

ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสต่อไฟโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลือง

นางสาวสิริภรณ์ ปาลวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิคภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

EFFECTS OF BASE CATALYSTS ON PYROLYSIS OF SOYBEAN OIL

Miss Sareeporn Palavat

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสต่อไฟโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลือง
โดย	นางสาวสิริภรณ์ ปาลวัฒน์
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกื้อวลี พฤษชาทร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ)

สรุปรายการ ปาลวัฒน์ : ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสต่อไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลือง
(EFFECTS OF BASE CATALYSTS ON PYROLYSIS OF SOYBEAN OIL)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิจิตรสานต์, 116 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพ่นชนิดเบส ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก 70 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียลสองระดับ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 380 - 450 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา(แมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์) ร้อยละ 0.1 - 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 - 5 บาร์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 - 60 นาที ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatography (DGC) พบว่าเมื่อนำภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม design-expert มาทำการทดลองการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ที่ภาวะการทดลองประกอบด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 406 และ 412 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 และ 0.1 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 และ 1 บาร์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 30 นาที ตามลำดับ ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 83.11 และ 81.88 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ประกอบด้วยเนฟทาร์ร้อยละ 15.97 และ 14.25 โดยน้ำหนัก และดีเซลร้อยละ 30.58 และ 29.67 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2555.....

5372353023: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORDS : PYROLYSIS/ SOYBEAN OIL / BASE CATALYST

SAREEPORN PALAVAT: EFFECTS OF BASE CATALYSTS ON PYROLYSIS OF
SOYBEAN OIL. ADVISOR: ASSOC.PROF.THARAPONG VITIDSANT, Ph.D.,
116 pp.

This research aim to study the catalytic cracking over magnesium oxide and calcium oxide in a micro-reactor of 70 ml which study the effects of parameters on liquid oil fuel and product components by using 2^k factorial of experimental design methodology. The experiment was carried out under the various condition by the following variable: reaction temperature ranging 380°C to 450°C, amounts of catalyst 0.1 to 1.5% by weight, initial hydrogen pressure of 1 to 5 bars and reaction time of 30 to 60 min. The liquid oil product was analyzed by Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC). From experiment was at temperature of 406 °C, amounts of magnesium oxide 0.1 % by weight, initial hydrogen pressure 5 bar, reaction time of 30 min gave the maximum yield of liquid fuel product. The liquid fuel product was 83.11 percent by weight, the naphtha yield and diesel yield were 15.97 and 30.58 percent by weight respectively. In the reaction of soybean oil on calcium oxide catalyst was temperature of 412°C, reaction amounts of calcium oxide 0.1 % by weight, initial hydrogen pressure 1 bar, reaction time was 30 minute gave the maximum yield of liquid fuel product. The liquid fuel product was 81.88 percent by weight, the naphtha yield and diesel yield were 14.25 percent and 29.67 percent by weight respectively.

Department :Chemical Technology.....Student's Signature :

Field of Study :Chemical Technology.....Advisor's Signature :

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตตานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลืองานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เก็จวลี พุกษาทร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมี เทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำมันพืช.....	4
2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของน้ำมันพืช.....	4
2.1.2 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง.....	6
2.1.3 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง.....	6
2.2 น้ำมันถั่วเหลือง.....	8
2.2.1 พฤกษศาสตร์ของน้ำมันถั่วเหลือง.....	8
2.2.2 การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง.....	8
2.2.3 ศักยภาพในการผลิตถั่วเหลือง.....	9
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	9
2.3.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	10
2.3.2 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	10
2.3.3 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.....	11

	หน้า
2.3.4 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	12
2.3.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	13
2.3.6 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	13
2.4 กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน.....	14
2.5 กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา.....	17
2.5.1 กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่ง.....	20
ปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะ	
2.6 กระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน	24
2.7 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	25
2.8 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน.....	26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	31
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	31
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	38
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	38
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสารตั้งต้น.....	43
4.2 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	46
4.3 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล.....	47
4.4 การศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบของ... ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากปฏิกิริยาแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส.....	48
4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ..... ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่ว..... เหลือง บนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	48

4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ..... ผลิตภัณฑ์เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	53
4.4.3 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ..... ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่ว..... เหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	58
4.4.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ..... ผลิตภัณฑ์เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	63
4.4.5 การหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่ว เหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส.....	68
4.4.6 ผลของอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของ น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียม ออกไซด์.....	73
4.4.7 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการ แตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม ออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์.....	75
4.4.8 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์.. เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้..... ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์.....	77
4.4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง... เหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่ง..... ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์.....	79
4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว.....	82
4.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว.....	82
4.5.2 การวิเคราะห์สารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์..... เชื้อเพลิงเหลว.....	85

	หน้า
4.6 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมัน.....	87
4.6.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตก ตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส....	87
4.6.2 วิเคราะห์ค่าความร่อน (Total acid value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง..... เหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา... วิวิธพันธุ์ ชนิดเบส.....	88
4.6.3 วิเคราะห์ความหนืดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิง. เร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส.....	89
4.7 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุCHOของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตก ตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส.....	90
4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	91
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	92
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	92
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก.....	99
ภาคผนวก ข.....	103
ภาคผนวก ค.....	111
ภาคผนวก ง.....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์บางชนิด.....	5
3.1	ระดับของตัวแปรที่ศึกษา.....	39
3.2	จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ.....	39
4.1	องค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองตามคาบจุดเดือดก่อนการแตกตัวเชิงเร่ง..... ปฏิกิริยา.....	44
4.2	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง.....	45
4.3	องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	46
4.4	องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	46
4.5	พื้นที่ผิววูพูน (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และ..... แคลเซียมออกไซด์.....	47
4.6	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	49
4.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์..... เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่ง... ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	52
4.8	ร้อยละผลได้เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	54
4.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้เนฟทาจากการแตกตัว เชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	57
4.10	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา.... ของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	59
4.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง..... เหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา... แคลเซียมออกไซด์.....	62

ตารางที่	หน้า
4.12	ร้อยละผลได้เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 64
4.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ของเนฟทาจากการ..... แตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียม..... ออกไซด์..... 67
4.14	ขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.... 69
4.15	ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert Expert ของการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์..... 70
4.16	การเปรียบเทียบผลระหว่างภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert กับ.... การทดลองจริงของปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดย.. ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์..... 70
4.17	ขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 71
4.18	ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert Expert ของการแตกตัวของ น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 72
4.19	การเปรียบเทียบผลระหว่างภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert กับ.... การทดลองจริงของปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดย.. ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 72
4.20	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตก ตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดย GC-MS... 86
4.21	ค่าความเป็นกรด (Total acid value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จาก..... ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่ง.. ปฏิกิริยาวិวิพันธุ์ชนิดเบสและที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา..... 88

ตารางที่	หน้า
4.22	ค่าความร้อนของน้ำมันถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จาก..... ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... แมกนีเซียมออกไซด์..... 89
4.23	ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการ แตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์..... 89
4.24	องค์ประกอบธาตุ CHO ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะ..... เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส..... 90
ก1	ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของ น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์..... 99
ก2	ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของ น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 101
ข1	สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา..... 104
ง1	ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบ..... กับแมสสเปกโตรมิเตอร์..... 113
ง2	ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... (Gas Chromatograph)..... 115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์.....	4
2.2	โครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์.....	13
2.3	โครงสร้างผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์.....	14
2.4	ปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์โดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน.....	15
2.5	ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	21
2.6	ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (Decarboxylation)	21
3.1	เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ปริมาตร 70 มิลลิลิตร (Micro-reactor).....	31
3.2	ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก.....	32
3.3	ชุดกรองสูญญากาศ.....	33
3.4	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น.....	34
3.5	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	34
3.6	เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรูพรุน.....	35
3.7	เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF).....	36
3.8	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	36
3.9	เครื่อง FT-IR Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR).....	37
3.10	เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Potentiometric titration).....	37
4.1	ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเทคนิค TGA.....	44
4.2	Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์	51
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละผลได้...ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	53
4.4	Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	56

ภาพที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละ..... ผลได้แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่ง... ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	58
4.6 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่ง..... ปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	61
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละ..... ผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของ..... น้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	63
4.8 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่ง..... ปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	66
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละ..... ผลได้แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่ง..... ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	68
4.10 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่ว..... เหลืองที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 380 และ 450..... องศาเซลเซียส.....	73
4.11 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลืองที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำ..... ปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก และ..... อุณหภูมิ 380 และ 450 องศาเซลเซียส.....	74
4.12 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น..... 1 และ 5 บาร์.....	75

ภาพที่	หน้า
4.13	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่ว..... เหลือทิ้งที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์ 76
4.14	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่ว เหลือทิ้งที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที 77
4.15	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมัน..... ถั่วเหลือทิ้งที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณ..... ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ.... 60 นาที..... 78
4.16	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลือทิ้งที่ เวลาอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจน..... เริ่มต้น 1 บาร์ ใน การทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและที่ใช้..... ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก..... 80
4.17	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลือทิ้งที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 0.1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก..... 81
4.18	FTIR spectrum ของน้ำมันถั่วเหลือทิ้ง..... 83
4.19	FTIR spectrum ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมัน ถั่วเหลือทิ้งโดยใช้ตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์..... 83
4.20	FTIR spectrum ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมัน ถั่วเหลือทิ้งโดยใช้ตัวเร่งแมกนีเซียมออกไซด์..... 84
4.21	FTIR spectrum ของน้ำมันแกโซลีนออกเทน 95..... 84
4.22	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของ..... น้ำมันถั่วเหลือทิ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์..... 85

