมกนีเซียมออกไซด์ (จุดสีน้ำเงิน) และแคลเซียมออกไซด์ (จุดสีแดง) แสดงให้เห็นว่าการเผาที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวเพียงพอที่จะเปลี่ยนโดโลไมต์ธรรมชาติให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ (a) โดโลไมต์ที่ได้จากธรรมชาติ และ (b) โดโลไมต์ที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาด และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาด และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของแก๊สไนโตรเจน (N_2 physisorption measurement) ดังที่แสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ทั้งก่อนและหลังเผา พบว่าหลังจากนำโดโลไมต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ โดโลไมต์มีพื้นที่ผิวมากกว่าโดโลไมต์ที่ได้จากธรรมชาติ โดยเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 21.4 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากการเผาโดโลไมต์ที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวจะทำให้เกิดการสลายตัวของคาร์บอเนตกลายเป็นออกไซด์ของโลหะ ดังสมการที่ 4.1 นอกจากนี้เมื่อนำโดโลไมต์ทั้งก่อนและหลังเผาไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope ; SEM) รูปที่ 4.3 แสดงภาพของโดโลไมต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยภาพ (a) คือ โดโลไมต์ที่ยังไม่ได้ทำการเผา และภาพ (b) คือโดโลไมต์ที่ทำการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะเห็นว่าโดโลไมต์ที่เผาแล้วจะมีความเป็นรูพรุนมากขึ้นกว่าโดโลไมต์ที่ยังไม่ได้เผา โดยมีลักษณะเป็นผิวเรียบกว่า



รูปที่ 4.3 ภาพของโดโลไมต์โดย (a) โดโลไมต์ที่ยังไม่ได้ทำการเผา และ (b) โดโลไมต์ที่ทำการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวที่ผิว และปริมาตรรูปทรงของตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์

ไดโกลไมต์	ขนาดพื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูปทรง (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)
ก่อนเผา	8.00	0.01
หลังเผา	21.40	0.25

4.4 การศึกษาภาวะที่มีผลต่อการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

หลังจากทำการศึกษารูปแบบและสมบัติของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะทำการทำการทดลองการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ โดยมีการศึกษาผลของปัจจัยทั้งสี่ที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำการศึกษาผลที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (response) 2 ตัวแปร คือ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว และร้อยละผลได้ของดีเซลในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

4.4.1 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

จากการออกแบบการทดลองเชิงประกอบแบบสองระดับ เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (variance) ของปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เมื่อทำการทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 90.71 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design Expert เพื่อศึกษาหาค่าความแปรปรวนและหาว่าปัจจัยใดมีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) จะสามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวอย่างเด่นชัด โดยกำหนดให้ปัจจัยนั้นจะต้องมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวแปรด้วยวิธี ANOVA ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงผล ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว พบว่า ปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (A) และ อัตราการป้อนน้ำมัน (B) อีกทั้งยังพบว่า อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้ง 4 ตัว (AB, AC, CD, ACD และ BCD) ก็มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเช่นเดียวกัน โดยผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA สอดคล้องกับการทำ Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว แสดงในรูปที่ 4.4 ที่พบว่าตัวแปรที่มีแนวโน้มเบี่ยงเบนจากเส้นตรง ได้แก่ A B AB AC CD ACD และ BCD แสดงให้เห็นว่า

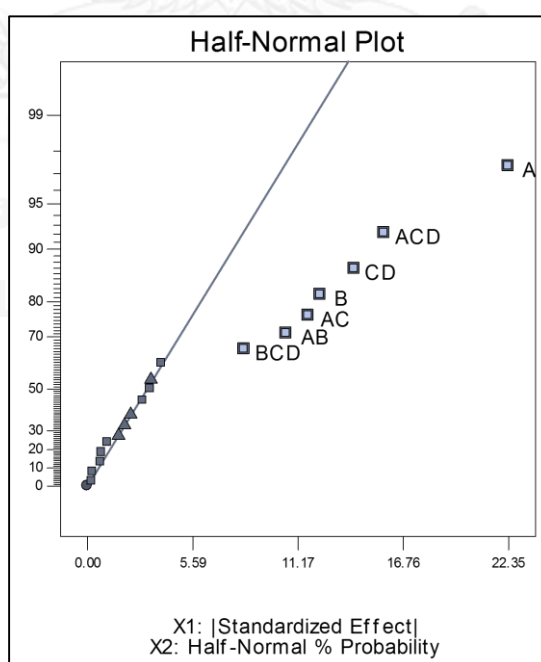
ตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรดังกล่าว มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

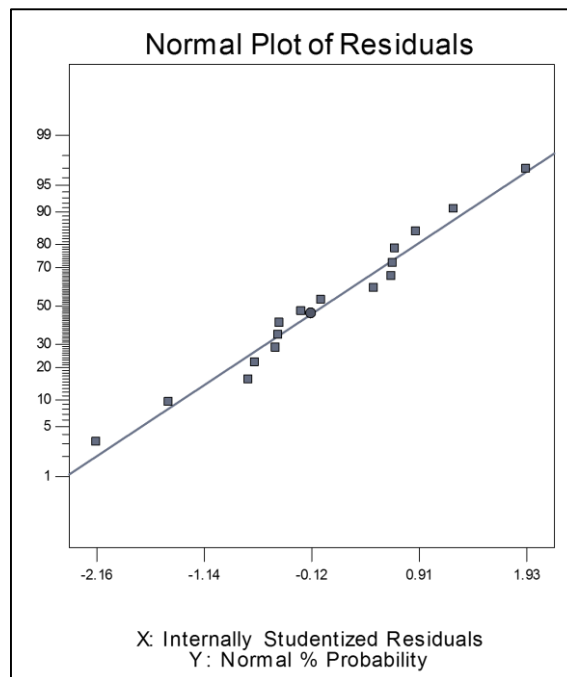
การทดลองที่	สัญลักษณ์การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เหลว (โดยมวล)
		A	B	C	D	
1	i	-1	-1	-1	-1	58.96
2	a	1	-1	-1	-1	67.06
3	b	-1	1	-1	-1	89.47
4	ab	1	1	-1	-1	70.65
5	c	-1	-1	1	-1	25.00
6	ac	1	-1	1	-1	88.14
7	bc	-1	1	1	-1	46.82
8	abc	1	1	1	-1	82.86
9	d	-1	-1	-1	1	40.00
10	ad	1	-1	-1	1	72.75
11	bd	-1	1	-1	1	45.96
12	abd	1	1	-1	1	66.42
13	cd	-1	-1	1	1	47.82
14	acd	1	-1	1	1	75.44
15	bcd	-1	1	1	1	81.23
16	abcd	1	1	1	1	90.71

ตารางที่ 4.7 ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

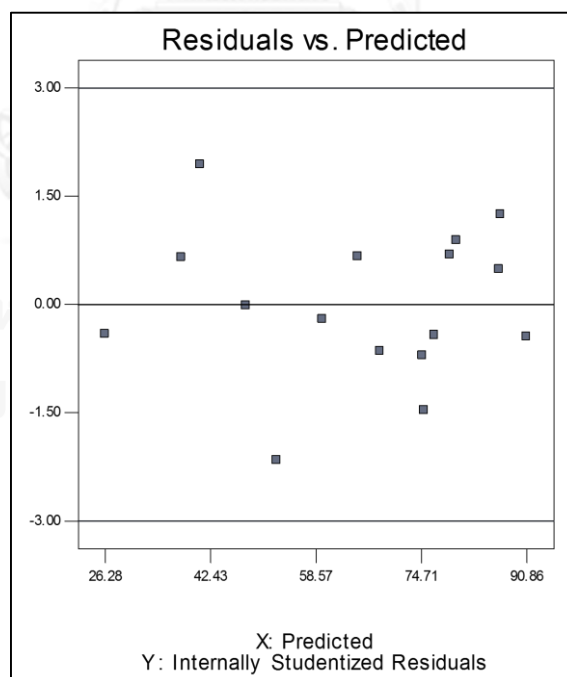
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	5678.251	7	811.1787	42.99091	< 0.0001
A-Temperature	1997.667	1	1997.667	105.8725	< 0.0001
B-Feed rate	611.9239	1	611.9239	32.43079	0.0005
AB	445.7472	1	445.7472	23.62374	0.0013
AC	549.7145	1	549.7145	29.13381	0.0006
CD	803.687	1	803.687	42.59387	0.0002
ACD	992.151	1	992.151	52.58209	< 0.0001
BCD	277.3604	1	277.3604	14.69957	0.0050
Residual	150.9489	8	18.86861		
Cor Total	5829.2	15			



รูปที่ 4.4 Half normal probability plot ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



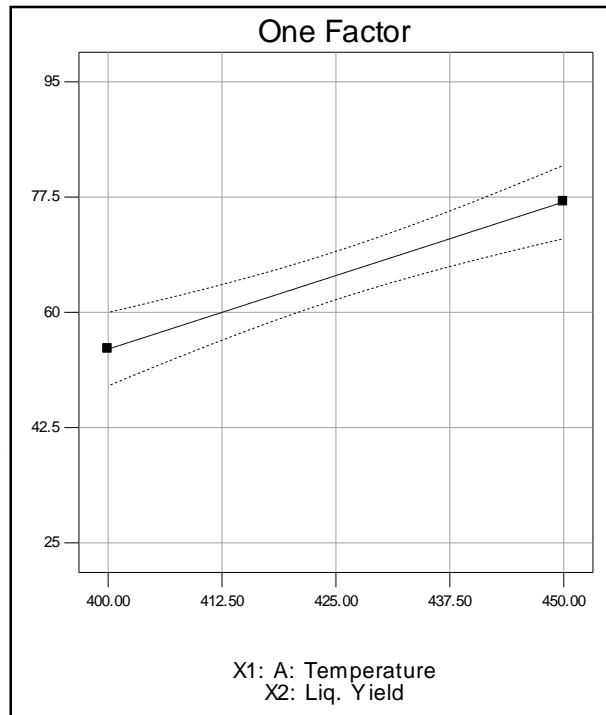
รูปที่ 4.5 normal plot of residuals ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



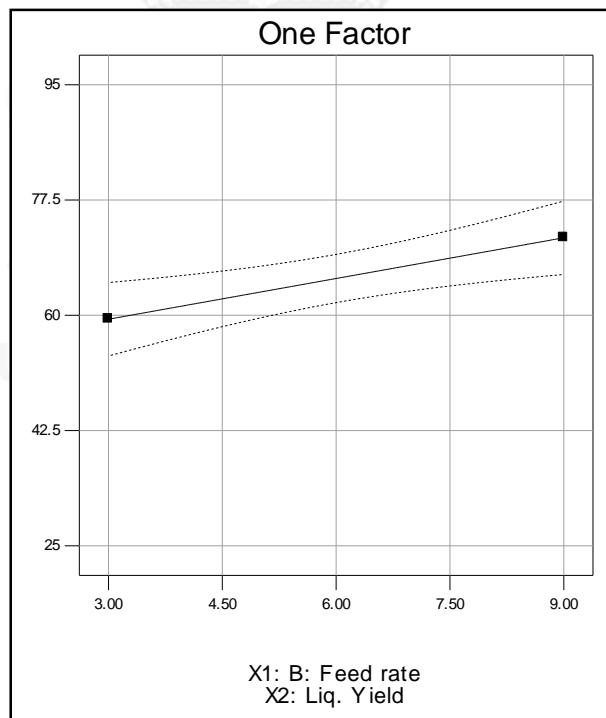
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง residuals กับ predicted ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

เมื่อนำข้อมูลไปสร้าง normal plot of residuals ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดง normal plot of residuals ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ($R^2=0.9031$) และนำข้อมูลไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง residuals กับ predicted ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า ข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันและกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาวิเคราะห์โดยการทำการ ANOVA ได้

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธี ANOVA จนทราบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องแล้ว จะทำการศึกษาเพิ่มเติมว่าปัจจัยหลักเหล่านั้นมีผลอย่างไร โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างค่าสูง และค่าต่ำของแต่ละปัจจัย ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็นการเพิ่มพลังงานให้สารตั้งต้น หรือน้ำมันปาล์มดิบ ทำให้น้ำมันปาล์มดิบได้รับพลังงานมากขึ้น จึงสามารถแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกลีชัน และดีออกซิจีเนชัน เมื่อยังคงได้รับความร้อนต่อไป ก็จะแตกตัวได้เป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย และ รูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบส่งผลให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น มีสาเหตุมาจากการเพิ่มสารตั้งต้นที่มากขึ้นจะช่วยผลักดันปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้ดีขึ้น นั่นคือมีการแตกตัวของน้ำมันปาล์มดิบได้มากขึ้น จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์เพียงพอต่อการสลายตัวของน้ำมันปาล์มดิบ ถึงแม้จะใช้อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบที่สูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นายเชษฐา จึงเจริญพาณิชย์[35]



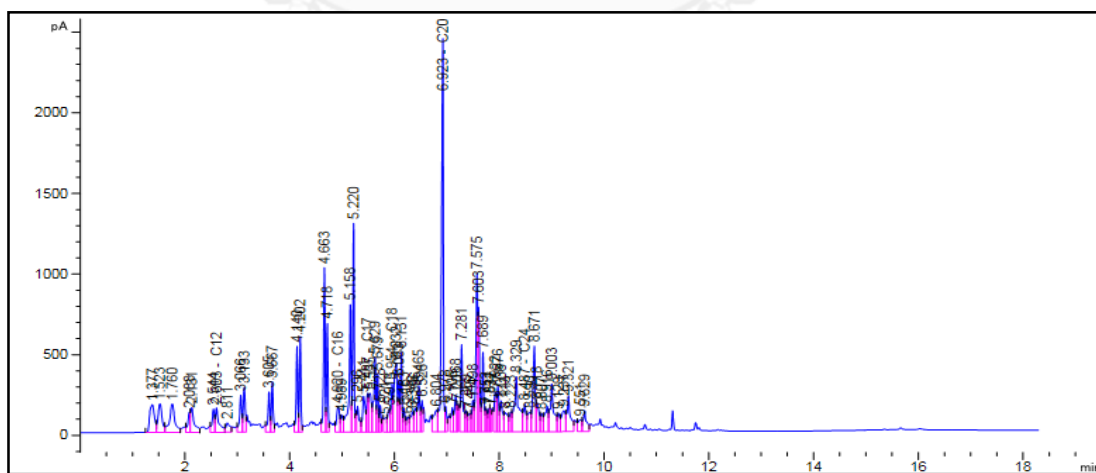
รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