ภาพที่		หน้า
ข1	ตารางของ 2 Level Factorial Design.....	106
ข2	ตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง.....	107
ข3	Response และ หน่วยของตัวแปรที่ทำการทดลอง.....	107
ข4	ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด.....	107
ข5	แถบข้อมูลของ gas liquid kerosene และ diesel.....	108
ข6	Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้เนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัว.... ของน้ำมันถั่วเหลือง.....	108
ข7	แสดงการคำนวณผลของ ANOVA.....	109
ข8	ขอบเขตที่ต้องการในการทดลอง.....	110
ข9	แสดงภาวะที่เหมาะสมและขอบเขตของการทดลอง.....	110
ง1	แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ ความยาวคลื่นต่าง.....	114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ได้ส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจโดยรวม และอาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศในปัจจุบันและอนาคต ทั้งนี้เพราะประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ขณะที่ความต้องการมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินที่ใช้ในภาคขนส่งเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อรองรับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่สูงขึ้นในอนาคต ปัจจุบันจึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศเพื่อรองรับปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันพืชชนิดต่างๆ โดยประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ ถั่วลิสง มะพร้าว ทานตะวัน เป็นต้น โดยน้ำมันจากพืชมีค่าความร้อนคิดเป็นร้อยละ 83 - 85 ของน้ำมันดีเซล ดังนั้นการนำน้ำมันพืชมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากในปัจจุบัน

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งเป็นการนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์ และกลีเซอรอล อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันยังมีข้อจำกัด คือ

1. ต้องใช้แอลกอฮอล์เข้าร่วมในกระบวนการและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดหรือด่าง ส่งผลให้ต้องใช้น้ำปริมาณมากในขั้นตอนการล้างเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก
2. เกิดกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการแยกกลีเซอรอลออกจากเชื้อเพลิงเหลวที่สังเคราะห์ได้เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์
3. เกิดน้ำเสียประมาณ 1.5 เท่า ของเชื้อเพลิงเหลวที่สังเคราะห์ได้

ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันประเภทพืชล้มลุกที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ผลผลิตเมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน และน้ำมันประมาณร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ จากสถิติการเพาะปลูกถั่วเหลือง พบว่ามีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งประเทศไทยเองเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีศักยภาพในการเพาะปลูกถั่วเหลืองสามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ของไทย ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อศึกษาแนวทางที่จะใช้ประโยชน์จากน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อรองรับปริมาณการใช้น้ำมันที่สูง

การแปรรูปน้ำมันพืชให้เป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการแตกตัว (cracking) แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking) ภายใต้สภาวะอับอากาศ ซึ่งเป็นการทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจากมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนลดลง และกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับการพัฒนาต่อเนื่องจากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน โดยมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันให้ได้รับการปรับปรุงดีขึ้น จากผลงานวิจัยการแปรรูปน้ำมันโดยใช้วิธีการแตกตัวด้วยความร้อนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสพบว่าให้ค่าการเปลี่ยนน้ำมันที่สูงกว่าและสามารถลดความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ และยังพบว่ายังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบทางเคมีจำพวกโอเลฟิน พาราฟิน ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเบนซินและดีเซล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส ประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาด 70 มิลลิลิตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยทำการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว แก๊ส และของแข็ง และวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph) เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวในช่วงจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ รวมถึงทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวประกอบด้วยอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพ่นชนิดเบสเพื่อให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด
2. ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองก่อนทำปฏิกิริยา เช่นองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น
3. วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์โดยใช้เทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry (XRF) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET
4. ออกแบบการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ร้อยละเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุดโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา
5. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ของแต่ละสถานะทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส และหาค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D2887
6. วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้
7. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

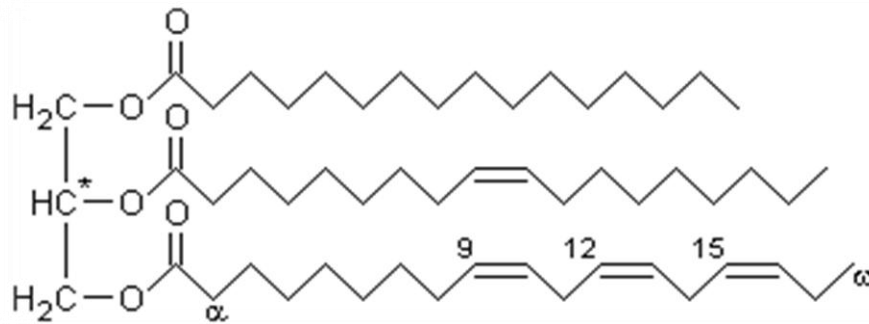
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันพืช [1] , [2]

2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ มีโครงสร้าง 3 แขน ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ดังรูปที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ [2]

กรดไขมันแต่ละตำแหน่งที่ถูกจับตัวกันอาจจะมีการเรียงตัวกัน ยาว ตั้งแต่ 6 คาร์บอนขึ้นไป โดยโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้ง 3 ตำแหน่งเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียว (Simple triglycerides) และโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกันเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ชนิดผสม (Mixed triglycerides) ไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวพบได้น้อยมากในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดผสม โดยสามารถจำแนกชนิดของกรดไขมันได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n+1}COOH$ โดยกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดได้แก่ กรดปาล์มิติก (C16:0)

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคู่อย่างน้อย 1 พันธะ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 แห่งเรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 พันธะ (Monounsaturated fatty acid) หากมีมากกว่า 1 แห่งเรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะ (Polyunsaturated fatty acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากคือ กรดโอเลอิก (C18:1)

ไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันอิ่มตัวโมเลกุลสายสั้นจำนวนมาก และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำนวนน้อยจึงมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนไขวัวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลสายยาวจำนวนมากเป็นองค์ประกอบ จึงมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์บางชนิด [3]

กรดไขมัน	ไขมันวัว	น้ำมันหมู	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง
	Caprylic C8:0	-	-	7.6	-	-
Capric C10:0	-	-	7.3	-	-	-
Lauric C12:0	-	0.3	48.2	-	0.1	-
Myristic C14:0	3.1	1.7	16.6	1.0	1.2	0.1
Myristoleic C14:1	0.4	0.2	-	-	-	-
Palmitic C16:0	29.1	26.2	8.0	25.0	46.8	10.5
Palmitoleic C16:1	34.0	4.0	1.0	0.7	3.8	-

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์บางชนิด [3]

กรดไขมัน	ไขมันวัว	น้ำมันหมู	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง
Stearic C18:0	18.9	13.5	3.4	2.8	37.5	3.2
Oleic C18:1	44.0	42.9	5.0	17.1	10.0	22.3
Linoleic C18:2	0.3	9.0	2.5	52.7	-	54.5
Linolenic C18:3	-	0.3	-	-	-	8.3

2.1.2 การใช้ไขมันพืชเป็นเชื้อเพลิง [4] , [5]

จากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคตจึงมีสนใจในการจัดหาและพัฒนาวัตถุดิบมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน น้ำมันพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม น้ำมันพืชมีโครงสร้างและค่าความร้อนที่เหมาะสมและมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง น้ำมันพืชแต่ละชนิดให้ค่าความร้อนต่อน้ำหนักประมาณร้อยละ 83 - 85 ของน้ำมันดีเซล และมีค่าความหนืดสูงกว่า 10 เท่าเนื่องด้วยน้ำมันพืชมีโครงสร้างในลักษณะที่เป็นพวง ซึ่งในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง จะส่งผลให้มีความหนืดมากกว่าและจะทำให้ประสิทธิภาพการฉีดน้ำมันเป็นฝอยก่อนจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำลง ทำให้การฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก ส่งผลต่อการป้อนน้ำมันและการสันดาปภายในเครื่องยนต์เกิดไม่สมบูรณ์ คราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์วภายหลังการสันดาป และน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำก็อาจจะเกิดเป็นไขขึ้นได้ นับว่าเป็นปัญหาต่อระบบการใช้เชื้อเพลิง และการใช้งานในฤดูหนาว ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงด้วยเทคนิคต่าง ๆ ให้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

2.1.3 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง [6]

จากคุณสมบัติหลายประการของน้ำมันพืชที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม เช่น ความสามารถในการระเหยได้ดี มีลักษณะเฉพาะของสารที่มีพันธะไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง โดยเฉพาะน้ำมันพืชมีค่าความหนืดสูง จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช ซึ่งสามารถแก้ปัญหที่เกิดขึ้นได้โดยการปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดังต่อไปนี้

1. การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล (Blending) การผสมระหว่างน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลหรือผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอลโดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น การผสมน้ำมันดอกทานตะวันกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร และนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมันผสมที่ได้มีความหนืด 4.88 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานในระยะยาวของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดโค้กที่หัวฉีด แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดอกคำฝอยกับน้ำมันดีเซล พบว่าไม่เหมาะสมกับการใช้งานในระยะยาวเช่นกัน เนื่องจากเกิดยางเหนียวติดของน้ำมันหล่อลื่น และการผสมของน้ำมันถั่วเหลืองกับตัวทำละลาย (ร้อยละ 48 พาราฟินผสมร้อยละ 52 แนฟทาลีน) ในอัตราส่วน 1:1 พบว่ามีค่าความหนืด 5.12 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์มีคราบเขม่าเกาะติดที่วาล์วและหัวฉีด ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลโดยตรงนั้น ก่อให้เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากความหนืดและสิ่งเจือปน ซึ่งเกิดผลเสียทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

2. การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) การทำไมโครอิมัลชันเป็นการกระจายอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล โดยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์โดยของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่สามารถกระจายในของเหลวได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว วิธีนี้ทำให้สามารถฉีดละอองฝอยได้เนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืช พบว่าไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชที่ผสมเมทานอลจะได้เชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล การทำไมโครอิมัลชันของเอทานอล เมทานอล ไตรโอลีน และน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 52.7:13.3:33.3:1 เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่ามีปัญหาการเกิดคราบเขม่าขึ้นที่หัวฉีดและวาล์วจำนวนมาก

3. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้ได้เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล ทำโดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยาร่วมกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลและเอทานอล สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือที่เรียกว่าไบโอดีเซล

4. กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ปฏิกิริยาการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนคือการเปลี่ยนแปลงสารโมเลกุลใหญ่เป็นสารโมเลกุลขนาดเล็กกลางโดยใช้ความร้อน และอาจมีการ

ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไร้แก๊สออกซิเจนหรืออากาศเข้าร่วมในปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาอื่นได้หลายๆปฏิกิริยาพร้อมกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวกลุ่มดีเซลเป็นส่วนใหญ่ และอาจเกิดแก๊สไฮโดรเจนและเคโรซีนด้วย

2.2 น้ำมันถั่วเหลือง [7] , [8]

2.2.1 พฤษศาสตร์ของน้ำมันถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองอยู่ใน family leguminosae มีชื่อวิทยาศาสตร์ หลายชื่อ เช่น *Glycine soja*, *Soja hispida*, *Phaseolus max* เป็นต้น แต่ชื่อที่ยอมรับกันในปัจจุบัน คือ *Glycine max* (L.) Merrill

ราก ถั่วเหลืองมีระบบรากประกอบด้วยรากแก้ว ซึ่งอาจหยั่งลึกลงไปถึง 2 เมตรส่วนรากฝอยเกิดเป็นกระจุกประสานกันอยู่ใต้ระดับผิวดิน บริเวณผิวดินรากมีปมของแบคทีเรียเกาะอยู่เห็นได้ชัดเจน

ลำต้น ถั่วเหลืองที่ปลูกกันเป็นการค้า ส่วนมากมีลำต้นตรงเป็นพุ่มมีความสูงระหว่าง 50 เซนติเมตรถึงสองเมตรบางพันธุ์ก็เลื้อยเป็นเถา ลำต้นแตกกิ่งจำนวน 3 - 8 กิ่งมีขนสีขาวย่น น้ำตาลหรือเทาคลุมอยู่

ใบ ใบถั่วเหลืองเกิดสลับกัน เป็นใบรวม ประกอบด้วย ใบย่อย 3 ใบ รูปร่างกลมรี ช่อดอกเกิดจากมุมใบและปลายยอด

ดอก ดอกมีขนาดเล็กสีขาวหรือม่วง จำนวน 3 - 15 ดอกต่อหนึ่งช่อ ดอกสมบูรณ์เพศมีอับเกสรตัวผู้และรังไข่อยู่ในดอกเดียวกัน

เมล็ด ผลผลิตเมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน ร้อยละ 35 - 50 น้ำมันร้อยละ 12 - 20 (มีส่วนประกอบของน้ำมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 85%)

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง

1. ส่วนต่างๆ ของถั่วเหลือง คือ ใบ ลำต้น และเปลือก เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วนวดเรียบร่อนแล้วและไถกลบลงสู่ ดินรวมทั้งปมที่ตกค้างในดินจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีที่สุด ในส่วนของเปลือกถั่วเหลืองนำมากรวมกันใช้เพาะเห็ดที่เรียกว่า " เห็ดถั่วเหลือง " นำมาทำอาหารรับประทานได้

2. เมล็ดของถั่วเหลือง นำมาใช้เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเมล็ดถั่วเหลืองจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาหารมนุษย์และสัตว์

3. กากถั่วเหลืองที่ได้จากจะเป็นผลผลิตหลักของโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลือง นอกจากนั้นน้ำมันถั่วเหลืองหลังจากทำให้บริสุทธิ์แล้วยังใช้แปรรูปเพื่อประกอบอาหารได้ หลายชนิด เช่น ทำน้ำมันสลัด เนยเทียม และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เช่น น้ำมันผสมสี หล่อลื่น ยา รักษาโรค

4. ใช้ในทางอุตสาหกรรม ใช้ผลิตกาว ส่วนผสมยาฆ่าแมลง สี ปุ๋ย วิตามิน ยา ต่างๆ กระดาษ ผ้า ฉนวนไฟฟ้า หมึกพิมพ์ สบู่ เครื่องสำอางค์ เบียร์ เส้นใย ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์ หรือเป็นส่วนช่วยให้มีคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

5. ใช้ทำปุ๋ยหรือบำรุงดิน ถั่วเหลืองและถั่วอื่นๆ จัดเป็นพืชบำรุงดิน เมื่อไถกลบ ถั่วเหลืองลงไปดินก่อนที่ถั่วเหลืองจะแก่ ก็จะเป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ และมีคุณสมบัติดีขึ้น

2.2.3 ศักยภาพในการผลิตถั่วเหลือง

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันพืชที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยในเขตอบอุ่นปลูกถั่วเหลืองได้ปีละครั้งในฤดูร้อน แต่ในเขตร้อนเช่นประเทศไทยมีอุณหภูมิตลอดทั้งปีไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถปลูกถั่วเหลืองได้ปีละสามครั้ง คือปลูกในช่วงต้นฤดูฝนและกลางฤดูฝนบนที่ดอน และครั้งที่สามในนาที่มีระบบชลประทานหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวดังนั้น เกษตรกรนิยมปลูกถั่วเหลืองร่วมหรือสลับกับพืชไร่อื่น ๆ ผลิตผลถั่วเหลืองของไทยอยู่ระหว่าง 120 - 350 กิโลกรัมต่อไร่แต่โดยเฉลี่ยประมาณ 121 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งประเทศไทยเองเป็นประเทศเกษตรกรรมสามารถผลิตน้ำมันถั่วเหลืองได้เพียงพอับความต้องการใช้ในประเท และศักยภาพในการเพาะปลูกถั่วเหลืองสามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ของไทย

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [6] , [9] , [10] , [11]

ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือคะตะลิสต์ หมายถึง สารที่เมื่อมีการเติมลงไปทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นและมีค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ได้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยานั้นหรือไม่ก็ได้ แต่เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องไม่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาหรือต้องมีปริมาณเท่าเดิมรวมทั้งมีคุณสมบัติเหมือนเดิม นั่นคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคือสารที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมไดนามิกของระบบ นอกจากนั้นในการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำการบปให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Activation Energy) ให้ต่ำลง ทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์มีจำนวนมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เร็วขึ้น

2.3.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ไม่รบกวนสมดุลของปฏิกิริยา
2. ลดพลังงานกัมมันต์ของปฏิกิริยาลง
3. ต้องเป็นสารเสมอ (ไม่ใช่พลังงาน)

2.3.2 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyst) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น โดยส่วนใหญ่อยู่ในสถานะของเหลว การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีข้อดีหลายประการ เช่นการเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะปกติทำให้ลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการ, ไม่เกิดการสลายตัวของสารในกระบวนการผลิตเนื่องจากสารบางตัวอาจเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง, สามารถเลือกเร่งให้เกิดเฉพาะปฏิกิริยาที่ต้องการได้ และ ตัวเร่งมีราคาไม่ค่อยสูงมากนักเมื่อเทียบกับโลหะที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ เช่น แพลทินัม (platinum) และทองคำ (gold) แต่มีข้อเสียคือ มีขั้นตอนยุ่งยากในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์ อาจมีค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการล้างตัวเร่งปฏิกิริยารวมทั้งทำให้เกิดน้ำเสียได้ และมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์

ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

- สารประกอบเฮไลด์ของโลหะ (metal halides) เช่น รูเทเนียมคลอไรด์ที่มีลิแกนด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และฟอสฟิน ใช้ในปฏิกิริยาคาร์บอนิลเลชันของโอเลฟินส์หรือเมทานอล
- สารละลายกรด-เบส (acid-base) ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน
- สารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก (organometallic compounds) เช่น ไทเทเนียม ไตรคลอไรด์และอลูมิเนียมอัลคิล ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโอเลฟินส์

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ (Heterogeneous Catalyst) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งในการเร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นอยู่ในวัฏภาคแก๊สหรือของเหลว โดยปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะมีขั้นตอนในการดูดซับ-คายซับของสารตั้งต้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นขั้นตอนหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยา การเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ มีข้อดี คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ทำให้เกิดสารพิษน้อยกว่า สามารถใช้ในภาวะการทำปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิหรือความดันสูงได้ ในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นที่เหลือและผลิตภัณฑ์ทำได้ง่าย ทำให้สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ และมีอายุในการใช้งานสูง

ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

- โลหะ (metal) เช่น เหล็กสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แอมโมเนียและแพลตินัมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย
- โลหะที่มีตัวรองรับ (supported metal) เช่น นิกเกิลบนซิลิกาสำหรับไฮโดรจีเนชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว
- ออกไซด์ของโลหะ (metal oxides) เช่น วานาเดียม สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของไฮโดรคาร์บอน และปฏิกิริยาการผลิตกรดซัลฟูริก
- ซีโอไลต์ (zeolite) เป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงสร้างแบบเฉพาะ เช่น ซีโอไลต์ ZSM-5 สำหรับปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอน

2.3.3 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalytic process)

ในการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์นั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีขั้นตอนมากกว่า 1 ขั้นตอนเสมอและจะมีการดูดซับของสารตั้งต้นอย่างน้อย 1 ชนิดในการเกิดปฏิกิริยา

การแพร่ภายนอกและภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์มักใช้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ 3 เฟส ประกอบด้วยของแข็งคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวและแก๊ส ขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาแบ่งออกได้ เป็น 7 ขั้นตอน เป็นดังนี้

1. การแพร่กระจายของสารตั้งต้นจากภายนอกเข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา (external diffusion) หมายถึง การแพร่ของสารตั้งต้นจากแก๊สเฟสเข้าสู่ชั้นฟิล์มของแก๊ส เป็นการแพร่ผ่านผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังชั้นฟิล์มที่เป็นขอบเขต (Boundary Layer) ล้อมรอบตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี
2. การแพร่กระจายของสารตั้งต้นสู่ภายในรูพรุน (internal pore diffusion) เป็นการถูกจำกัดด้วยการแพร่ภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการแพร่จะแพร่จากบริเวณผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบริเวณที่ว่าง (active size) และ เนื่องจากรูพรุนมีขนาดเล็กมากและไม่มีรูปทรงแน่นอน ทำให้เกิดการชนกันเองระหว่างการแพร่ ซึ่งเป็นการชนกันระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้น หรือการชนของโมเลกุลกับผนังของรูพรุน ขั้นตอนนี้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น

3. การดูดซับของสารตั้งต้นลงบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา (adsorbtion) ซึ่งขึ้นต่อนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบริเวณตำแหน่งที่ว่องไวภายในรูพรุน โดยโมเลกุลของสารตั้งต้นจะถูกดูดซับที่ผิวหน้าแล้วแพร่ไปจนถึงตำแหน่งว่องไวบริเวณภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเกิดดูดซับในเชิงเคมี (chemical adsorbtion หรือ chemisorbtion) คือ เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้น ที่เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) กับผิวหน้าของของแข็งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่าตัวดูดซับ (adsorbent)

4. การเกิดปฏิกิริยาของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (surface reaction) เมื่อเกิดการดูดซับแล้วสารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น

5. การคายซับ (desorbtion) เป็นการหลุดออกของผลิตภัณฑ์จากผิวตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขั้นสุดท้าย

6. การแพร่ของผลิตภัณฑ์ออกจากรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยผลิตภัณฑ์จะแพร่ผ่านรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยากลับไปสู่ผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสารตั้งต้นจะถูกแพร่ออกมาด้วยถ้าปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 4 เกิดไม่สมบูรณ์

7. การแพร่ของผลิตภัณฑ์จากรูพรุนผ่านผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังชั้นฟิล์มที่เป็นขอบเขต(Boundary Layer) ล้อมรอบตัวเร่งปฏิกิริยา และเช่นเดียวกันว่าหากปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์จะมีสารตั้งต้นแพร่ออกมาด้วยเช่นกัน

2.3.4 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญ เช่น พื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) ขนาดรูพรุน (Pore Size) และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน (Pore Size Distribution)

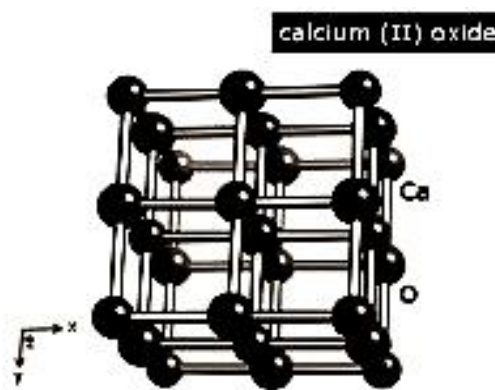
พื้นที่ผิว (Surface Area) พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะมีตำแหน่งที่ว่องไวที่เกิดจากการการรวมตัวกันของอะตอมและโมเลกุลบนพื้นผิวของโลหะ โดยในการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิคบีอีที (BET) ซึ่งจะสามารถคำนวณพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจากการดูดซับของแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นในการเพิ่มพื้นที่ผิวสามารถทำได้โดยการลดขนาดของวัสดุให้เล็กลงเป็นผงละเอียด แต่วิธีนี้ทำได้ยาก วิธีเพิ่มพื้นที่ผิวที่ดีที่สุด คือ การทำวัสดุให้พรุนโดยทำให้เกิดโพรงเล็กๆ จำนวนมาก

ขนาดและจำนวนรูพรุน (Size and Number of Pores) สามารถบอกปริมาณพื้นที่ผิวภายในของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวภายในสูงจะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่

อย่างหนาแน่น ซึ่งจะทำให้การกระจายตัวของตำแหน่งกัมมันต์ (Active Site) สูง และขนาดของรูพรุนที่เลือกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับโมเลกุลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จึงทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากตำแหน่งกัมมันต์ได้ดีที่สุด เนื่องจากขนาดของโพรงของตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีความสำคัญต่อความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO Catalyst) [12]

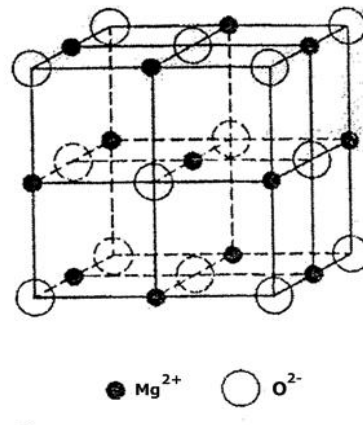
ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส และมีสถานะเป็นของแข็ง มีจุดหลอมเหลวสูง เป็นที่นิยมในการนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูง สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และปฏิกิริยาการแตกตัว ไม่ก่ดกร่อน ละลายในน้ำได้น้อย สามารถแยกออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาได้ง่าย โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์ [13]

2.3.6 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO Catalyst)

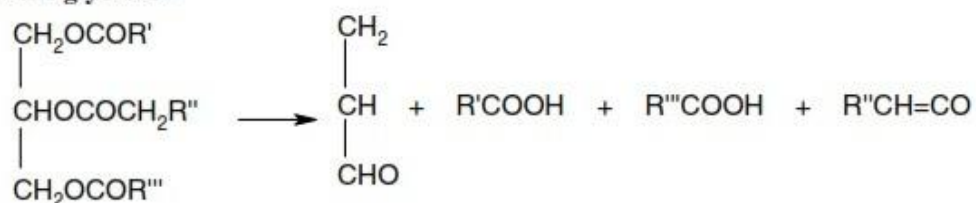
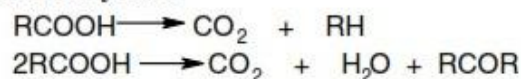
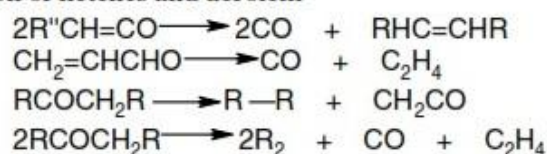
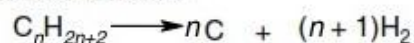
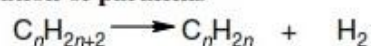
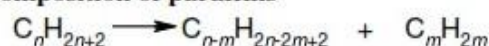
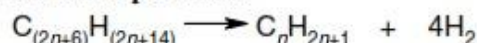
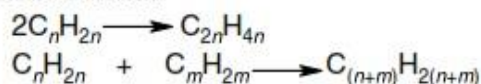
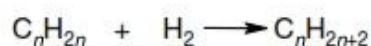
เป็นโลหะออกไซด์มีความเป็นเบส มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูง เช่น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของเบนซัลดีไฮด์ (Benzaldehyde) ปฏิกิริยาการสลายตัวของไดอะซีโตนแอลกอฮอล์ (Diacetonealcohol) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอะคริโลไนทริล (Acrylonitrile) และปฏิกิริยาแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืช เป็นต้น โครงสร้างผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์ มีโครงสร้างผลึกแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์ [14]

2.4 กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) [6,15]

กระบวนการไพโรไลซิสหรือการแตกตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งเป็นกระบวนการแตกไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีองค์ประกอบที่คล้ายกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมดีเซล คือเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดสายโซ่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยในระหว่างเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน อาจได้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาโดยเฉพาะส่วนที่มีแขนของโอเลฟิน (Olefin) ซึ่งจะสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อและสามารถทำปฏิกิริยากันเองได้ ตัวอย่างปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ในกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ แสดงดังภาพที่ 2.4

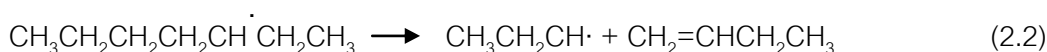
Decomposition of the glyceride**(2) Decomposition of fatty acids****(3) Decomposition of ketenes and acrolein****(4) Decomposition into elements****(5) Dehydrogenation of paraffins****(6) Splitting Decomposition of paraffins****(7) Alkylation of paraffins, the reverse of (6)****(8) Isomerization of paraffins****(9) 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**

ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์โดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน [6]

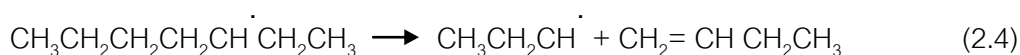
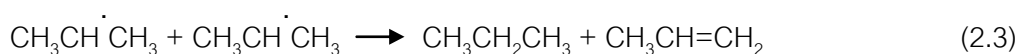
กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) และเกิดต่อไปอย่างต่อเนื่อง โดยในขั้นตอนแรกความร้อนจะไปสลายสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ทำให้ได้เป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ที่จะทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) และดึงไฮโดรเจนออกจากอัลเคน เนื่องจากอนุมูลอิสระที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองจะมีความเสถียรมากกว่าอนุมูลอิสระที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่หนึ่ง (2° Radical) เกิดเป็นผลิตภัณฑ์อัลเคนที่มีโมเลกุลเล็กลง ดังสมการที่ (2.1)



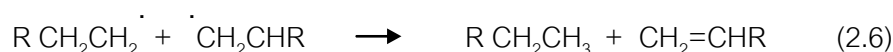
อนุมูลอิสระนี้จะเกิดในขั้นเริ่มต้นปฏิกิริยาจะเข้าไปทำปฏิกิริยาแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -Scission) เกิดเป็น 2-Alkene และเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เกาะที่คาร์บอนอะตอมแรก ดังสมการที่ (2.2)



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าไปยังตำแหน่งเบต้าอย่างต่อเนื่อง ได้ผลพลอยได้ (By-product) เกิดเป็นเอทิลีนจำนวนมาก โดยการแตกตัวด้วยความร้อนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาเกิดขึ้น โดยเฉพาะส่วนที่มีแขนโอเลฟินส์และไดโอเลฟินส์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อหรือทำปฏิกิริยากันเอง ซึ่งหากกระบวนการแตกตัวได้รับความร้อนมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกแก๊สในรูป C_1 - C_4 ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากนี้ในกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา Disproportionation หรือเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ตำแหน่ง β เกิดเป็นแอลคีน ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4)



ในขั้นตอนนี้สุดท้ายเป็นขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) โดยอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ 1 โมเลกุล หรือแตกเป็นโมเลกุล 2 โมเลกุล ดังสมการ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

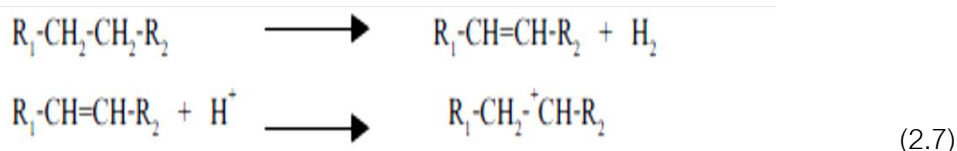


2.5 กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) [15,16]