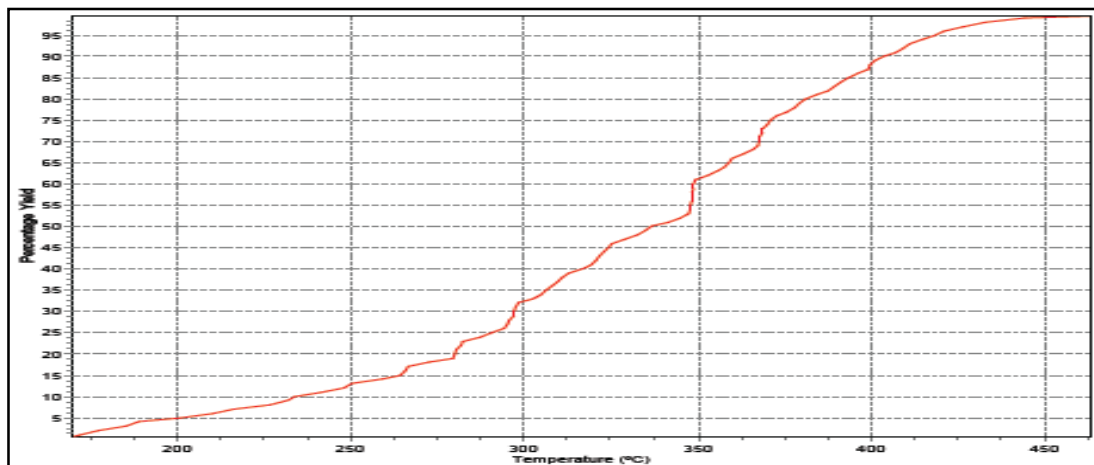
รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

4.4.2 สัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลว

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลว โดยองค์ประกอบที่สนใจคือ ดีเซล (จุดเดือด 250 – 370 องศาเซลเซียส) โดยการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี นั้นจะได้ผลการวิเคราะห์ 2 อย่างคือ โครมาโทแกรม และ แบบจำลองการกลั่น โดยโครมาโทแกรมที่ได้เป็นการวิเคราะห์จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID) จะแสดงพีคขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เหลว โดยแยกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแต่ละองค์ประกอบ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงโครมาโทแกรมของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ จะเห็นว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ $C_5 - C_{40+}$ เมื่อได้ โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่โปรแกรม SimDis (Simulation Distillation) เพื่อทำการจำลองการกลั่นผลิตภัณฑ์เหลวนั้นและจะแสดงผลออกมาเป็นแผนภูมิจำลองการกลั่น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นกับร้อยละผลได้ของของเหลวที่กลั่นได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงแบบจำลองการกลั่นของผลิตภัณฑ์เหลวจากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ พบว่า หากนำผลิตภัณฑ์เหลวมากลั่นจะได้องค์ประกอบของเชื้อเพลิงตามจุดเดือดดังนี้ คือ ได้น้ำมันร้อยละ 5.6 เคโรซีนร้อยละ 25.5 ดีเซลร้อยละ 58.9 และกากน้ำมันร้อยละ 15.0 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์



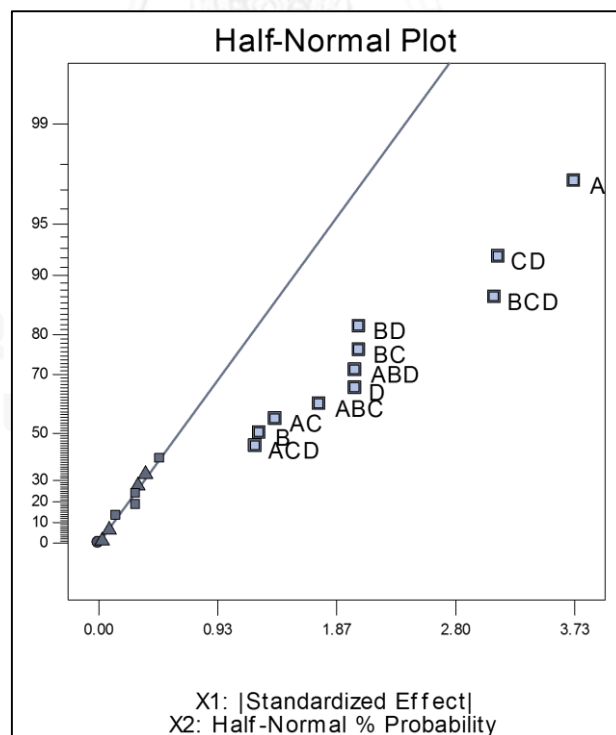
รูปที่ 4.10 แผนภูมิจำลองการกลั่นของผลิตภัณฑ์เหลวจากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 1 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์

ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง จะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเชื้อเพลิง ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ประกอบด้วย แนฟทา เคโรซีน ดีเซล กากน้ำมัน ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แต่พบว่าทุกการทดลององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวมีสัดส่วนของดีเซลมากกว่าองค์ประกอบชนิดอื่น ในเบื้องต้นอาจเป็นเพราะ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีความจำเพาะต่อการเกิดดีเซลมากกว่าองค์ประกอบอื่น

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มุ่งที่จะศึกษาผลของปัจจัยที่มีต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.8 ไปวิเคราะห์โดยการทำ ANOVA ของสัดส่วนของดีเซลในเชื้อเพลิงเหลว ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงผล ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า ปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (A) อัตราการป้อนน้ำมัน (B) และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (D) อีกทั้งยังพบว่า อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้ง 4 ตัว (AC BC BD CD ABC ABD ACD และ BCD) ก็มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวเช่นเดียวกัน โดยผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA นี้ สอดคล้องกับการทำ Half Normal probability plot ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลว ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดง Half Normal probability plot ของสัดส่วนของดีเซลใน

ผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง จะเห็นว่าตัวแปรที่มีแนวโน้มเบี่ยงเบนจากเส้นตรง ได้แก่ A B D AC BC BD CD ABC ABD ACD และ BCD แสดงให้เห็นว่าตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรดังกล่าว มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง อย่างเด่นชัด

รูปที่ 4.12 แสดง Normal Plot of Residuals ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Residuals กับ Predicted ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันและข้อมูลกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองที่นำมา มีความน่าเชื่อถือ



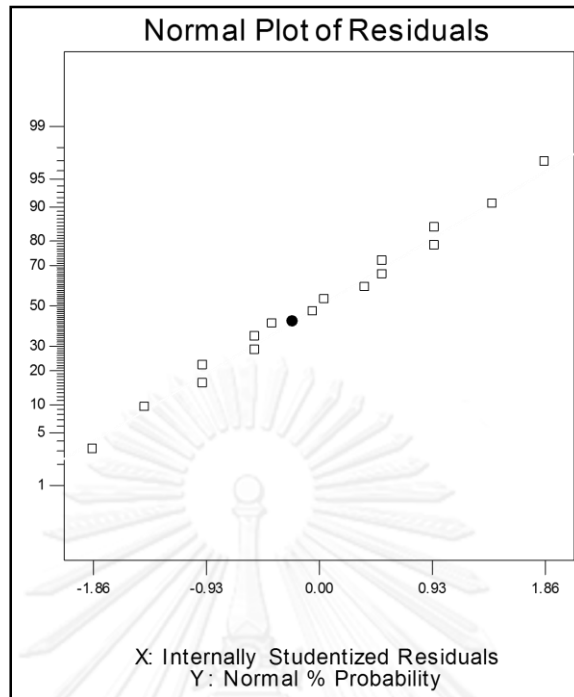
รูปที่ 4.11 Half Normal probability plot ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการการไพโรไลส์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโอไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

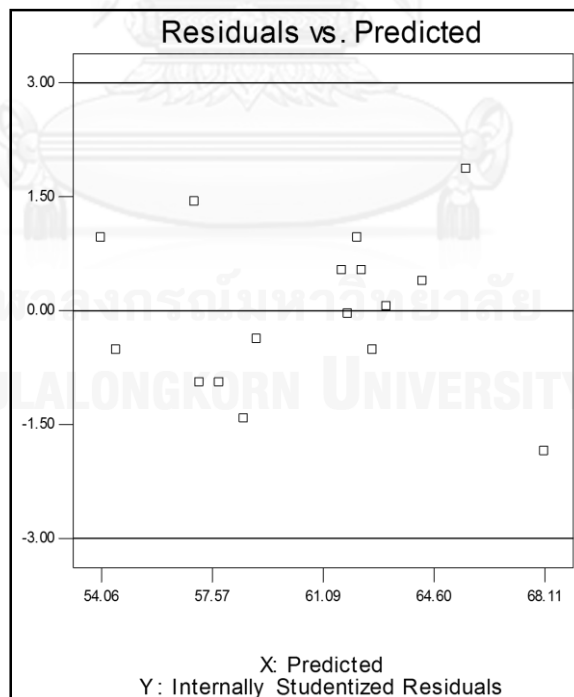
การทดลองที่	สัญลักษณ์ การทดลอง	ตัวแปร				องค์ประกอบ (ร้อยละโดยปริมาตร)			
		A	B	C	D	แนฟทา	เคโรซีน	ดีเซล	กากน้ำมัน
1	i	-1	-1	-1	-1	9.38	24.38	62.50	3.75
2	a	1	-1	-1	-1	8.75	22.50	57.50	11.25
3	b	-1	1	-1	-1	6.25	16.88	54.38	22.50
4	ab	1	1	-1	-1	8.75	20.63	56.88	13.75
5	c	-1	-1	1	-1	5.00	17.50	66.25	11.25
6	ac	1	-1	1	-1	5.63	20.50	58.88	15.00
7	bc	-1	1	1	-1	8.13	23.13	63.13	5.63
8	abc	1	1	1	-1	11.25	22.50	57.50	8.75
9	d	-1	-1	-1	1	8.75	28.13	61.88	1.25
10	ad	1	-1	-1	1	11.25	27.50	58.13	3.13
11	bd	-1	1	-1	1	7.50	25.00	67.50	0.00
12	abd	1	1	-1	1	10.00	13.75	64.38	11.88
13	cd	-1	-1	1	1	8.75	26.25	62.50	2.50
14	acd	1	-1	1	1	8.75	21.25	62.50	7.50
15	bcd	-1	1	1	1	7.50	17.50	61.88	13.13
16	abcd	1	1	1	1	10.00	20.63	54.38	15.00

ตารางที่ 4.9 ANOVA ของการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลส์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	232.1982	11	21.10893	49.01484	0.0009
A-Temperature	55.78223	1	55.78223	129.5261	0.0003
B-Feed rate	6.407227	1	6.407227	14.87755	0.0182
D-Cat. Vol.	16.25098	1	16.25098	37.73469	0.0036
AC	7.735352	1	7.735352	17.96145	0.0133
BC	16.75879	1	16.75879	38.91383	0.0034
BD	16.75879	1	16.75879	38.91383	0.0034
CD	39.4541	1	39.4541	91.61224	0.0007
ABC	12.03223	1	12.03223	27.93878	0.0061
ABD	16.25098	1	16.25098	37.73469	0.0036
ACD	6.094727	1	6.094727	14.15193	0.0197
BCD	38.67285	1	38.67285	89.79819	0.0007
Residual	1.722656	4	0.430664		
Cor Total	233.9209	15			

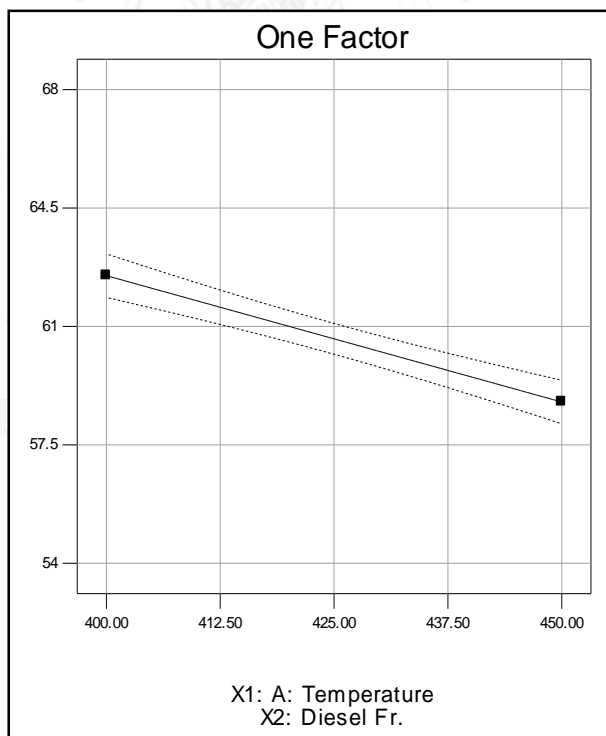


รูปที่ 4.12 Normal Plot of Residuals ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residuals กับ Predicted ของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

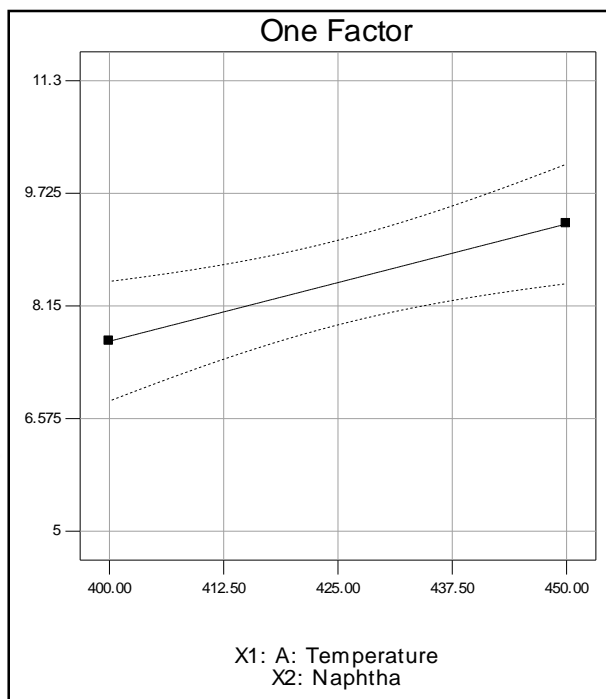
รูปที่ 4.14 แสดงผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้สัดส่วนของดีเซลลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาเป็นการเพิ่มพลังงานให้แก่สารตั้งต้น นั่นคือน้ำมันปาล์มดิบ จึงทำให้น้ำมันปาล์มดิบมีพลังงานในการสลายตัวมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยกลไกการสลายตัวนั้นจะเกิดจากโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลง และหากผลิตภัณฑ์เหล่านั้นยังคงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้เกิดการสลายตัวต่อเนื่อง ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การสลายตัวของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีองค์ประกอบของกาน้ำมันอยู่เป็นจำนวนมาก จะสลายตัวได้เป็นดีเซลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กลง เมื่อได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ดีเซลจะสลายตัวต่อเป็นเคโรซีน และแนฟทา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กลงตามลำดับ ดังนั้นหากน้ำมันปาล์มดิบมีพลังงานมากขึ้น จะส่งผลให้การสลายตัวทำได้ดีขึ้นจนส่งผลให้ได้สัดส่วนของดีเซลลดลงในผลิตภัณฑ์เหลว ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของแนฟทาในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า สัดส่วนของแนฟทามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น