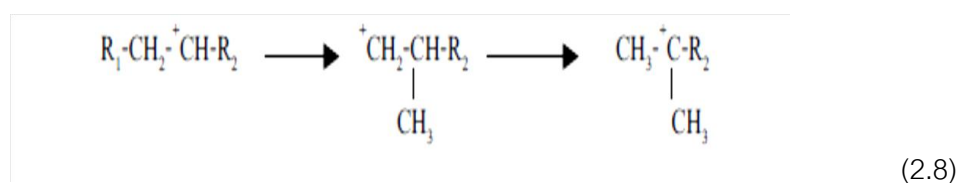
ปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีส่วนร่วมกับการแตกตัวด้วยความร้อน เป็นกระบวนการที่ช่วยทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่หลายๆ มีขนาดเล็กลง สามารถเปลี่ยนน้ำมันที่มีโมเลกุลสูงให้เป็นน้ำมันเบนซิน (gasoline) ดีเซล (diesel) ที่มีขนาดเบาลงได้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมสูงขึ้นเรื่อย

กลไกของการแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

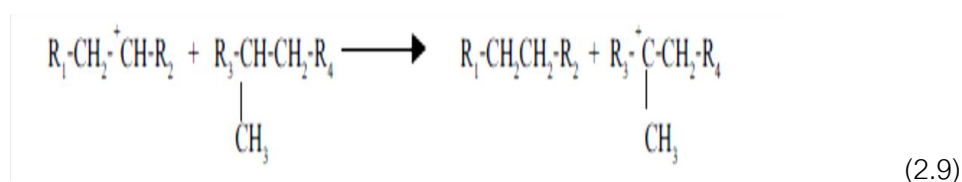
1. ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอเนียมไอออน (Carbonium ion) โดยเกิดจากการสูญเสียไฮโดรด์ไอออนที่มีประจุลบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ส่งผลให้เกิดเป็นคาร์บอเนียมไอออนที่มีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยเสถียรภาพของคาร์บอเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน ซึ่งคาร์บอเนียมไอออนที่มีโครงสร้างแบบตติยภูมิ (tertiary ion) จะมีเสถียรภาพมากกว่าคาร์บอเนียมไอออนที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ (secondary ion) และปฐมภูมิ (primary ion) ดังสมการที่ 2.7



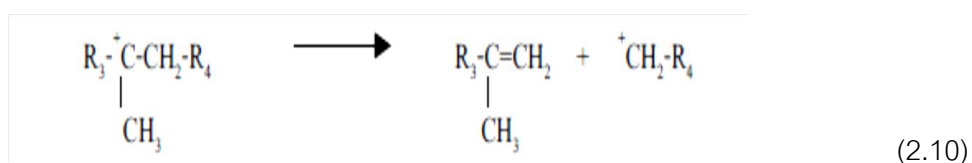
2. ปฏิกริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลคาร์โบเนียมไอออน เกิดจากการที่เสถียรภาพของคาร์โบเนียมไอออนมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน ดังสมการ 2.8



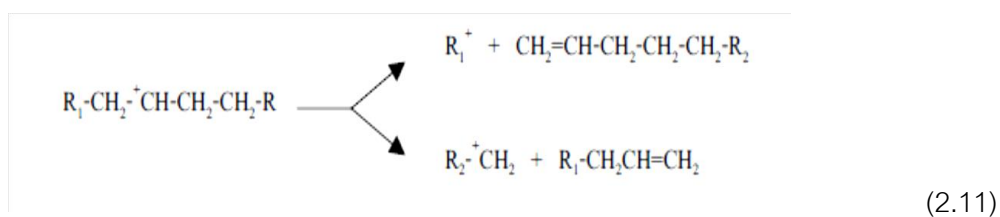
3. เกิดการเคลื่อนย้ายไฮไดรด์ (hydride transfer) โดยปฏิกริยาจะเกิดระหว่างคาร์โบเนียมไอออนกับสายโซ่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการ 2.9



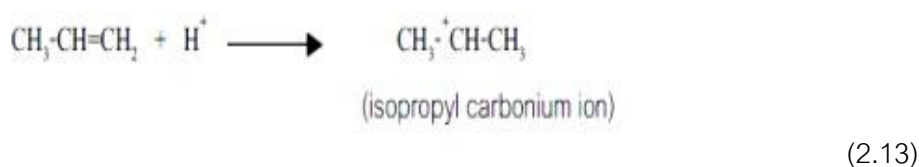
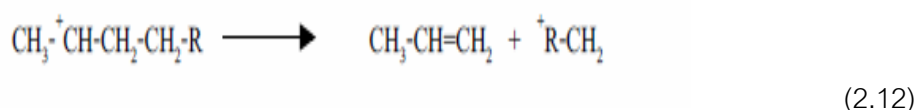
คาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกริยาการแตกตัว (β - fission) ที่ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบโอเลฟินและคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยมักจะเป็น primary carbonium ion ดังสมการ 2.10



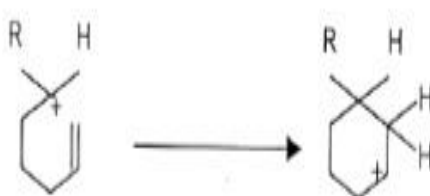
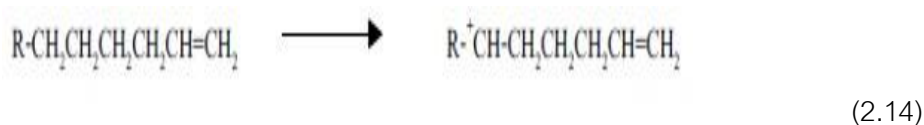
นอกจากนั้น ในบางกรณีคาร์โบเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion ดังสมการ 2.11

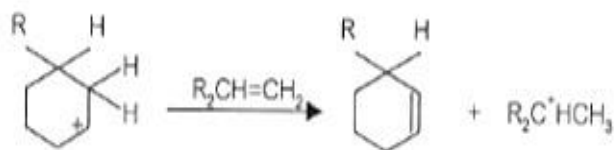


กรณีที่ R_1 คือ H การเกิด β - fission จะเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ 2.12 ซึ่งจะได้โพรพีนเป็นผลิตภัณฑ์และเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนได้เป็นโมเลกุลที่อยู่ในรูปคาร์บอนเนียมไอออน ซึ่งจะไม่สามารถเกิด β - fission ต่อได้ แสดงดังสมการ 2.13 จากนั้น Isopropyl carbonium ion จะถ่ายโอนเคลื่อนย้ายไฮโดรดีให้กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นได้โพรเพนเกิดขึ้น หรืออาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน

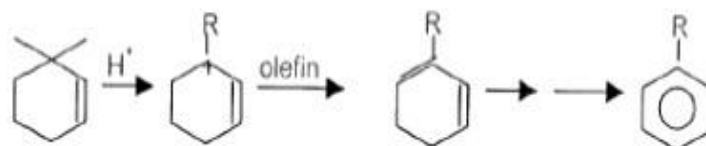


4. ปฏิกิริยาดีไฮโดรไซคลิกเซชัน dehydrocyclization เป็นปฏิกิริยาการเกิดวงแหวนแอโรแมติก โดยโอเลฟินจะเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา β - fission ได้สารประกอบโอเลฟินคาร์บอนเนียมไอออน (Olefin carbonium ion) ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรดีโอเลฟินจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เป็น allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพและเกิดการรับโปรตอนจากไซโคลเฮกซะไดอิน (cyclohexadiene) ในปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอโรแมติก ดังสมการ 2.14-2.17





(2.16)

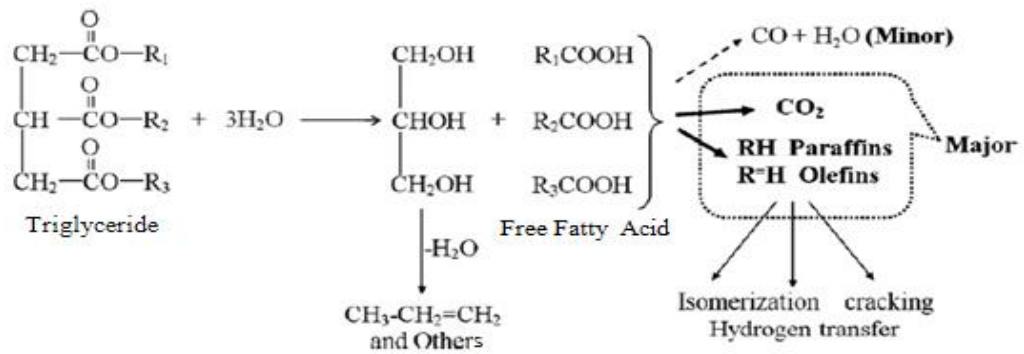


(2.17)

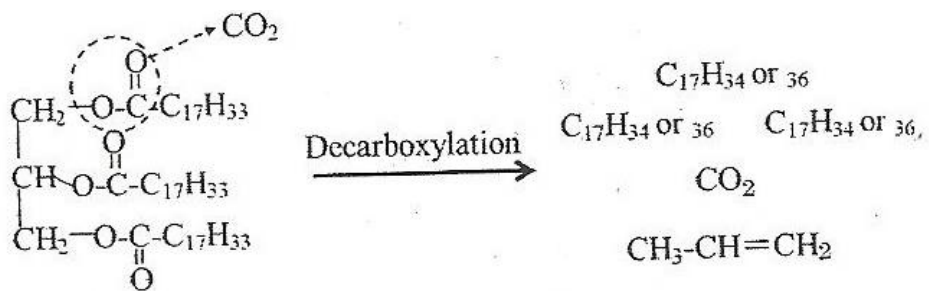
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง ประกอบด้วยแก๊สที่มีโอเลฟินสูง องค์ประกอบของวงเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีสารจำพวกแอมโรแมติกและโอเลฟินมาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้ก (coke) ที่เกาะบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้พื้นที่ผิวรูพรุนและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.5.1 กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะ [17-21]

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ ในตอนแรกเมื่อให้ความร้อนจะเกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชได้กรดไขมัน และกลีเซอรอล โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้นจะเกิดการแตกตัวต่อโดยผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) เกิดเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พาราฟินส์ และโอเลฟินส์ ดังภาพที่ 2.5 จากนั้นผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาจเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ต่อไปอีก โดยเฉพาะโอเลฟินส์ เนื่องจากเป็นพันธะไม่อิ่มตัว ซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา