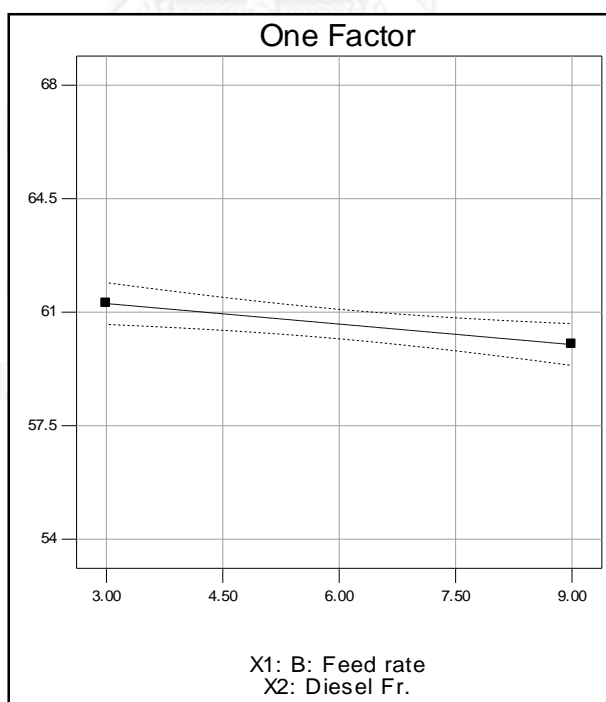
รูปที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

รูปที่ 4.16 แสดงผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า สัดส่วนของดีเซลมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการป้อนน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เครื่องปฏิกรณ์ที่มีความสามารถในการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันจึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ดีขึ้น และเมื่อได้รับความร้อนอย่างเพียงพอจึงทำให้สารตั้งต้นสลายตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ การที่น้ำมันปาล์มดิบสามารถสลายตัวได้มากขึ้นนั้น ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณอนุมูลอิสระ (free radical) คือ จะทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเนื่องจากอนุมูลอิสระมีความไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ เกิดปฏิกิริยาแตกตัวต่อได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ได้สัดส่วนของดีเซลลดลง แต่ได้สัดส่วนของเนฟทาเพิ่มมากขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันยังส่งผลต่อลักษณะการไหลของไอน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์ด้วย นั่นคือโดยทั่วไปการไพโรไลซิสหรือการสลายตัวของน้ำมันปาล์มดิบ จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายปฏิกิริยา ทั้งปฏิกิริยาการรวมตัว และปฏิกิริยาการแตกตัว โดยปฏิกิริยาการรวมตัวที่อาจเกิดขึ้นนั้น จะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ มีจุดเดือดสูง แต่ปฏิกิริยาการแตกตัวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก จุดเดือดต่ำ ดังนั้น ภายในเครื่องปฏิกรณ์จะมีผลิตภัณฑ์ต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย แต่ลักษณะทางกายภาพของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถคัดกรองผลิตภัณฑ์ที่จะออกจากเครื่องปฏิกรณ์ได้ในระดับหนึ่ง กล่าวคือ ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีไอของผลิตภัณฑ์อยู่ จากนั้นไอของผลิตภัณฑ์จะออกจากเครื่องปฏิกรณ์โดยการพาของแก๊สตัวพา ทางช่องทางที่ออกแบบไว้เพื่อให้ไอของผลิตภัณฑ์ออกมา โดยช่องทางดังกล่าวนี้ไม่มีการหุ้มฉนวนไว้ ซึ่งต่างจากตำแหน่งของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีฉนวนหุ้มไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ดังนั้น ที่ทางออกของไอผลิตภัณฑ์จะถ่ายโอนความร้อนสู่อากาศภายนอกโดยตรง ทำให้อุณหภูมิของไอผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้น ไอของผลิตภัณฑ์ที่มีจุดเดือดสูงจึงเกิดการควบแน่นและตกกลับลงสู่เครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ภายในเครื่องปฏิกรณ์จำเป็นต้องมีช่องว่างที่เพียงพอ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการเหล่านั้นสามารถควบแน่นตกกลับลงไปทำปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง แต่การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันจะทำให้ เกิดไอของผลิตภัณฑ์ขึ้นอย่างหนาแน่นในช่องว่างภายในเครื่องปฏิกรณ์ ส่งผลให้ช่องว่างดังกล่าว เสมือนมีพื้นที่ลดลง ทำให้ไอของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการไม่สามารถควบแน่นได้ และถูกผลักออกจากเครื่องปฏิกรณ์จนส่งผลให้ในผลิตภัณฑ์เหลวมีสัดส่วนของกาน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 4.18

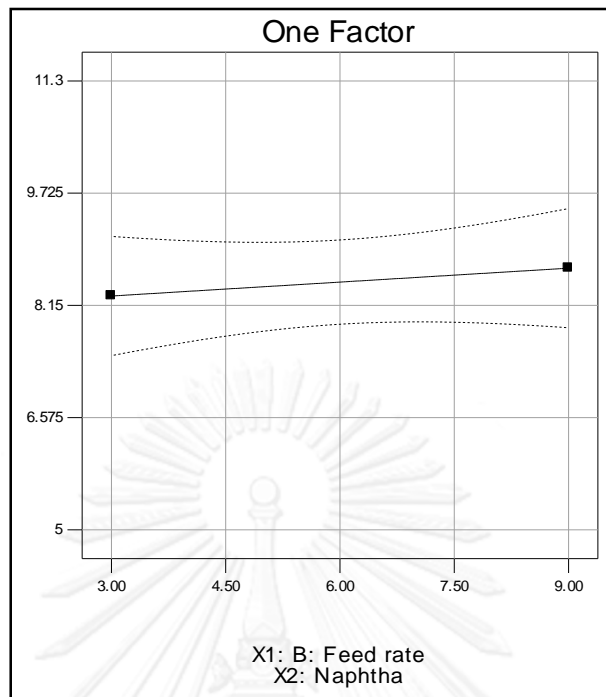
รูปที่ 4.19 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้สัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการส่งเสริมการเกิดดีเซล จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้มีสัดส่วนของดีเซลมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า สัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์เหลวที่ไม่ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



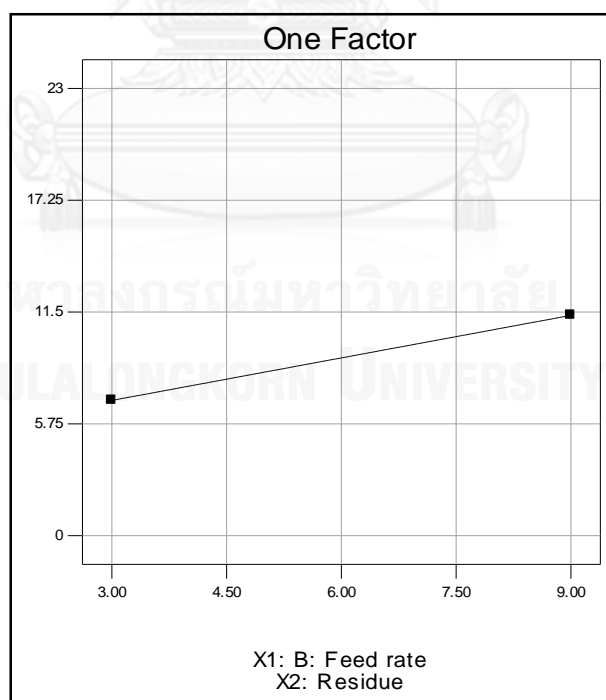
รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของแนฟทาในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



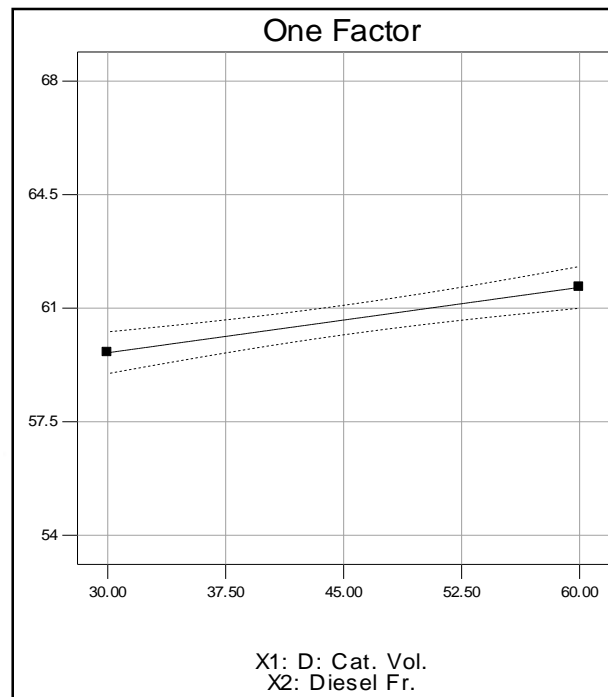
รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของแนฟทาในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.18 ผลของอัตราการป้อนน้ำมันต่อสัดส่วนของกากน้ำมันในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

4.5 การหาภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

เมื่อทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยวิธี ANOVA แล้วนั้นจะทำให้ทราบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์ของเหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง อีกทั้งยังทำให้ทราบว่าอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรก็มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลว เช่นเดียวกัน จึงทำให้ไม่สามารถเลือกภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีการเลือกแบบเลือกภาวะที่ดีที่สุดของแต่ละตัวแปรแยกกัน เนื่องจากการที่อัตราปฏิกิริยาระหว่างตัวแปรจะส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลว ไม่สอดคล้องกันกับแต่ละตัวแปร ดังนั้นการเลือกภาวะที่ดีที่สุดของแต่ละตัวแปรแยกกัน อาจจะไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมจริงๆ ก็เป็นไปได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะหาภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับทฤษฎีความน่าจะเป็น ใช้ระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface Methodology)[37] โดยมีการออกแบบการทดลองและข้อมูลการทดลอง ตารางที่ 4.10 แสดงการออกแบบการทดลองและข้อมูลการทดลองของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง แล้วนำข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design Expert ผลการวิเคราะห์ที่แสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของดีเซลกับตัวแปรที่ทำการศึกษาทั้งสี่ตัวแปร ที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซล โดยสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับตัวแปรนั้นมีผลต่อสัดส่วนของดีเซลมากน้อยเพียงใด ดังสมการที่ 4.3 จากนั้นจึงนำสมการที่ได้มาสร้างเป็นแผนภูมิสามมิติ ดังรูปที่ 4.20 แสดงแผนภูมิสามมิติของความเหมาะสมของภาวะที่เลือก โดยค่าของความเหมาะสมมีค่าน้อยที่สุดคือ 0 (สีน้ำเงิน) และมากที่สุดคือ 1 (สีเขียว) พบว่า ภาวะที่ดีที่สุดในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดนั้น มีความเหมาะสมสูงสุดที่ประมาณ 0.668 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ และจากรูปที่ 4.21 แสดงแผนภูมิสามมิติของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิและอัตราการป้อนน้ำมันที่ต่างกัน พบว่า ที่ภาวะจากค่าความเหมาะสมที่สูงที่สุดข้างต้น จะได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด คือร้อยละ 70 โดยปริมาตร จึงสรุปได้ว่า การไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดนั้น ควรทำที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ จะทำให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดที่ร้อยละ 70 โดยปริมาตร

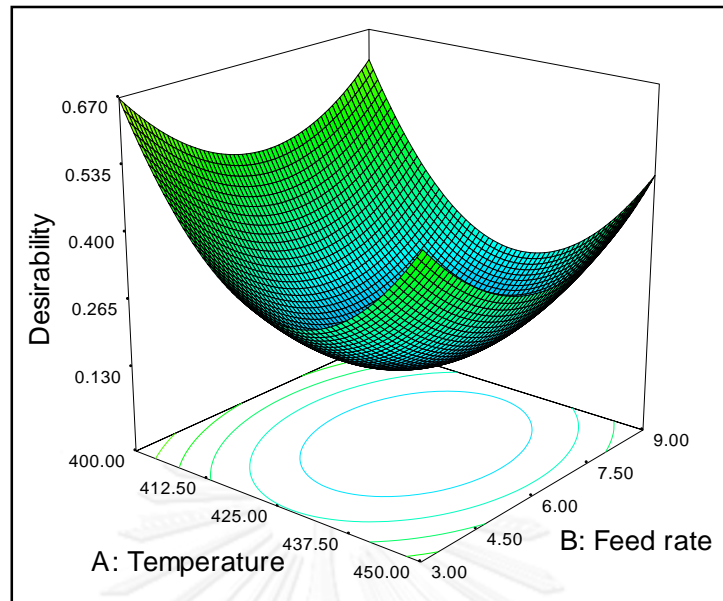
ตารางที่ 4.10 การออกแบบการทดลองและข้อมูลการทดลองของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโอไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด

ลำดับการทดลอง	ตัวแปร				สัดส่วนของดีเซล (%vol.)
	A (°C)	B (ml/min)	C (ml/min)	D (%v/v)	
17	400	3	50	30	62.50
19	450	3	50	30	57.50
14	400	9	50	30	54.37
22	450	9	50	30	56.87
10	400	3	150	30	66.25
12	450	3	150	30	58.87
28	400	9	150	30	63.12
11	450	9	150	30	57.50
27	400	3	50	60	61.87
13	450	3	50	60	58.12
24	400	9	50	60	67.50
4	450	9	50	60	64.37
25	400	3	150	60	62.50
9	450	3	150	60	62.50
18	400	9	150	60	61.87
5	450	9	150	60	54.37
3	400	6	100	45	63.12
20	450	6	100	45	59.37
30	425	3	100	45	61.25
29	425	9	100	45	53.75
21	425	6	50	45	52.50
7	425	6	150	45	41.35
15	425	6	100	30	51.25
16	425	6	100	60	53.12
6	425	6	100	45	57.50

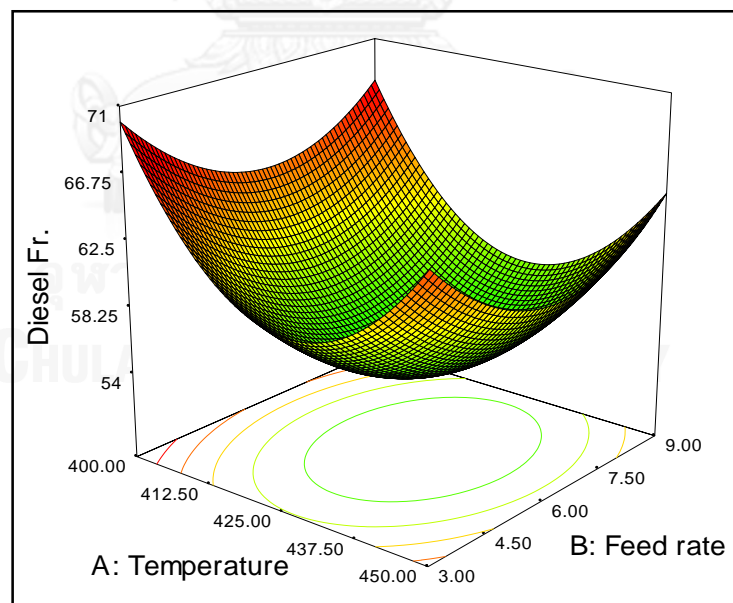
ตารางที่ 4.10 (ต่อ) การออกแบบการทดลองและข้อมูลการทดลองของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบ บนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ลำดับการทดลอง	ตัวแปร				สัดส่วนของดีเซล (%vol.)
	A (°C)	B (mL/min)	C (mL/min)	D (%v/v)	
2	425	6	100	45	55.0
1	425	6	100	45	55.50
23	425	6	100	45	54.00
26	425	6	100	45	53.12
8	425	6	100	45	56.00

$$\begin{aligned}
 \text{Diesel Fr.} = & 2480.166018 - 11.46549744xA - 7.710727339xB \\
 & + 0.83735636xC + 0.324281798xD + 0.001979167xAxB \\
 & - 0.00055625xAxC + 0.0001875xAxD - 0.006822917xBxC \\
 & + 0.022743056xBxD - 0.00209375xCxD + 0.013442456xA^2 \\
 & + 0.516837232xB^2 - 0.002369386xC^2 - 0.002937622xD^2
 \end{aligned} \tag{4.3}$$



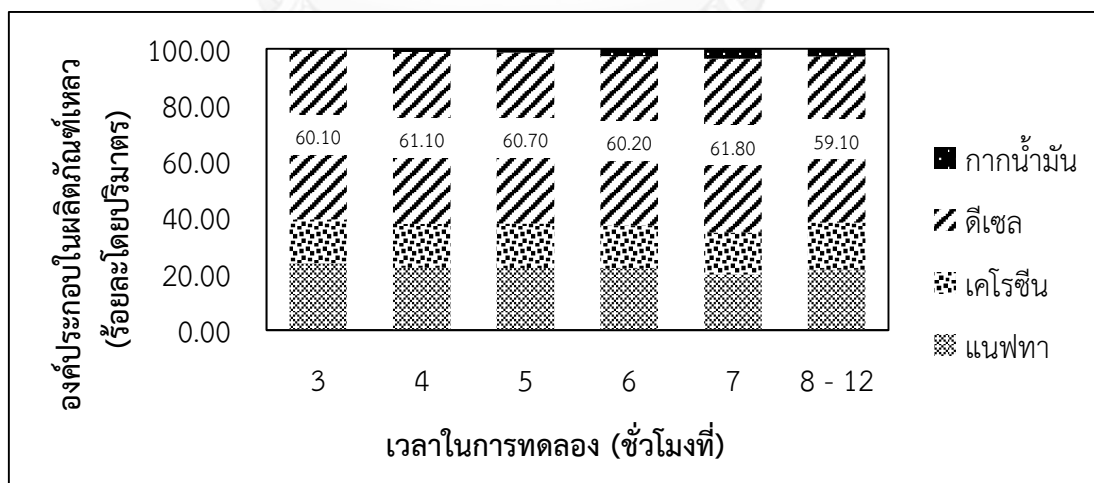
รูปที่ 4.20 แผนภูมิสามมิติของความเหมาะสมของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิและอัตราการป้อนน้ำมันที่ต่างกัน



รูปที่ 4.21 แผนภูมิสามมิติของสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิและอัตราการป้อนน้ำมันที่ต่างกัน

4.6 การไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดบนตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว จะนำภาวะเหล่านั้นมาทำการทดลองจริง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลองจริง และเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิง ของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้กับน้ำมันปาล์มดิบ และผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีไมต์ โดยทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุกชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 เป็นต้นไป แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์นั้นไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่นเพื่อศึกษาองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในผลิตภัณฑ์ แสดงในรูปที่ 4.22 โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด พบว่า องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้นั้นมีสัดส่วนไม่แตกต่างกันมากเมื่อทำการทดลองเป็นเวลานาน โดยพบว่า ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดประมาณร้อยละ 61 โดยปริมาตร และเมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของดีเซลในชั่วโมงที่ 3 ซึ่งเป็นชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหลว และชั่วโมงถัดไป จนถึงชั่วโมงสุดท้ายของการทดลอง พบว่า สัดส่วนของดีเซลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีไมต์ที่ใช้มีเสถียรภาพดี



รูปที่ 4.22 แผนภูมิองค์ประกอบทางเชื้อเพลิงในผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด

นอกจากทำการทดลองที่ภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยา โดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุดแล้ว ยังทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ระหว่างการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย จากการทดลองพบว่า สัดส่วนของดีเซลในเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าร้อยละ 61 โดยปริมาตร ซึ่งมีค่ามากกว่าสัดส่วนของดีเซลในเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่า ร้อยละ 53.7 โดยปริมาตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถส่งเสริมปฏิกิริยาการเกิดดีเซลได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ได้สัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์เหลวมากกว่าการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันปาล์มดิบ ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ถ่านกัมมันต์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate analysis : C, H, O, N) ของน้ำมันทั้ง 4 ตัวอย่าง ซึ่งจะแสดงการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และ ไนโตรเจน มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่า องค์ประกอบธาตุของน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าคาร์บอนร้อยละ 76.46 ไฮโดรเจนร้อยละ 11.94 ออกซิเจนร้อยละ 11.58 และไนโตรเจนร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก และพบว่า องค์ประกอบของน้ำมันที่ผ่านการไพโรไลซ์ เช่น ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ มีองค์ประกอบของคาร์บอนร้อยละ 85.25 ไฮโดรเจนร้อยละ 14.03 ออกซิเจนร้อยละ 0.70 และไนโตรเจนร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าค่าออกซิเจนของน้ำมันปาล์มดิบมีค่ามากกว่าค่าออกซิเจนของน้ำมันที่ผ่านการ ไพโรไลซ์แล้ว ซึ่งบ่งชี้ว่าการไพโรไลซ์น้ำมันพืชสามารถช่วยลดปริมาณออกซิเจนลงได้เป็นอย่างดี โดยการลดลงของปริมาณออกซิเจนส่งผลโดยตรงต่อค่าความร้อน โดยการลดลงของปริมาณออกซิเจนจะส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นจาก 40.6 เป็น 47.3 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้นี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของดีเซลที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 47 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [38]

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11 นั้น พบว่า ค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มดิบ ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ถ่านกัมมันต์ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซ์โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่า 19.18, 1.62, 2.55 และ 29.54 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง สามารถลดความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu และคณะ [5] ซึ่งพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างสามารถลดความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เหลวได้ อีกทั้งในงานวิจัยของ Tani และคณะ[6] ได้อธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ดังสมการที่ 4.3 คือ ออกไซด์ของโลหะ เช่น MgO จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกลายเป็นคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ทำให้กรดไขมันสลายตัวต่อเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จึงทำให้ความเป็นกรดลดลง และคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นจะสลายตัวกลับมา

อยู่ในรูปของออกไซด์ใหม่อีกครั้งหนึ่งดังที่แสดงในสมการที่ 4.4 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้ภายในเครื่องปฏิกรณ์เดียวกัน

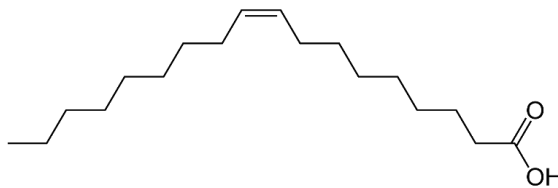


ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันที่ผ่านการไพโรไลซ์แล้วพบว่า ค่าความหนืดมีค่าลดลงจาก 59.08 เป็น 2.18 เซนติสโตกส์ โดยค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการไพโรไลซ์แล้วนั้นมีความอยู่ในช่วงของน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียมที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าต้องมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.3 – 2.4 เซนติสโตกส์ [38]

รูปที่ 4.25 ซึ่งแสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสเปกโตรเมทรี ของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด และตารางที่ 4.12 ซึ่งแสดงองค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสเปกโตรเมทรี พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลเคน (alkane) และแอลคีน (alkene) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยพบ แอลเคนและแอลคีนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 15 อะตอม มีค่ารวมกันมากที่สุดที่ร้อยละ 18.35 ของพื้นที่พีคทั้งหมด (ไม่รวมตัวทำละลาย) เนื่องจากในองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยกรดไขมันปาล์มมิดิก และกรดไขมันโอเลอิก เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งกรดไขมันปาล์มมิดิกเป็นกรดไขมันที่มีอะตอมคาร์บอน 16 อะตอมเรียงต่อกัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น คาร์บอนที่เป็นหมู่คาร์บอกซิลิกจะสลายตัวกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ไฮโดรคาร์บอนที่ได้เป็นโมเลกุลของคาร์บอน 15 อะตอมเรียงต่อกัน แต่จากการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทแกรม-แมสเปกโตรเมทรี ไม่พบองค์ประกอบของแอลเคนและแอลคีนที่มีอะตอม 17 อะตอมเรียงกัน ทั้งที่ควรเป็นองค์ประกอบที่ได้จากการสลายตัวกรดโอเลอิกที่มีอะตอมคาร์บอนเรียงต่อกัน 18 อะตอม เนื่องจากกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว นั่นคือ กรดโอเลอิกมีตำแหน่งที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ดังที่แสดงในรูปที่ 4.23 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันโอเลอิก จะเห็นว่าตำแหน่งที่เกิดพันธะคู่อยู่ที่อะตอมคาร์บอนอะตอมที่ 9 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่เสถียร และสามารถสลายตัวได้ง่าย ทำให้เกิดการสลายตัวต่อเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นได้อย่างมากมายดังที่แสดงในตารางที่ 4.12

นอกจากนี้ จากตารางที่ 4.12 ยังพบองค์ประกอบที่มีนัยสำคัญต่อการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน นั่นคือ ทุกการทดลองจะพบองค์ประกอบของ 2-Heptadecanone (ที่เวลา 9.699 นาที) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งแสดงโครงสร้างของ 2-Heptadecanone โดยองค์ประกอบที่พบนี้ ประกอบไปด้วยหมู่ของคีโตน ที่ตำแหน่งอะตอมคาร์บอนอะตอมที่ 2 อีกด้านหนึ่งเป็นหมู่เมทิล (methyl) และอีกด้านหนึ่งต่อกับแอลเคนที่มีอะตอมคาร์บอน 15 อะตอม รวมจำนวน

อะตอมคาร์บอนทั้งหมด 17 อะตอม ใกล้เคียงกับกรดปาล์มไมติกที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันปาล์มดิบ การพองค์ประกอบดังกล่าว สามารถทำให้ทราบและยืนยันการสลายของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ได้ ดังนี้ คือ การสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์จะเกิดการแตกของหมู่เอสเทอร์ ทีละหมู่ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล[30] จากนั้นจึงจะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนชนิดที่ไม่มีออกซิเจนในโมเลกุล โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน จะเกิดผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาหลักสองกลไก ได้แก่ กลไกการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์แบบ β -elimination ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดคาร์บอกซิลิก จากนั้น กรดคาร์บอกซิลิกที่เกิดขึ้นจะเกิดการแตกตัวแบบ γ -hydrogen transfer ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลเคน หรือ แอลคีน และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้การแตกตัวของกรดคาร์บอกซิลิกแบบ γ -hydrogen ยังอาจเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นเมทิลคีโตนได้เช่นกัน แต่เมทิลคีโตนที่เกิดขึ้นสามารถแตกตัวต่อ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลเคน หรือแอลคีน และคาร์บอนมอนอกไซด์ [2] ดังนั้น จากตารางที่ 4.12 พบบองค์ประกอบของเมทิลคีโตน (2-Heptadecanone) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของที่ผสมบวมของกรดไขมัน และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.26 แสดงองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด พบบองค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด (ร้อยละ 55.6 โดยปริมาตร) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการแตกตัวที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันแบบสมบูรณ์เป็นส่วนใหญ่ และพบการแตกตัวของกรดคาร์บอกซิลิกที่ไม่สมบูรณ์เพียงเล็กน้อย โดยแสดงจากสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีเพียงร้อยละ 12.6 โดยปริมาตร นอกจากนี้ พบบองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ C_1 (methane) C_2 (ethylene + ethane) C_3 (propylene + propane) และ C_4 (butene + butane) โดยพบ C_1 มีสัดส่วนมากที่สุด สาเหตุที่ทำให้ได้ C_1 มากกว่าแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นนั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่อาจสันนิษฐานได้ดังนี้ กล่าวคือ การแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ จะเกิดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลทีละหมู่ ได้เป็นกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ จากนั้น ไตรกลีเซอไรด์จะแตกตัวต่อเป็นกรดไขมัน และโมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับ จากนั้นโมโนกลีเซอไรด์จะเกิดการแตกตัวที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์แทนที่จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมัน และได้ $CH_2CHCHO\cdot$ radical โดย radical ดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็น มีเทน เอทิลีน และ H_2O [2],[30],[39]



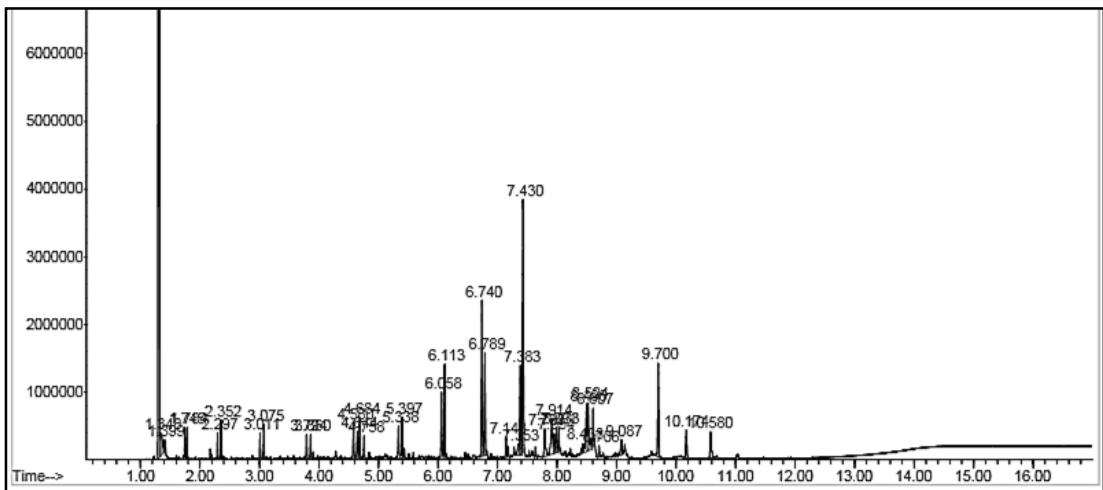
รูปที่ 4.23 โครงสร้างของกรดไขมันโอเลอิก [40]



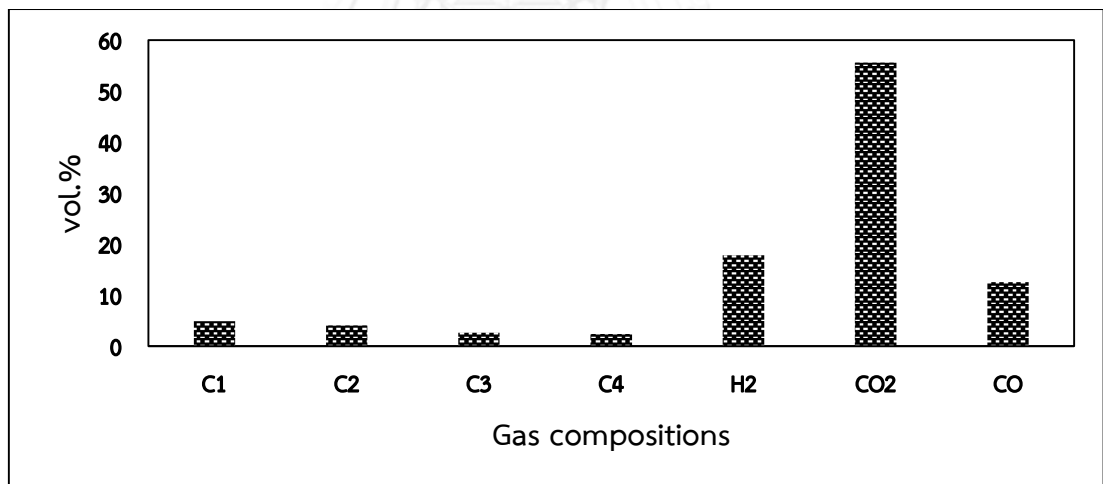
รูปที่ 4.24 โครงสร้างของ 2-Heptadecanone [40]