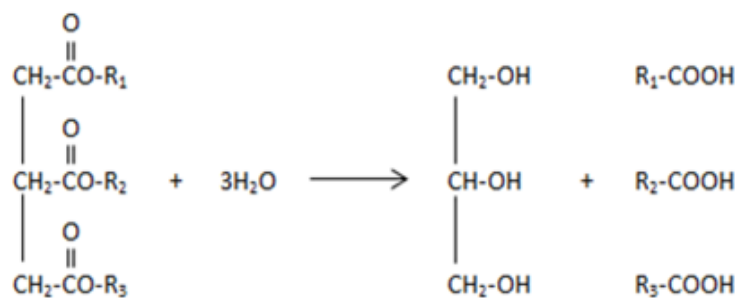
ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ [17]



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation)

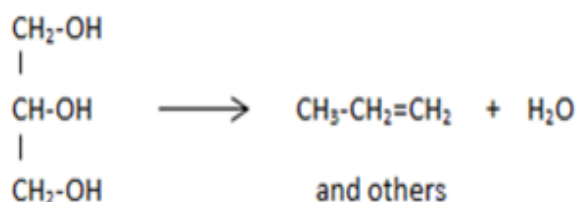
ปฏิกิริยาการแตกตัวที่สำคัญของน้ำมันพืชมีดังนี้

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Hydrolysis of Triglyceride) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ดังสมการที่ (2.18)



(2.18)

2. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของกลีเซอรอล (Hydration of Glycerol) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนและน้ำ ดังสมการที่ (2.19)



(2.19)

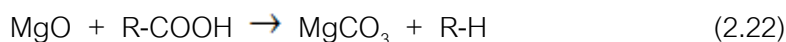
3. ปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดไขมัน (Decomposition of Free Fatty Acid) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ (2.20)



4. ปฏิกิริยาคีลาร์บอกซีเลชัน (Decarboxylation) เป็นการดึงหมู่คาร์บอกซิลจากกรดไขมันได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.21)



การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบสจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิล และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระได้ผลิตภัณฑ์เป็นแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO₃) หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ (2.22)



แมกนีเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้การเร่งปฏิกิริยาเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง ดังสมการที่ (2.23)



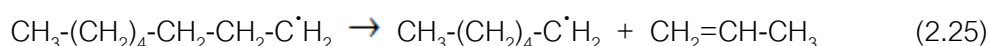
ซึ่งหากใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แทนแมกนีเซียมออกไซด์ในสมการที่ (2.22) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ที่มีเสถียรภาพสูงกว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง (มากกว่า 973 K) จึงจะเกิดการสลายตัวได้แคลเซียมออกไซด์

5. ปฏิกิริยาคัดการดึงหมู่คาร์บอนิล (Decarbonylation) ของสารประกอบคีโตนได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังสมการที่ (2.24)

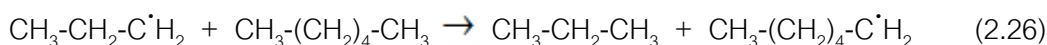


สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.20), (2.21) และ (2.22) จะอยู่ในรูปพาราฟินส์ (Paraffins) และโอเลฟินส์ (Olefins) และสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อได้ดังนี้

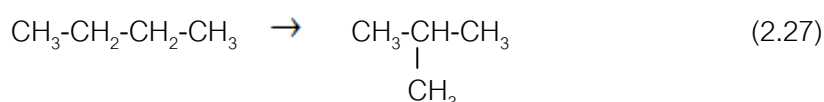
6. ปฏิกิริยาการแตกตัว (Cracking) ของโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กกว่า ดังสมการที่ (2.25)



7. ปฏิกิริยาถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนใหญ่โมเลกุลใหญ่ให้กับอนุมูลอิสระ ทำให้ได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวใหม่ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่จะเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่เพื่อทำปฏิกิริยาต่อไปดังสมการที่ (2.26)



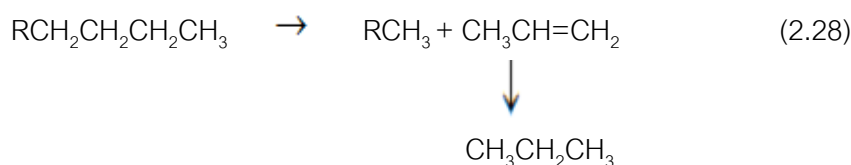
8. ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากสายโซ่ตรงเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่ง ดังสมการที่ (2.27)



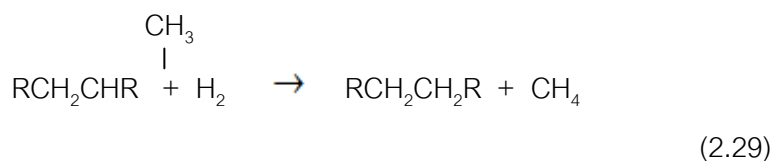
2.6 กระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (Hydrocracking) [15]

กระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน คือ กระบวนการที่ใช้เปลี่ยนน้ำมันหนักให้เป็นน้ำมันเบา โดยทำให้เกิดการแตกตัวแล้วรวมตัวกับไฮโดรเจนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากขึ้น โดยในการทำปฏิกิริยาจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในภาวะความดันและอุณหภูมิสูง และใช้แก๊สไฮโดรเจนเข้าไปช่วยไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นพวกโอเลฟินส์มากเกินไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการมี 2 ขั้นตอน ดังนั้นในกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีหน้าที่แตกต่างกัน คือตัวเร่งปฏิกิริยาใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน - คาร์บอนของโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยเติมแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนที่เป็นกรดจะไปกระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัว ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนที่เป็นโลหะจะไปกระตุ้นปฏิกิริยาการรวมตัวกับไฮโดรเจน ดังนั้นข้อดีของปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน คือ สามารถเลือกออกแบบให้การแตกตัวได้ผลิตภัณฑ์จำพวก เบนซีน น้ำมันดีเซลได้

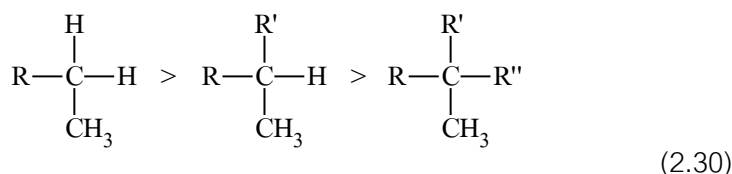
ตัวอย่างปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน โดยเริ่มจากการแตกพันธะระหว่าง C-C และจากนั้นเกิดการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของโอเลฟินส์เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นพันธะอิ่มตัว แสดงดังสมการที่ (2.28)



ในกรณีของการเติมไฮโดรเจนในพาราฟินส์ที่เป็นโซ่กิ่งจะเกิดปฏิกิริยาการดึงมีเทนออก (Demethanation) ดังสมการที่ (2.29)



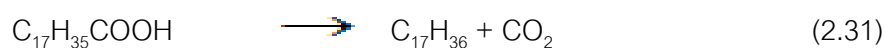
หมู่เมทิลที่เกาะที่คาร์บอนทุติยภูมิ (Secondary Carbon) สามารถแตกออกง่ายกว่าคาร์บอนตติยภูมิ (Tertiary Carbon) ในขณะที่กลุ่มเมทิลที่เกาะที่คาร์บอนจตุรภูมิ (Quaternary Carbon) จะทนต่อการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมที่สุด



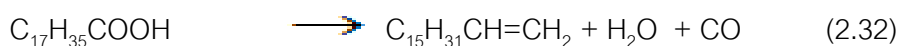
โดย R, R' และ R'' คือ หมู่อัลคิล

ตัวอย่างกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดสเตียริกด้วยกระบวนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม เป็นไฮโดรคาร์บอน มี 3 วิธี แสดงดังสมการที่ (2.31) – (2.34) ดังนี้

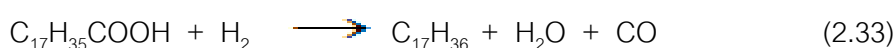
1. Decarboxylation (CO₂ Removal):



2. Decarbonylation (CO Removal):

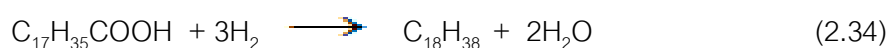


(Thermal Reaction)



(Catalytic Reaction)

3. Hydrodeoxygenation (Reduction):



วิธีที่ 1 และ 2 จะได้ผลิตภัณฑ์ n-C₁₇ เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ส่วนวิธีที่ 3 ได้ผลิตภัณฑ์ n-C₁₈ เป็นผลิตภัณฑ์หลักและได้นำเป็นสารพลอยได้

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์สูง จำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิให้เหมาะสม เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้กและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาได้ หรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

2.7 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอายุการใช้งานนานจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพการใช้งานลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ มีหลายกระบวนการที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมความว่องไว

1. การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องมาจากสารพิษ (Posisoning) สาเหตุของการเสื่อมสภาพเนื่องจากมีสิ่งเจือปนเข้ามากับสารตั้งต้น โดยจะทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีอย่าง

แข็งแรงของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ บนตำแหน่งที่ร่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการขัดขวางไม่ให้สารตั้งต้นเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ โดยสารที่เป็นพิษ

2. การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องมาจากฟอสฟอรัสหรือการเกิดโค้ก สาเหตุการเกิดโค้กนั้นเกิดจากการที่ตำแหน่งร่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาถูกบดบังโค้กที่เกิดจากฟลูออเดนหรือเกิดการอุดตันของรูพรุนหรือช่องว่างในเครื่องปฏิกรณ์ ส่งผลให้ไปลดความร่องไวและความสามารถในการเลือกจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาลง

3. การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องมาจากการซินเทอริง (Sintering) สาเหตุการเกิดซินเทอริง การรวมตัวกันของผลึกที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเกิดจากการหลอมเหลวของโลหะที่ได้จากกระบวนการผลิตที่มีการใช้อุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิลดลงโลหะที่หลอมเหลวจะเกิดการรวมตัวกันแข็งและมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สูญเสียตำแหน่งที่ร่องไวตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลอาจให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป

2.8 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน [15]

การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติต่างๆ ในน้ำมันดิบ โดยนำน้ำมันมากลั่นแยกตามคาบจุดเดือด (Boiling range) อย่างละเอียด ซึ่งสามารถแบ่งเป็นช่วงแคบๆ 5 - 10 องศาเซลเซียส แต่วิธีการแบ่งช่วงของจุดเดือดนี้ไม่เป็นที่นิยมนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากและใช้เวลานาน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบจุดเดือด โดยแบ่งช่วงของจุดเดือดเป็นช่วงกว้างพอดีกับที่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวสำเร็จรูป สามารถแบ่งช่วงคาบจุดเดือดออกเป็นช่วง ได้ดังต่อไปนี้

1. คาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial boiling point) จนถึง 200 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงของแก๊สโซลีน (Gasoline fraction) ซึ่งจะใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน
2. คาบจุดเดือดระหว่าง 200 - 250 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงของน้ำมันก๊าด (Kerosene fraction) นำมาใช้เป็นน้ำมันตะเกียงเพื่อให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันของน้ำมันก๊าดไม่ต่ำจนเกินไป จะเป็นน้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพดี แต่ถ้ามีจุดเยือกแข็งต่ำจะสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยานไอพ่นได้ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสมบัติเชื้อเพลิงอื่น ๆ ด้วย
3. คาบจุดเดือดระหว่าง 250 - 350 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงของแก๊สออยล์ชนิดเบา (Light gas oil fraction) มักนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์
4. คาบจุดเดือดระหว่าง 350 - 370 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงของแก๊สออยล์ (Gas oil fraction) นำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล

5. คาบจุดเดือดสูงกว่า 370 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงของกากน้ำมัน (Residue) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับสมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา ผลิตเป็นยางมะตอย หรือเป็นน้ำมันเครื่อง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xu Junming et al [19] ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชต่างชนิดกัน ประกอบด้วย น้ำมันตุง น้ำมันสบู่ดำ และน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิระหว่าง 450 – 500 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS และ FTIR ได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟิน พาราฟิน และกรดคาร์บอกซิลิก และเมื่อมีการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้งหมด (Al_2O_3 , MCM-41 และ CaO) พบว่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (CaO) แต่ Al_2O_3 และ MCM-41 มีองค์ประกอบคล้ายกับที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะให้ค่าความเป็นกรดลดลง ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นให้ผลคล้ายกันในเทอมของร้อยละผลิตภัณฑ์ของน้ำมันโค้ก และ ค่าความเป็นกรด จากงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะให้ค่าความเป็นกรดลดลงและมีสมบัติการไหล ณ อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับปิโตรเลียม

Xu Junming et al [20] ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ที่อุณหภูมิระหว่าง 480 – 520 องศาเซลเซียส โดยมีการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน (Al_2O_3 , MCM-41, CaO, CaCO_3 , Na_2CO_3 และ K_2CO_3) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS และ FTIR พบว่าได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟิน พาราฟิน และกรดคาร์บอกซิลิก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของกรดคาร์บอกซิลิกลดลงเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส และ ให้ค่าความเป็นกรดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยากรด และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 3.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมันถั่วเหลือง จะส่งผลให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของน้ำมันลดลง แต่ให้ค่าความเป็นกรดลดลงด้วย และส่งผลให้น้ำมันที่ได้มีสมบัติการไหล ณ อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) และมีค่าความร้อนสูง จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองสามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับน้ำมันปิโตรเลียม

Xu Junming et al [21] ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ประกอบด้วย Na_2CO_3 และ K_2CO_3 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิระหว่าง 350 – 400 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS และ FTIR ได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟิน พาราฟิน กรดคาร์บอกซิลิกและแอลดีไฮด์ และเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Al_2O_3 MCM-41) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Na_2CO_3 และ K_2CO_3 มีค่าความเป็นกรดที่ต่ำกว่า และสมบัติการไหล (cold flow properties) และมีค่าการละลายในน้ำมันดีเซล (solubility) ที่ดี ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองมีสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับน้ำมันปิโตรเลียม

Thanh-An Ngo et al [22] ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง ภายใต้การไหลของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 420 และ 450 องศาเซลเซียส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย H-ZSM5 (อัตราส่วนโดยโมล $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เท่ากับ 28, 40 และ 180) และตัวเร่งปฏิกิริยา MCM41 ที่ชุบด้วยโลหะแกลเลียม (Ga) อะลูมิเนียม (Al) และทองแดง (Cu) 2 wt% การทดลองได้ทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไพโรไลซิส จากการศึกษพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อผลได้ และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการทดลองส่วนใหญ่ประกอบด้วย แก๊สมีเทน แก๊สอีเทน และแก๊สโพรพิลีน และในส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Ga/MCM14 และ M28 1 ให้ร้อยละผลได้น้ำมันสูงที่สุด คือ 77.3 โดยน้ำหนัก และ 71.3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา H-ZSM5 ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีส่วนใหญ่มีสารประกอบอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น แอโรแมติก โทลูอิน และไซลีน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา MCM41 ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีองค์ประกอบเป็นส่วนผสมของ อัลเคน อัลคีน อัลคาไดอิน (Alkadienes) อะโรมาติก และกรดคาร์บอกซิลิก

Ooi et al [23] ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของกากของกรดไขมันที่ได้จากโรงงานน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบเบดนิ่ง (fixed – bed microreactor) ที่ความดันบรรยากาศ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ 400 – 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของน้ำหนักกากของกรดไขมันต่อน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 6-10 กรัมต่อกรัม อัตราการป้อนของน้ำหนักรากของกรดไขมันต่อน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 - 4.5 ชั่วโมง⁻¹ เมื่อทำการวิเคราะห์ของเหลวที่ได้ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือด 3 ช่วง คือ (a) gasoline fraction (333–393เคลวิน), (b) kerosene fraction (393–453 เคลวิน) and (c) diesel fraction (453–473 เคลวิน) โดยงานวิจัยนี้ต้องการส่วนที่เป็นแก๊สไซลีนมากที่สุด พบว่าที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของ

น้ำหนักกากของกรดไขมันต่อน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 9.64 กรัมต่อกรัม และอัตราการป้อนของน้ำหนักกากของกรดไขมันต่อน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 3.66 ชั่วโมง⁻¹ ให้ร้อยละผลได้ของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนสูงสุดคือร้อยละ 44.4 โดยน้ำหนัก

Eduard et al [24] ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพ ที่ช่วงอุณหภูมิ 350 – 440 องศาเซลเซียส และผลของชนิด (NaY, HY, NH₄Y, Na-ZSM5, H-ZSM5, CL) และปริมาณซีโอไลต์ที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลว เช่น ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของของเหลวต่ำแต่ปริมาณแก๊สสูง ทั้งนี้ตัวเร่งซีโอไลต์ที่มีผลการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพค่อนข้างมากคือ NaY, HY และ CL ซึ่งจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว 85 – 90 ภายในช่วงเวลา 20 – 30 นาที โดยเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของของเหลวด้วย GC/MS พบว่าองค์ประกอบของโอเลฟิน พาราฟิน และกรดคาร์บอกซิลิก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกันจะให้องค์ประกอบคล้ายกัน แต่ของเหลวที่ได้มีค่าความเป็นกรดสูงในช่วง 100 – 140 mgKOH/g โดยตัวเร่งกลุ่ม ZSM5 ให้ค่าความเป็นกรดสูงที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแก้ปัญหาค่าความเป็นกรดและความหนืดสูงโดยการผสมกับเชื้อเพลิงที่มีความหนืดที่เหมาะสม

Ersan Pütün et al [25] ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สตัวพาและตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ในกระบวนการไพโรไลซิสของเมล็ดฝ้าย ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในท่อภายใต้อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (N₂) และอุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละผลได้ของน้ำมันสูงสุดคือร้อยละ 48.30 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 200 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ภาวะที่เหมาะสมนี้การไพโรไลซิสเมล็ดฝ้ายเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ที่ปริมาณต่างๆกัน (ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น) ได้ปริมาณของน้ำมันลดน้อยลง แต่คุณภาพในด้านค่าพลังงานความร้อน การกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นและการนำเอาหมู่ออกซิเจนออกไปลดลงจากร้อยละ 9.56 เหลือเพียง 4.90 ทั้งนี้น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี FTIR และ H-NMR พบว่ามีส่วนที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลิฟาติก แอโรแมติกและสารที่มีขั้ว ส่วนแอลิฟาติกถูกวิเคราะห์ด้วย GC-MS ด้วย จากงานวิจัยสามารถสรุป

ได้ว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักต่ำในช่วงดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียม

Lima et al [26] ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง ที่ช่วงอุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่แยกได้ประกอบด้วย 4 ช่วง ซึ่งผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพคล้ายกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม นอกจากนี้ยังใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (HZSM-5) ร่วมในกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อลดความหนืดของน้ำมันที่ได้ เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่อง GC-MS และ FTIR พบว่า มีองค์ประกอบคือโอเลฟิน พาราฟิน กรดคาร์บอกซิลิก และแอลดีไฮด์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมขององค์ประกอบที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองระหว่างปฏิกิริยาที่ใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าพีคของกรดคาร์บอกซิลิกลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดการลดลงของออกซิเจน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมากขึ้น

มารีนา มงคล [27] ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 น้ำหนัก 0.05 – 0.2 กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 – 2.0 กรัม อุณหภูมิ 400 – 430 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 – 45 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจน 10 – 30 บาร์ โดยทำการหาภาวะเหมาะสมในการแตกตัว ผลการทดลองกรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ จะได้ภาวะที่มีผลต่อผลได้เนฟทาสูงสุด คือ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ปริมาณเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ ซึ่งจะได้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว 79.74 โดยน้ำหนัก และมีองค์ประกอบเป็นเนฟทา 28.14 เคโรซีน 16.56 แก๊สออยล์เบา 21.86 แก๊สออยล์หนัก 3.26 และกากน้ำมัน 9.91 โดยน้ำหนัก และกรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 จะได้ภาวะที่มีผลต่อผลได้เนฟทาสูงสุด คือ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ปริมาณ HZSM-5 0.0.5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ ได้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว 83.60 โดยน้ำหนัก และมีองค์ประกอบเป็นแกโซลีน 26.75 เคโรซีน 13.79 แก๊สออยล์เบา 22.99 แก๊สออยล์หนัก 3.76 และกากน้ำมัน 16.30 โดยน้ำหนัก

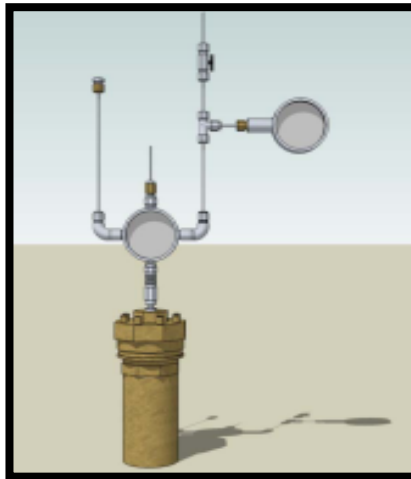
บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส และหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Micro-reactor) ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม โดยด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลส อุปกรณ์สำหรับอัดแก๊ส และวาล์วนิรภัยสามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล มีช่องเสียบเทอร์โมคัปเปิลเปิดทางด้านบนสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง ดังภาพที่ 3.1



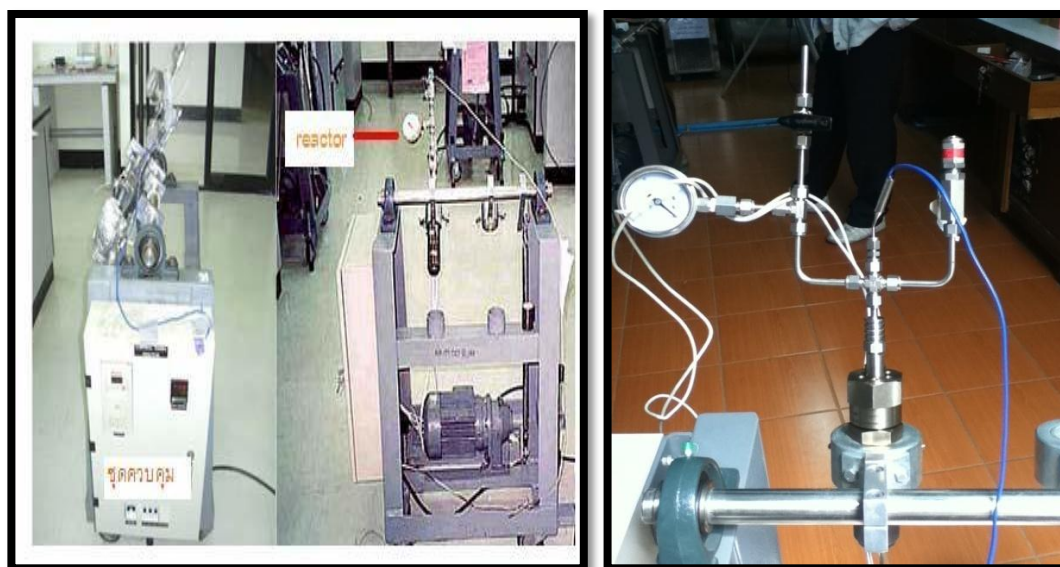
ภาพที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ปริมาตร 70 มิลลิลิตร (Micro-reactor)

3.1.2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature controller) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดให้ความร้อนและสามารถตัดการจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3.1.3 ขดลวดความร้อนแบบ Injection แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 400 วัตต์

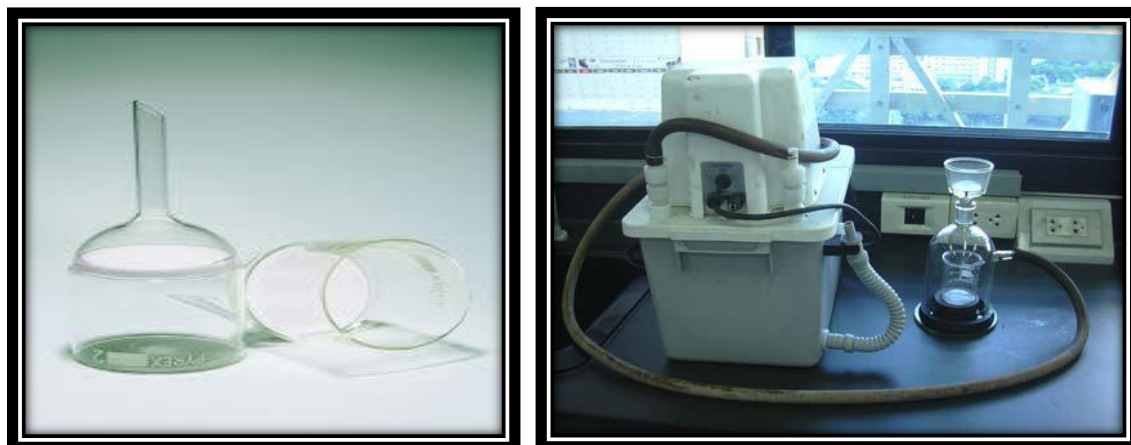
3.1.4 เมอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ชนิดเค (K-type) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร

3.1.5 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวกำลังขับเคลื่อนแกนหมุนให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการแกว่ง สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้จากชุดควบคุมความเร็ว ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลและเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก

3.1.6 ชุดกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศสำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็ง โดยผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรอง ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดเทคนิค 2 ตำแหน่ง

3.1.8 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดเทคนิค 4 ตำแหน่ง

3.1.9 นาฬิกาจับเวลา

3.1.10 ตู้อบ (Oven)

3.1.11 เครื่องแก้ว ประกอบด้วยบีกเกอร์ ขวดใส่ตัวอย่าง

3.1.12 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น GC7890 A สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดตามมาตรฐาน ASTM D2887 แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography)

3.1.13 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น GC7890A สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fringerprint ของเลขมวล (Mass Number) ขององค์ประกอบนั้นๆ ที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS)

3.1.14 เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area and porosity analyzer) สำหรับวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำได้โดยวัดปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (absorb) ลงบนผิวสารตัวอย่าง แล้วนำมาเข้าสู่ตรรกศาสตร์ของ BET เพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) แสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (BET surface area)

3.1.15 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา เทคนิค XRF อาศัยหลักการการปล่อยโฟตอนจำเพาะของสาร ซึ่งจะมีความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้นๆ จึงสามารถบ่งชี้ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.1.16 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) ยี่ห้อ Shimadzu GC-2014 สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

3.1.17 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy เป็นเครื่องที่ใช้เทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ แสดงดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่อง FT-IR Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

3.1.18 เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Potentiometric titration) ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 848 Titration plus สำหรับวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ตามมาตรฐาน ASTM.D 664-89 แสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Potentiometric titration)

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้

3.2.1 น้ำมันถั่วเหลือง

3.2.2 แก๊สไฮโดรเจน 99.99% บรรจุในถังเก็บแบบ high pressure ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จากบริษัท TIG Trading

3.2.3 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 99.9% จากบริษัท Earth Chem lab LTD., Part.

3.2.4 สารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) 99% จากบริษัท เอส อาร์ แล็บ

3.2.5 สารละลายไทลูอิน 99% จากบริษัท Fisher Chemical

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองก่อนการทดลองโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation) และวัดองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองก่อนการทดลอง

3.3.2 วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ ประกอบด้วยวิเคราะห์หาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค) X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง BET

3.3.3 ออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลสองระดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส โดยออกแบบการทดลองเป็น 2⁴ แฟกทอเรียล ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

3.3.4 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง และทำการคำนวณหาปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.1 ระดับของตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปร	ระดับ	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), A	380	450
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	0.1	1.5
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	1	5
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (min), D	30	60

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

ตัวแปร			
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), A	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ระยะเวลาในการ ทำปฏิกิริยา (min), D
380	0.1	1	30
450	0.1	1	30
380	0.1	5	30
450	0.1	5	30
380	0.1	1	60

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

ตัวแปร			
อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา (min), D
450	0.1	1	60
380	0.1	5	60
450	0.1	5	60
380	1.5	1	30
450	1.5	1	30
380	1.5	5	30
450	1.5	5	30
380	1.5	1	60
450	1.5	1	60
380	1.5	5	60
450	1.5	5	60
415	0.8	3	45
415	0.8	3	45
415	0.8	3	45

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ชั่งน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง 15 กรัมพร้อมกับเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.4.2 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ที่ชั่งได้ตามปริมาณที่ต้องการลงในเครื่องปฏิกรณ์แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย

3.4.3 นำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิห้องโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปอย่างช้าๆ แล้วอัดแก๊สไฮโดรเจนจนถึงความดันที่กำหนด โดยสังเกตความดันจาก Regulator ที่ต่อระหว่างถังบรรจุแก๊สไฮโดรเจนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ทำการตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สตามข้อต่อของเครื่องปฏิกรณ์ หากปรากฏว่าไม่มีรอยรั่วของแก๊สไฮโดรเจน ค่อยๆ หมุนวาล์วปิดเพื่อไม่ให้แก๊สออก

3.4.4 นำเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ และต่ออุปกรณ์ขดลวดความร้อนแบบ Injection เข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างการทดลอง จากนั้นต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์

3.4.5 ปรับกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้กับขดลวดให้ความร้อน และเปิดสวิตช์เครื่องเขย่า

3.4.6 เริ่มทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ตามที่กำหนด เมื่อครบเวลาที่ทำการปฏิกิริยาแล้ว นำฉนวนและขดลวดความร้อนออก รอจนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้องจึงทำการปล่อยแก๊สภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก

3.4.7 แยกผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวออกจากกากของแข็ง โดยการกรองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ ใช้กระดาษกรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวเก็บไว้ในขวดแก้ว เพื่อรอการวิเคราะห์ ล้างเครื่องปฏิกรณ์ด้วยสารละลายโทลูอีน เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งและกระดาษซับไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งเพื่อคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงไป

3.4.8 นำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography เพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวในช่วงคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้

3.4.9 คำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (% Liquid yield)

$$= \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้}}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \times 100$$

ร้อยละผลได้แก๊สโซลีนทั้งหมด (% overall gasoline yield)

$$= \text{ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว} \times \text{ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน}$$

3.4.10 นำผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) เพื่อหาค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบที่อยู่ในผลิตภัณฑ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิธพันธุ์ชนิดเบสประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ โดยทำปฏิกิริยาการแตกตัวภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ซึ่งต้องการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k แฟกทอเรียล (2^k factorial design) ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้การศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสารตั้งต้น