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันปาล์มดิบ ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลส์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

	CPO	Blank	Dolomite	MgO+AC
Components (vol.%)				
- Naphtha	8.00	23.00	23.80	15.80
- Kerosene	2.00	21.50	15.60	14.90
- Diesel	10.00	53.70	60.10	65.50
- Long residue	80.00	2.00	0.50	4.20
Ultimate analysis (wt.%)				
- C	76.46	80.26	85.25	83.95
- H	11.94	13.69	14.03	13.87
- O	11.58	6.03	0.70	2.16
- N	0.02	0.02	0.02	0.02
Fuel properties				
- HV (MJ/kg)	40.60	45.36	47.30	46.96
- Acidity (mgKOH/g)	19.18	29.54	1.62	2.55
- Kinematic Viscosity (cSt)	59.08	4.23	2.18	2.54



รูปที่ 4.25 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสม ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสเปกโตเมตรี



รูปที่ 4.26 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาดีโอไมต์ โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสม ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสเปกโตรเมตรี

เวลา (นาที)	พื้นที่พีค (ร้อยละ)	ชื่อสาร
1.743	1.23	1-Heptene
1.782	1.28	Heptane
2.298	1.21	1-Octene
2.355	2.01	octane
3.009	1.35	1-Nonene
3.074	2.37	nonane
3.794	1.46	1-Decene
3.859	2.19	Decane
4.583	2.23	Undecene
4.644	2.74	Undecane
4.683	1.30	5-Undecene
5.337	2.74	1-Dodecene
5.398	4.24	Dodecane
6.057	4.79	1-Tridecene
6.113	6.32	Tridecane
6.738	7.50	1-Tetredcene
6.79	7.41	Tridecane
7.145	1.28	Cyclopentane, decyl-
7.384	5.24	1-Pentadecene
7.431	13.11	Pentadecane
7.791	2.07	n-Nonylcyclohexane
7.913	2.76	Cyclohexene, 1-nonyl-
7.991	2.37	Cetene
8.034	3.42	Hexadecane

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสเปกโตเมตรี

เวลา (นาที)	พื้นที่พีค (ร้อยละ)	ชื่อสาร
8.493	1.60	E-14-Hexadecenal
8.524	1.92	8-Heptadecene
8.606	3.19	Heptadecane
9.699	6.68	2-Heptadecanone
10.171	1.89	Octadeca-4-one
10.579	2.12	Z,E-3,13-Octadecadien-1-ol

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของน้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น เป็นผลเช่นเดียวกับการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ โดยทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลเช่นเดียวกัน คือ หากเพิ่มปัจจัยทั้งสองให้มากขึ้นจะส่งผลให้ได้สัดส่วนของดีเซลในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวลดลง แต่อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซลคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะให้ผลแตกต่างจากปัจจัยทั้งสองก่อนหน้า โดยการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้สัดส่วนของดีเซลเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะ ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเฉพาะต่อการเกิดดีเซล จึงทำให้ได้ดีเซลมากขึ้น จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดที่จะทำให้ได้สัดส่วนของดีเซลมากที่สุด ด้วยโปรแกรม Design Expert พบว่า ภาวะที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.51 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.22 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของดีเซลสูงสุด ร้อยละ 70 โดยปริมาตร และจากการนำภาวะที่ดีที่สุดไปทำการทดลองจริง และนำผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ไปหาสมบัติของเชื้อเพลิง พบว่า มีค่าความร้อน 47.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด 1.62 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัม และพบว่ามีองค์ประกอบของธาตุออกซิเจนเพียงร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับดีเซลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาความสามารถในการนำตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์กลับมาใช้ใหม่
- 5.2.2 ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่าง ชนิดอื่นเพิ่มเติม ซึ่งอาจให้ผลที่ดีกว่า
- 5.2.3 ศึกษาการนำเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลชนิดต่างๆ เช่น เครื่องยนต์ในรถยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องจักรของเกษตรกร เพื่อเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม และเป็นการส่งเสริมให้ใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลซึ่งมีความเหมาะสมกว่า
- 5.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ ในการผลิตดีเซลจากน้ำมันพืช

รายการอ้างอิง

1. Shuli Yan, C.D., Huali Wang, Siddharth Mohan, Manhoe Kim, Like Yang, and K.Y.S.N. Steven O. Salley, *Catalytic Conversion of Triglycerides to Liquid Biofuels Through Transesterification, Cracking, and Hydrotreatment Processes*. Current Catalysis, 2012. **1**(1): p. 41-51.
2. Maher, K.D. and D.C. Bressler, *Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals*. Bioresour Technol, 2007. **98**(12): p. 2351-68.
3. Y. B. Che Man, T.H., H. M. Ghazali, B. A. Asbi, *Composition and thermal profile of crude palm oil and its products*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1999. **76**(2): p. 237-242.
4. กระทรวงพลังงาน, ก. สถานการณ์น้ำมันปาล์มดิบ. Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/160>.
5. Xu, J., et al., *Production of hydrocarbon fuels from pyrolysis of soybean oils using a basic catalyst*. Bioresour Technol, 2010. **101**(24): p. 9803-6.
6. Tani, H., et al., *Selective catalytic decarboxy-cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon*. Catalysis Today, 2011. **164**(1): p. 410-414.
7. ไชยเวช, ป., *ปิโตรเลียมเทคโนโลยี (PETROLEUM TECHNOLOGY)*. 2 ed. 2548, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สุนทรออฟเซท.
8. กระทรวงพลังงาน, A.ก. น้ำมันดิบ. 2009; Available from: http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=92&lang=th.
9. สารานุกรมเสรี, ว. ปิโตรเลียม. Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%B4%E0%B9%82%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1>.
10. *paraffin structure*. Available from: http://www.google.co.th/imgres?espv=210&es_sm=122&biw=1366&bih=667&tbm=isch&btnid=XE_2EINCvVqVRM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fpatents%2FEP0954693B1%3Fcl%3Den&docid=Tomib8bvPoIViM&imgurl=http%3A%2F%2Fpatentimages.storage.googleapis.com%2FEP0954693B1%2F00070001.png&w=1520&h=487&ei=5XMdU4gohJOuB8TcgfAL&zoom=1&ved=0CIYBEIQcMBI&iact=rc&dur=2666&page=2&start=14&ndsp=21.
11. *naphthene structure*. Available from: http://www.google.co.th/imgres?espv=210&es_sm=122&biw=1366&bih=667&tbm=isch&btnid=Pn0Kd3wvkULYZM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fpatents%2FEP0954693B1%3Fcl%3Den&docid=Tomib8bvPoIViM&imgurl=http%3A%2F%2F

patentimages.storage.googleapis.com%2FEP0954693B1%2F00070002.png&w=1168&h=571&ei=LnUdU9G_OY7MrQe1goCYAg&zoom=1&ved=0CFAQhBwwAA&iact=rc&dur=839&page=1&start=0&ndsp=16.

12. *aromatic structure*. Available from:
http://www.google.co.th/imgres?espv=210&es_sm=122&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=u1NklaahHOLkOM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fchemengineering.wikispaces.com%2FPetroleum%2Bcrude%2Boil&docid=sjMPUNG349eOAM&imgurl=http%3A%2F%2Fchemengineering.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FHC_Aromatics.png%2F253793238%2FHC_Aromatics.png&w=406&h=236&ei=LnUdU9G_OY7MrQe1goCYAg&zoom=1&ved=0CH0QhBwwDw&iact=rc&dur=5120&page=1&start=0&ndsp=16
13. สารานุกรมเสรี, ว. แก๊สธรรมชาติ. Available from:
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4>
14. Energy), ก.ม.อ. ก๊าซธรรมชาติ. Available from:
<http://www.energy.go.th/index.php?q=node/386>
15. จันท์สุวรรณ, อ.ว., เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเคมีประยุกต์, in ปีโตรเลียม. 2013.
16. กระทรวงพลังงาน, แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 - 2573). 2011.
17. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. พลังงานทดแทน. Available from:
<http://www.dede.go.th/>
18. กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564). 2012.
19. (วว.), ส. การผลิตและตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. Available from:
www.tistr.or.th
20. Solution, F.N. น้ำมันปาล์ม. Available from: www.foodnetworksolution.com.
21. เรื่องพรวิสุทธิ, ว., เคมีพื้นผิวและปฏิกิริยาเร่ง. 2554, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.
22. จตุพร วิทยาคูณ, น.ก., การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์. 2547, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
23. กรมทรัพยากรธรณี. โดโลไมต์. Available from: <http://www.dmr.go.th/>.
24. *The Rhombohedral Lattice*. Available from:
http://www.saylor.org/content/watkins_flattice/11rhomb.html.
25. *Dolomite structure*. Available from: [https://staff.aist.go.jp/nomura-k/common/STRUCIMAGES/CaMg\(CO3\)2-Dolomite.gif](https://staff.aist.go.jp/nomura-k/common/STRUCIMAGES/CaMg(CO3)2-Dolomite.gif).
26. คติกาจร, พ., การพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสสายธรรมชาติเพื่อช้ให้ได้ผลิตภัณฑ์มันสำหรับยานยนต์, in ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2550, มหาวิทยาลัยศิลปากร: กรุงเทพฯ.

27. Brownsort, P.A., *Biomass Pyrolysis Processes: Performance Parameters and Their Influence on Biochar System Benefits*, in *Science*. 2009, University of Edinburgh: United Kingdom.
28. Haruki TANI, M.S., Hiroyuki HAGA, and Kaoru FUJIMOTO, *Development of Direct Production Process of Diesel Fuel from Vegetable Oils*. Japan Institute of Energy, 2011. **90**: p. 466-470.
29. Fortes, I.C.P. and P.J. Baugh, *Pyrolysis–GC/MS studies of vegetable oils from Macauba fruit*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004. **72**(1): p. 103-111.
30. Benson, T.J., et al., *Elucidation of the catalytic cracking pathway for unsaturated mono-, di-, and triacylglycerides on solid acid catalysts*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2009. **303**(1-2): p. 117-123.
31. Ooi, Y.-S., et al., *Catalytic conversion of palm oil-based fatty acid mixture to liquid fuel*. *Biomass and Bioenergy*, 2004. **27**(5): p. 477-484.
32. จารุศิริ, ว., การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นซซ์แล้วด้วยความร้อนเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง, in *ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์*. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
33. มงคล, ม., การแตกตัวของน้ำมันพืชซซ์แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยซซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์และ HZSM-5, in *ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์*. 2546, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
34. วิสุทธิ์รังษิ์ไธ, น., การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชซซ์แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ, in *ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์*. 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
35. จึงเจริญพานิชย์, เ., ไพโลโรซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วด้วยแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง, in *ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์*. 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
36. Yoosuk, B., P. Udomsap, and B. Puttasawat, *Hydration–dehydration technique for property and activity improvement of calcined natural dolomite in heterogeneous biodiesel production: Structural transformation aspect*. *Applied Catalysis A: General*, 2011. **395**(1-2): p. 87-94.
37. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiment*. 8 ed. 2009: John Wiley & Sons, Inc.
38. Materials, A.S.f.T.a., *ASTM D975: Standard Specification for Diesel Fuel Oils*, in *40 CFR 1065.701*. 2007: WASHINGTON, D.C.
39. Morgan, T., et al., *Catalytic deoxygenation of triglycerides to hydrocarbons over supported nickel catalysts*. *Chemical Engineering Journal*, 2012. **189-190**: p. 346-355.

40. *2-Heptadecanone, oleic acid*. Available from:
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/51592?lang=en®ion=TH>.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ตัวแปร สัญลักษณ์ตัวแปร และระดับของตัวแปรที่ต้องการศึกษา

ตัวแปร	สัญลักษณ์ ตัวแปร	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (1)
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา(องศาเซลเซียส)	A	400	425	450
อัตราการป้อนน้ำมัน (มิลลิลิตรต่อนาที)	B	3	6	9
อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (มิลลิลิตรต่อนาที)	C	50	100	150
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์)	D	30	45	60

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับประสมกลาง

การทดลอง ที่	สัญลักษณ์การ ทดลอง	น้ำหนักของวัตถุดิบที่	น้ำหนักผลิตภัณฑ์	ผลได้ของผลิตภัณฑ์ เหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยปริมาตร)			
		หายไป (กรัม)	เหลวที่ได้* (กรัม)		แอฟทา	เคโรซีน	ดีเซล	กาก น้ำมัน
1	i	114.30	67.39	58.96	9.38	24.38	62.50	3.75
2	a	623.10	417.85	67.06	8.75	22.50	57.50	11.25
3	b	592.40	530.02	89.47	6.25	16.88	54.38	22.50
4	ab	366.90	259.21	70.65	8.75	20.63	56.88	13.75
5	c	148.30	37.08	25.00	5.00	17.50	66.25	11.25
6	ac	212.70	187.47	88.14	5.63	20.50	58.88	15.00
7	bc	450.90	211.11	46.82	8.13	23.13	63.13	5.63
8	abc	351.60	291.34	82.86	11.25	22.50	57.50	8.75
9	d	285.90	114.36	40.00	8.75	28.13	61.88	1.25
10	ad	151.00	109.85	72.75	11.25	27.50	58.13	3.13
11	bd	289.60	133.10	45.96	7.50	25.00	67.50	0.00
12	abd	259.30	172.23	66.42	10.00	13.75	64.38	11.88
13	cd	186.40	89.14	47.82	8.75	26.25	62.50	2.50

ตาราง ก.2 (ต่อ) ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับประสมกลาง

การทดลอง ที่	สัญลักษณ์การ ทดลอง	น้ำหนักของวัตถุดิบที่	น้ำหนักผลิตภัณฑ์	ผลได้ของผลิตภัณฑ์ เหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยปริมาตร)			
		หายไป (กรัม)	เหลวที่ได้*		(กรัม)	แห้งพทา	เคโรซีน	ดีเซล
14	acd	193.90	146.28	75.44	8.75	21.25	62.50	7.50
15	bcd	277.00	225.01	81.23	7.50	17.50	61.88	13.13
16	abcd	419.90	380.89	90.71	10.00	20.63	54.38	15.00
17	center	102.00	72.27	70.85	8.13	19.38	57.50	15.00
18	center	156.90	148.16	94.43	8.52	19.56	53.12	18.79
19	center	192.60	164.33	85.32	8.67	19.75	55	16.58
20	center	151.20	120.99	8002.	8.02	19.05	55.5	17.43
21	center	139.40	123.13	8833.	8.75	28.13	61.88	1.25

*เก็บตัวอย่างเมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่ (steady state) แล้ว

ตารางที่ ก.3 การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลสูงที่สุด

ลำดับการทดลอง	ตัวแปร				สัดส่วนของดีเซล (%vol.)
	A (°C)	B (ml/min)	C (ml/min)	D (%v/v)	
17	400	3	50	30	62.50
19	450	3	50	30	57.50
14	400	9	50	30	54.37
22	450	9	50	30	56.87
10	400	3	150	30	66.25
12	450	3	150	30	58.87
28	400	9	150	30	63.12
11	450	9	150	30	57.50
27	400	3	50	60	61.87
13	450	3	50	60	58.12
24	400	9	50	60	67.50

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลสูงที่สุด

ลำดับการทดลอง	ตัวแปร				สัดส่วนของดีเซล (%vol.)
	A (°C)	B (mL/min)	C (mL/min)	D (%v/v)	
4	450	9	50	60	64.37
25	400	3	150	60	62.50
9	450	3	150	60	62.50
5	450	9	150	60	54.37
3	400	6	100	45	63.12
20	450	6	100	45	59.37
30	425	3	100	45	61.25
29	425	9	100	45	53.75
21	425	6	50	45	52.5
7	425	6	150	45	41.35
15	425	6	100	30	51.25

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) การออกแบบการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซ์น้ำมันปาล์มดิบบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สัดส่วนของดีเซลสูงที่สุด

ลำดับการทดลอง	ตัวแปร				สัดส่วนของดีเซล (%vol.)
	A (°C)	B (mL/min)	C (mL/min)	D (%v/v)	
16	425	6	100	60	53.12
6	425	6	100	45	57.50
26	425	6	100	45	53.12
2	425	6	100	45	55.00
1	425	6	100	45	55.50

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เหลว

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เหลว} = \frac{W_p}{W_r} \times 100$$

เมื่อ W_p คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ มีหน่วยเป็น กรัม

W_r คือ น้ำหนักของสารตั้งต้นที่หายไป มีหน่วยเป็น กรัม

ภาคผนวก ข.

การหองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลว

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์ ด้วยวิธี โครมาโทกราฟี ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความสามารถแยกและวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบ ซับซ้อนได้ และยังให้ผลเที่ยงตรง รวดเร็วกว่า ลิวิดโครมาโทกราฟี แก๊สโครมาโทกราฟี มี เทคนิคในการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง เรียกว่า “gas-solid chromatography” (GSC) และการใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว เรียกว่า “gas-liquid chromatography” (GLC) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ได้เป็นแก๊ส เทคนิคทั้งสองได้ถูก นำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยที่เทคนิคของ GLC เป็นที่นิยมกันมากกว่า แก๊สโครมาโทกราฟี ใช้ได้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ณ อุณหภูมิของคอลัมน์เท่านั้น ดังนั้นวิธีการของ แก๊สโครมาโทกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น เพราะ สารประกอบอินทรีย์สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย จะไม่ใช้วิธีแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับสาร วิเคราะห์สารประกอบอนินทรีย์ เพราะสารประกอบอนินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติ (ที่ทำการทดลอง) ของคอลัมน์ วิธีแก๊สโครมาโทกราฟีสามารถใช้ในการ วิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและทางปริมาณ

โดยทั่วไปมีส่วนประกอบดังนี้

1. แก๊สที่ใช้ทำงานกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ มี 3 ชนิด คือ
 - 1.1 แก๊สเฉื่อย ได้แก่ ฮีเลียม อาร์กอน หรือไนโตรเจน ซึ่งใช้เป็นแก๊สพา (Carrier Gases) เพื่อ จะใช้พาไอของสารหรือแก๊สตัวอย่างเข้าคอลัมน์
 - 1.2 แก๊สไฮโดรเจนเพื่อใช้ใน Flame Ionization Detector (FID)
 - 1.3 อากาศ เพื่อใช้ผสมกับไฮโดรเจนใน FID
2. Gas Traps และ Filters เป็นส่วนช่วยทำให้ระบบของแก๊สที่จะใช้งานสะอาดและ บริสุทธิ์ ซึ่งก็มีลักษณะเป็น Cartridge คือ
 - 2.1 Molecular Sieve Trap ใช้ดูดความชื้น
 - 2.2 Oxygen Trap เป็นที่จับแก๊สออกซิเจน
 - 2.3 Hydrocarbon Filter ใช้จับแก๊สไฮโดรคาร์บอนและไอของน้ำมันสำหรับ แก๊สตัวพาควรจะต้องผ่าน Filter อากาศควรจะต้องผ่าน Charcoal Filter
3. ตัวควบคุมอัตราการไหล (Flow Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สตัวพา

4. ส่วนที่จะฉีดสารเข้าคอลัมน์ (Injection Port) ทำหน้าที่ฉีดสารเข้าคอลัมน์และให้ความร้อนให้สารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นเฟสไอ

5. คอลัมน์ (Column) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับแยกสารซึ่งสำคัญที่สุด นิยมใช้คอลัมน์ที่ทำจากทองแดง นิกเกิล หรือเหล็กกล้าไร้สนิม อัจฉอยู่ในรูป U Tube ความยาวของคอลัมน์ประมาณ 1-2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง (Inner Diameter) 3-6 มม. อาจมีการใช้คอลัมน์ที่ทำจากแก้วในการแยกสารสเตียรอยด์ ยา หรือสารประกอบชีวภาพนอกจากนี้ยังมีคอลัมน์ชนิดขนาดรูเล็ก (Capillary Column) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มม. แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

5.1 Wall-Coated Open Tubular (WCOT) คอลัมน์ที่มีเฟสหยุดนิ่งเป็นของเหลวเคลือบเป็นฟิล์ม บางๆ (0.1-1 ไมครอน) อยู่ที่ผนังด้านใน ความยาวของคอลัมน์ประมาณ 10-100 เมตร

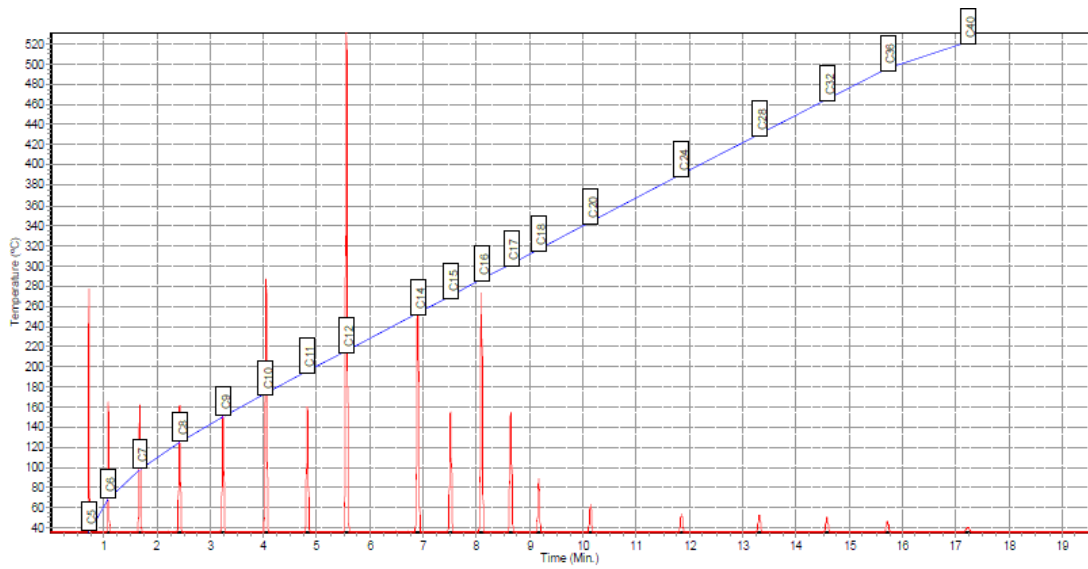
5.2 Support Coated Open Tubular (SCOT) คอลัมน์ที่มีตัวรองรับ หรือเมทริกซ์บรรจุอยู่ภายใน ความยาวของคอลัมน์ ประมาณ 10-100 เมตร

5.3 Micropacked Column คอลัมน์ขนาดเล็ก มีความยาวประมาณ 0.7-1.0 เมตร

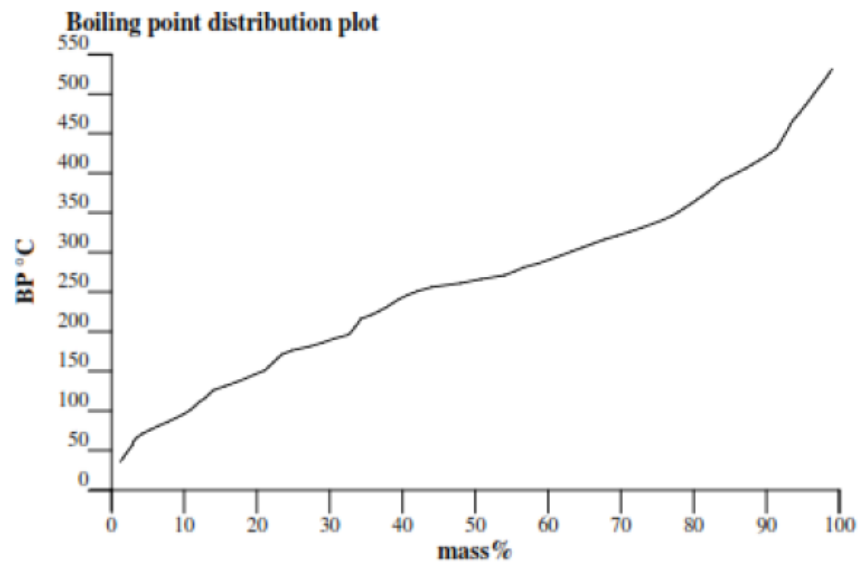
6. Flame Ionization Detector (FID) สารที่ผ่านจากคอลัมน์จะถูกเผาโดยเปลวไฟ (Flame) ทำให้แตกตัวเป็นไอออน ภายในตัวตรวจวัดมี ขั้ว ไฟฟ้า (Electrode) ที่จะจับกับไอออนซึ่งมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ตัวตรวจวัดชนิด FID นี้เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด

กราฟแสดงการกระจายตัวตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการกลั่นแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟจะเปลี่ยนเป็นกราฟกระจายตัวตามคาบจุดเดือด (Boiling Point Distribution Plot) ด้วยโปรแกรมจำลองการกลั่นเทียบกับโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานตาม ASTM D2887 และโครมาโทแกรม ดังแสดงในรูปที่ ฉ.1 และ ฉ.2



รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมจากการแยกองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของเชื้อเพลิงเหลวจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ



รูปที่ ข.2 แผนภูมิจำลองการกลั่น

ภาคผนวก ค.

การออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับ และการใช้โปรแกรม Design Expert

การออกแบบการทดลองเชิงตัวประกอบแบบสองระดับ

การออกแบบเชิงตัวประกอบแบบสองระดับ นิยมใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งต้องการที่จะศึกษาผลรวมที่มีต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ แต่ละระดับเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรือเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และในสองระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ ใน 1 เรพลิตที่บริสุทธิ์ สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ และเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรกเมื่อมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ต้องการจะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้ทำให้เกิดการทดลองลดจำนวนลงเพื่อที่สามารถศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริสุทธิ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ ดังนั้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยที่การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้ลดน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล ประกอบด้วย 2 ระดับ ผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่งสมมติฐานสามารถยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อใช้ปัจจัยทำการศึกษาระบบ

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับชนิดแรก คือการออกแบบที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และ B) แต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบสามารถแสดงผลของปัจจัยด้วยตัวอักษรลาตินตัวใหญ่ ดังนั้น A จะแทนผลของปัจจัย A, B แทนผลของปัจจัย B และ AB แทนอันตรกิริยาของปัจจัย AB ในการออกแบบ 2^2 ระดับต่ำและสูงจะแทนด้วยเครื่องหมาย + และ - บนแกน A และ B ตาม ดับการทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย สำหรับการออกแบบจะแทนด้วยตัวอักษรเล็ก จะเห็นได้ว่าสำหรับระดับสูงของปัจจัยใดๆจะแทนด้วยตัวอักษรตัวเล็กของปัจจัยนั้น ในการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น สำหรับระดับต่ำจะไม่ปรากฏตัวอักษรใดๆ ในการทดลองร่วมปัจจัย ดังนั้น สำหรับการออกแบบ 2^k ในที่นี้ a จะแทนการทดลองร่วมปัจจัยของปัจจัย A ที่ระดับสูงและ B ที่ระดับต่ำ, b แทน A ที่ระดับต่ำและ B ที่ระดับสูง ab แทนทั้ง ปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับสูง และ (1) แทนทั้งปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ

สมการในการคำนวณ

Contrast เท่ากับผลรวมของค่าการทดลองแต่ละ Treatment คูณกับสัมประสิทธิ์ (-1 หรือ +1) ของตัวแปรหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

$$\text{Effect Estimate}_{AB\dots K} = \frac{2(\text{Contrast}_{AB\dots K})}{n2^k}$$

$$\text{Sum of Squares}_{AB\dots K} : SS_{AB\dots K} = 2 (\text{Contrast}_{AB\dots K})^2$$

$$\text{Total of sum of squares} : SS_T = \frac{\sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} y_{ijk}^2 - y^2 \dots}{N}$$

$$\text{Mean of Square Error} : SSE = SST - \text{sum Squares of Main Effect}$$

$$\text{Mean of Square} : MS = \frac{\text{Sum of Square}}{\text{Degree of Freedom}}$$

$$\% \text{ Normal probability} = \frac{(\text{Cumulative frequency} - 0.5) \times 100}{\text{Total cumulative frequency}}$$

$$F_0 = \frac{\text{Mean Square of Effect}}{\text{Mean Square of error}}$$

โดยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ด้วยโปรแกรม Design Expert ได้สมการทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ ค1. แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวกับปัจจัยที่มีผล และสมการที่ ค2. แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของดเซลในผลิตภัณฑ์เหลวกับปัจจัยที่มีผล

$$\begin{aligned} \text{Liq. Yield} = & - 8561.666345 + 40.64777195x_A + 31.59370803x_B \\ & - 3.158595191x_C - 1.026833895x_D - 0.07037575x_Ax_B \\ & + 0.004689198x_Ax_C + 0.009449791x_Cx_D - 0.04737085x_A^2 \\ & + 0.003881208x_C^2 \end{aligned} \quad (\text{ค1.})$$

$$\begin{aligned} \text{Diesel Fr.} = & 2480.166018 - 11.46549744x_A - 7.710727339x_B + 0.83735636x_C \\ & + 0.324281798x_D + 0.001979167x_Ax_B - 0.00055625x_Ax_C \\ & + 0.0001875x_Ax_D - 0.006822917x_Bx_C + 0.022743056x_Bx_D \\ & - 0.00209375x_Cx_D + 0.013442456x_A^2 + 0.516837232x_B^2 \\ & - 0.002369386x_C^2 - 0.002937622x_D^2 \end{aligned} \quad (\text{ค2.})$$

การใช้โปรแกรม Design Expert

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Design Expert รุ่น 7.0.0 โดยมีขั้นตอนในการออกแบบการทดลองจนถึงวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

1. วิธีการเลือกแบบจำลอง และการกำหนดตัวแปรเพื่อทำการออกแบบการทดลอง

- เข้าสู่โปรแกรม คลิกไปที่ file ----> New Design และจะแสดงดังรูปที่ ค.1 เลือกแบบจำลองตามตัวแปรที่ต้องการศึกษา ในที่นี้ ต้องการศึกษา 4 ตัวแปร ดังนั้นจึงเลือกแบบจำลองแบบ 2^4

2-Level Factorial Design
Design for 2 to 21 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V or higher, Yellow = Res IV, and Red = Res III.

Runs	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	2 ²	2 ³⁻¹ _{III}																	
8		2 ³	2 ⁴⁻¹ _{IV}	2 ⁵⁻² _{III}	2 ⁶⁻³ _{III}	2 ⁷⁻⁴ _{III}													
16			2 ⁴	2 ⁵⁻¹ _V	2 ⁶⁻² _{IV}	2 ⁷⁻³ _{IV}	2 ⁸⁻⁴ _{IV}	2 ⁹⁻⁵ _{III}	2 ¹⁰⁻⁶ _{III}	2 ¹¹⁻⁷ _{III}	2 ¹²⁻⁸ _{III}	2 ¹³⁻⁹ _{III}	2 ¹⁴⁻¹⁰ _{III}	2 ¹⁵⁻¹¹ _{III}					
32				2 ⁵	2 ⁶⁻¹ _V	2 ⁷⁻² _{IV}	2 ⁸⁻³ _{IV}	2 ⁹⁻⁴ _{IV}	2 ¹⁰⁻⁵ _{IV}	2 ¹¹⁻⁶ _{IV}	2 ¹²⁻⁷ _{IV}	2 ¹³⁻⁸ _{IV}	2 ¹⁴⁻⁹ _{IV}	2 ¹⁵⁻¹⁰ _{IV}	2 ¹⁶⁻¹¹ _{IV}	2 ¹⁷⁻¹² _{III}	2 ¹⁸⁻¹³ _{III}	2 ¹⁹⁻¹⁴ _{III}	2 ²⁰⁻¹⁵ _{III}
64					2 ⁶	2 ⁷⁻¹ _{VI}	2 ⁸⁻² _V	2 ⁹⁻³ _V	2 ¹⁰⁻⁴ _V	2 ¹¹⁻⁵ _V	2 ¹²⁻⁶ _V	2 ¹³⁻⁷ _V	2 ¹⁴⁻⁸ _V	2 ¹⁵⁻⁹ _V	2 ¹⁶⁻¹⁰ _V	2 ¹⁷⁻¹¹ _{IV}	2 ¹⁸⁻¹² _{IV}	2 ¹⁹⁻¹³ _{IV}	2 ²⁰⁻¹⁴ _{IV}
128						2 ⁷	2 ⁸⁻¹ _{VI}	2 ⁹⁻² _V	2 ¹⁰⁻³ _V	2 ¹¹⁻⁴ _V	2 ¹²⁻⁵ _V	2 ¹³⁻⁶ _V	2 ¹⁴⁻⁷ _V	2 ¹⁵⁻⁸ _V	2 ¹⁶⁻⁹ _V	2 ¹⁷⁻¹⁰ _{IV}	2 ¹⁸⁻¹¹ _{IV}	2 ¹⁹⁻¹² _{IV}	2 ²⁰⁻¹³ _{IV}
256							2 ⁸	2 ⁹⁻¹ _{VI}	2 ¹⁰⁻² _V	2 ¹¹⁻³ _V	2 ¹²⁻⁴ _V	2 ¹³⁻⁵ _V	2 ¹⁴⁻⁶ _V	2 ¹⁵⁻⁷ _V	2 ¹⁶⁻⁸ _V	2 ¹⁷⁻⁹ _{IV}	2 ¹⁸⁻¹⁰ _{IV}	2 ¹⁹⁻¹¹ _{IV}	2 ²⁰⁻¹² _{IV}
512								2 ⁹	2 ¹⁰⁻¹ _V	2 ¹¹⁻² _V	2 ¹²⁻³ _V	2 ¹³⁻⁴ _V	2 ¹⁴⁻⁵ _V	2 ¹⁵⁻⁶ _V	2 ¹⁶⁻⁷ _{IV}	2 ¹⁷⁻⁸ _{IV}	2 ¹⁸⁻⁹ _{IV}	2 ¹⁹⁻¹⁰ _{IV}	2 ²⁰⁻¹¹ _{IV}

Replicates: 1 Blocks: 1 Center points per block: 0 Show Generators

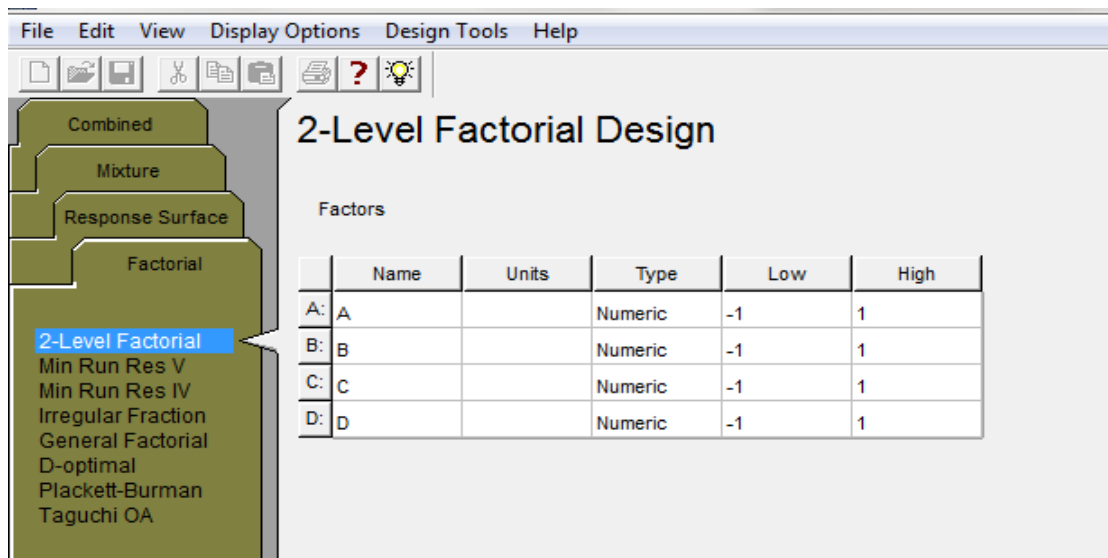
Cancel Continue >>

รูปที่ ค.1 แสดงตารางของ 2 Level Factorial Design

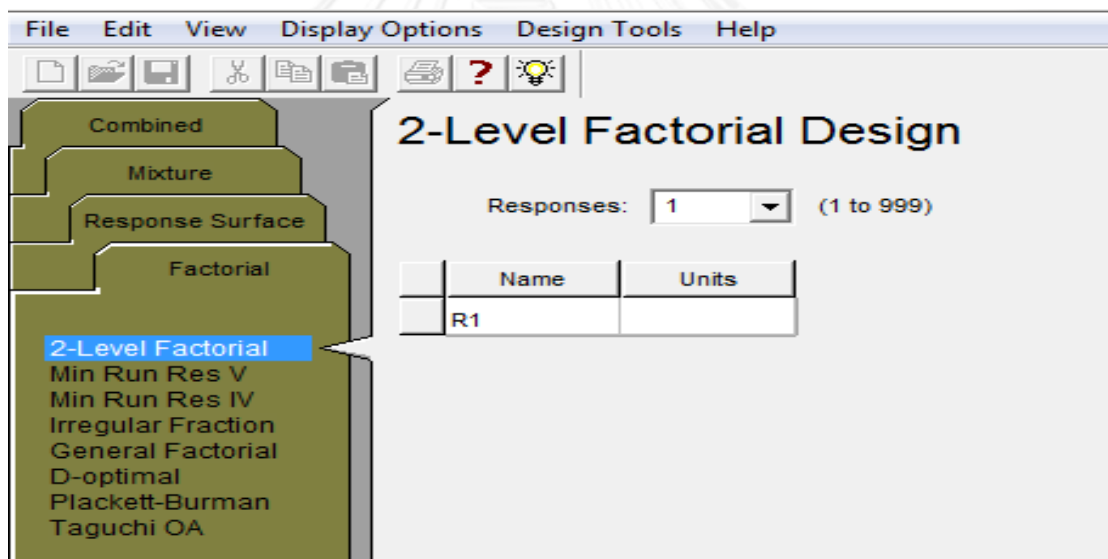
- ทำการเลือก ตามข้อ 1.a แล้วจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.2 ให้ใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้

- ที่ช่อง Name ให้ใส่ชื่อตัวแปร
- ที่ช่อง Units ให้ใส่หน่วยของตัวแปร
- ที่ช่อง Low ให้ใส่ค่าต่ำของตัวแปร
- ที่ช่อง High ให้ใส่ค่าสูงของตัวแปร

จากนั้นกด Continue แสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.3 ทำการเลือกจำนวนตัวแปรตอบสนอง (response) และใส่ชื่อพร้อมทั้งหน่วยของตัวแปรตอบสนอง แล้วกด Continue



รูปที่ ค.2 การกำหนดตัวแปร



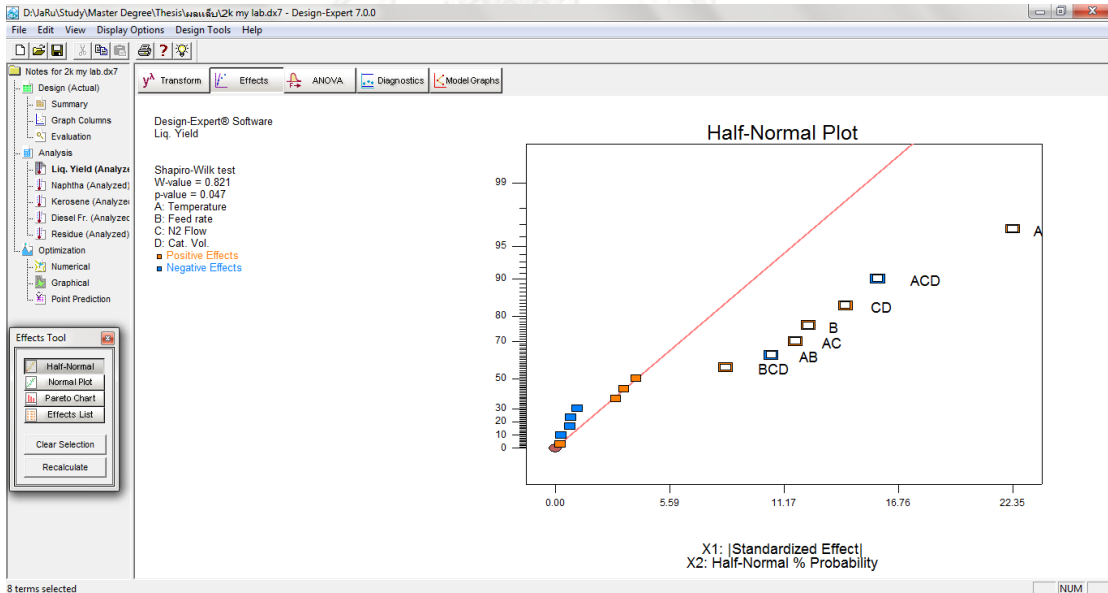
รูปที่ ค.3 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

- c. เมื่อกำหนดค่าตามข้อ 1.b เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงตาราง ดังที่แสดงในรูปที่ ค.4 ซึ่งประกอบไปด้วยลำดับการทดลอง ค่าของตัวแปรในแต่ละการทดลองและช่องว่างเพื่อกำหนดค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง เมื่อทำการทดลองครบทุกการทดลองและกำหนดค่าของตัวแปรตอบสนองเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

Std	Run	Block	Factor 1 A: Temperature oC	Factor 2 B: Feed rate ml/min	Factor 3 C: N2 Flow m/min	Factor 4 D: Cat. Vol. %v/v	Response 1 Liq. Yield %	Response 2 Naphtha %	Response 3 Kerosene %	Response 4 Diesel Fr. %	Response 5 Residue %
16	1	Block 1	450.00	9.00	150.00	60.00	90.7121	10	20.625	54.375	15
12	2	Block 1	450.00	9.00	50.00	60.00	66.4211	10	13.75	64.375	11.875
9	3	Block 1	400.00	3.00	50.00	60.00	40	8.75	28.125	61.875	1.25
13	4	Block 1	400.00	3.00	150.00	60.00	47.8165	8.75	26.25	62.5	2.5
7	5	Block 1	400.00	9.00	150.00	30.00	46.8175	8.125	23.125	63.125	5.625
6	6	Block 1	450.00	3.00	150.00	30.00	88.1398	5.625	20.5	58.875	15
15	7	Block 1	400.00	9.00	150.00	60.00	81.231	7.5	17.5	61.875	13.125
8	8	Block 1	450.00	9.00	150.00	30.00	82.8555	11.25	22.5	57.5	8.75
2	9	Block 1	450.00	3.00	50.00	30.00	67.0631	8.75	22.5	57.5	11.25
5	10	Block 1	400.00	3.00	150.00	30.00	25	5	17.5	66.25	11.25
14	11	Block 1	450.00	3.00	150.00	60.00	75.4402	8.75	21.25	62.5	7.5
3	12	Block 1	400.00	9.00	50.00	30.00	89.4666	6.25	16.875	54.375	22.5
4	13	Block 1	450.00	9.00	50.00	30.00	70.6514	8.75	20.625	56.875	13.75
1	14	Block 1	400.00	3.00	50.00	30.00	58.9589	9.375	24.375	62.5	3.75
10	15	Block 1	450.00	3.00	50.00	60.00	72.7483	11.25	27.5	58.125	3.125
11	16	Block 1	400.00	9.00	50.00	60.00	45.9599	7.5	25	67.5	0

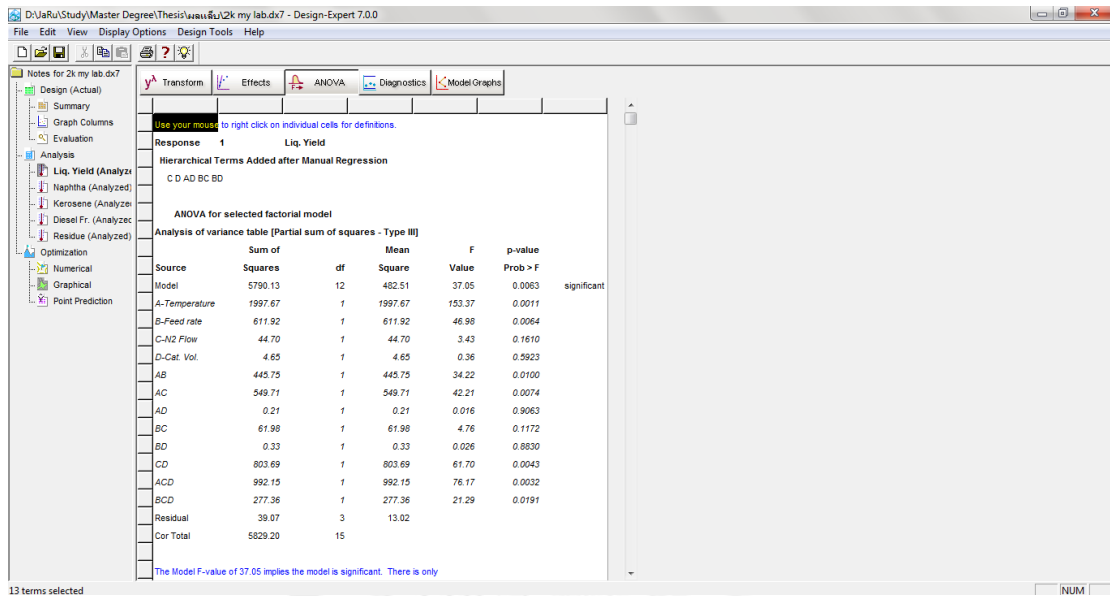
รูปที่ ค.4 จำนวนการทดลองและค่าของตัวแปรแต่ละการทดลอง

- d. การวิเคราะห์ผลการทดลอง เริ่มจากเลือกตัวแปรตอบสนองที่ต้องการวิเคราะห์ที่แถบทางด้านซ้ายมือ และกด Effects ดังรูปที่ ค.5 ทำการเลือกจุดที่มีแนวโน้มออกจากเส้นตรง



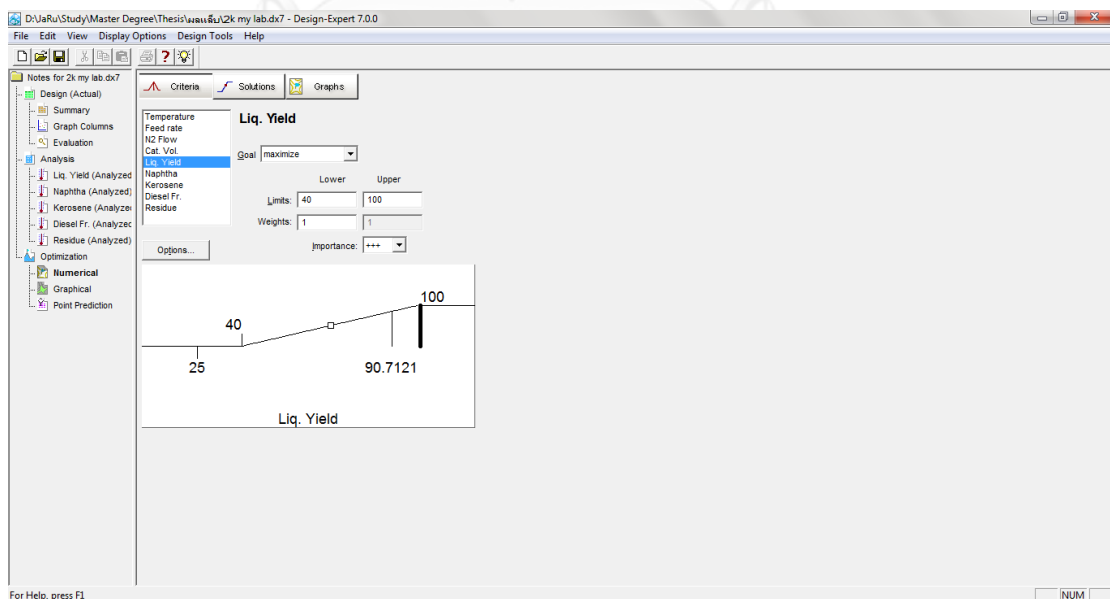
รูปที่ ค.5 Half normal plot

- e. กด ANOVA จะแสดงตาราง ดังรูปที่ ค.6 ซึ่งแสดงตาราง ANOVA ที่วิเคราะห์ได้ ทำการอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ทำตามขั้นตอน 1.d และ 1.e ให้ครบทุกตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ ค.6 ANOVA ของการวิเคราะห์ตัวแปร

- f. เมื่อทำการวิเคราะห์ครบทุกตัวแปรตอบสนองแล้ว จะทำการหาภาวะที่เหมาะสม โดยเลือก Numerical ด้านล่างคำว่า Optimization ตรงแถบด้านซ้ายมือ ดังที่แสดงในรูปที่ ค.7 ทำการกำหนดค่าของตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ เช่น เลือกให้มีความสูงสุด (maximum) จากนั้นกด Solution จะแสดงตารางที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม ดังรูปที่ ค.8



รูปที่ ค.7 การกำหนดตัวแปรตอบสนองที่ต้องการหาภาวะที่เหมาะสม

Notes for 2k my lab dx7

Design (Actual)

Summary

Graph Columns

Evaluation

Analysis

- Liq. Yield (Analyzed)
- Naphtha (Analyzed)
- Kerosene (Analyzed)
- Diesel Fr. (Analyzed)
- Residue (Analyzed)

Optimization

- Numerical
- Graphical
- Point Prediction

Solutions Tool

- Report
- Refresh
- Bar Graph

Criteria Solutions Graphs

Solutions 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

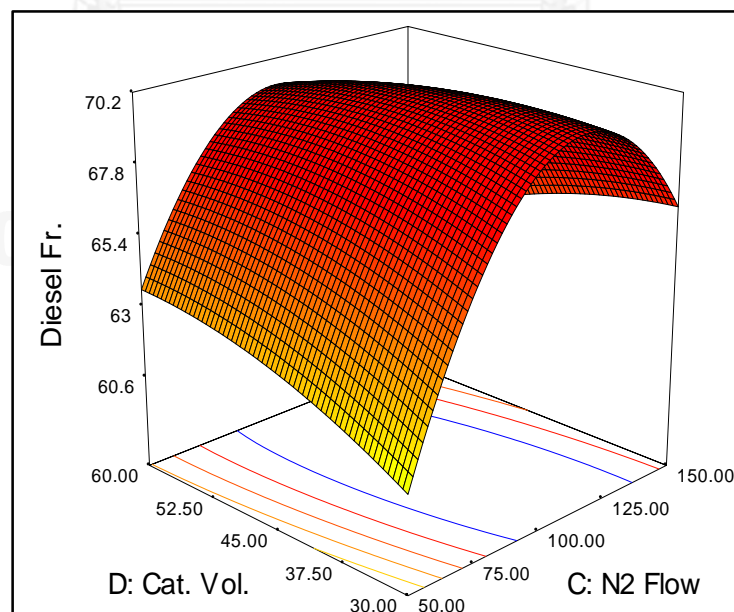
Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Temperature	is in range	400	450	1	1	3
Feed rate	is in range	3	9	1	1	3
N2 Flow	is in range	50	150	1	1	3
Cat. Vol.	is in range	30	60	1	1	3
Liq. Yield	is in range	40	100	1	1	3
Diesel Fr.	maximize	50	80	1	1	3

Solutions							
Number	Temperature	Feed rate	N2 Flow	Cat. Vol.	Liq. Yield	Diesel Fr.	Desirability
1	400.00	9.00	50.00	60.00	48.1863	68.1094	0.604
2	400.00	8.92	50.00	59.66	48.4763	67.872	0.596
3	402.22	9.00	50.00	59.35	49.7163	67.6487	0.588
4	409.59	8.99	50.00	60.00	51.2397	67.3826	0.579
5	401.91	7.17	50.00	60.00	45.86	66.07	0.536
6	400.00	7.91	50.00	56.08	51.0941	65.5504	0.518
7	442.73	8.93	50.00	59.90	62.0346	64.7088	0.490
8	401.19	3.04	113.40	30.00	40.0001	64.383	0.479
9	409.96	3.00	143.46	30.06	40	64.1436	0.471
10	407.56	3.00	133.16	31.88	40.5482	64.0543	0.468
11	401.53	4.31	135.79	35.25	40	63.9528	0.465
12	400.31	6.52	149.11	31.88	40	63.9314	0.464
13	400.00	6.36	95.98	59.98	54.1771	63.8085	0.460

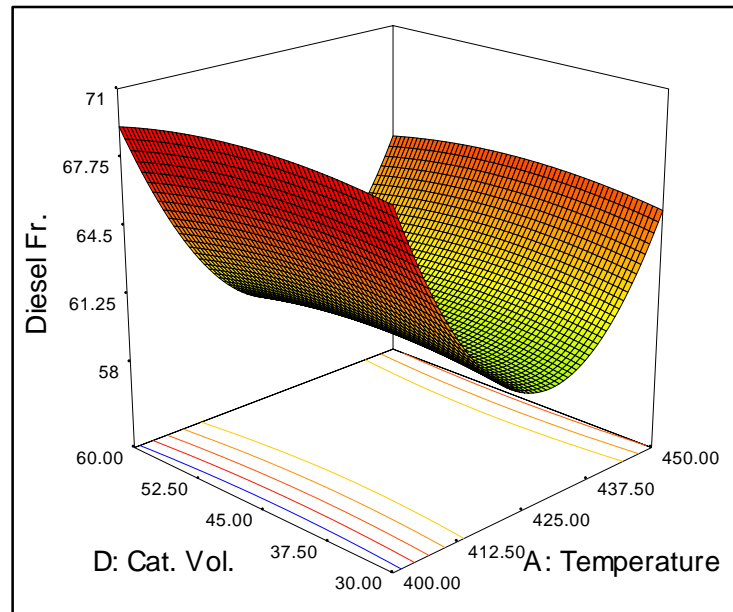
For Help, press F1

รูปที่ ค.8 ผลการคำนวณภาวะที่เหมาะสม

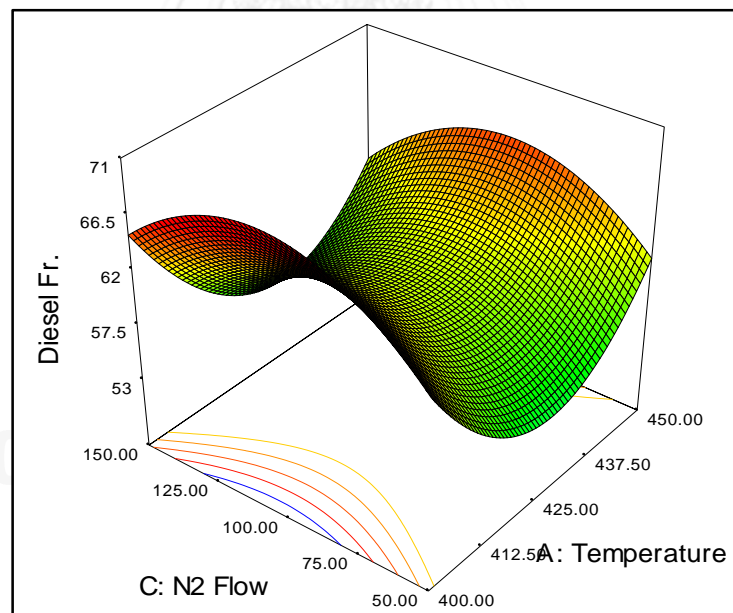
- g. หากต้องการเปลี่ยนการแสดงผลเป็นแบบแผนภูมิสามมิติ สามารถทำได้โดยเลือกไปที่ Graphs จากนั้นเลือกการแสดงผลเป็นแบบแผนภูมิสามมิติ โดยคลิกที่ View ตรงแถบ menu bar และเลือก 3D Plot โปรแกรมก็จะเปลี่ยนการแสดงผลเป็นแบบที่ต้องการ นอกจากนี้สามารถเปลี่ยนค่าของแต่ละแกนได้ โดยเลือกที่ช่องของ Factor Tools ก็จะได้การแสดงผลในแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ ค9 - ค13



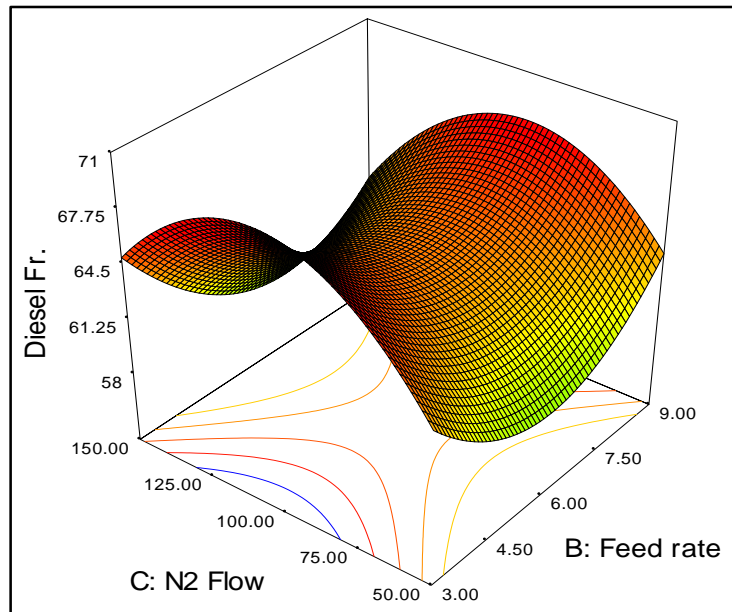
รูปที่ ค.9 แผนภูมิสมมิติระหว่างสัดส่วนของดีเซล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อัตราการไหลของไนโตรเจน



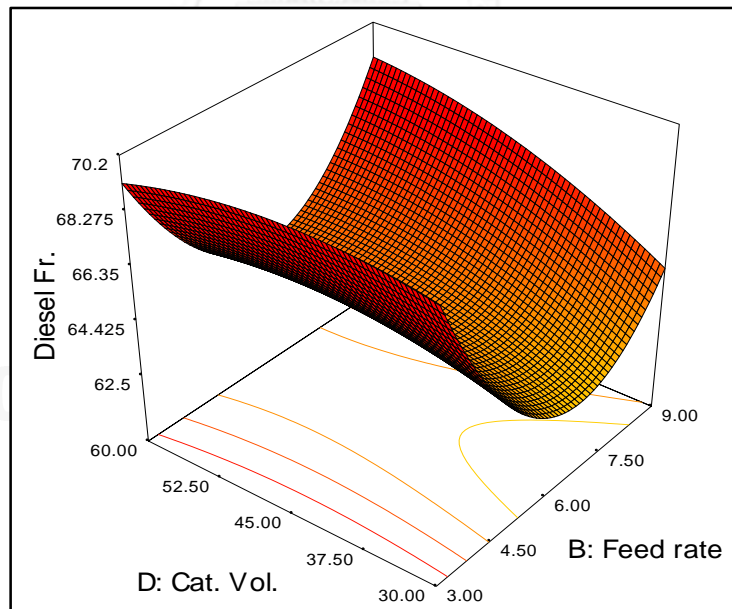
รูปที่ ค.10 แผนภูมิสมมิติระหว่างสัดส่วนของดีเซล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ ค.11 แผนภูมิสมมิติระหว่างสัดส่วนของดีเซล อัตราการไหลของไนโตรเจน และ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ ค.12 แผนภูมิสมมิติระหว่างสัดส่วนของดีเซล อัตราการไหลของไนโตรเจน และ อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ ค.13 แผนภูมิสมมิติระหว่างสัดส่วนของดีเซล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจรรุ นาถกรณกุล เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2533 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลภูเก็ต ชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต หลักสูตรเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ชื่องาน The 5th research symposium on petrochemical and materials technology and The 20th PPC symposium on petroleum, petrochemicals and polymers 2014 โดยนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ และได้รับการตีพิมพ์งานวิจัยลงในบทความวิจัยของงานประชุมวิชาการในครั้งนี้ด้วย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY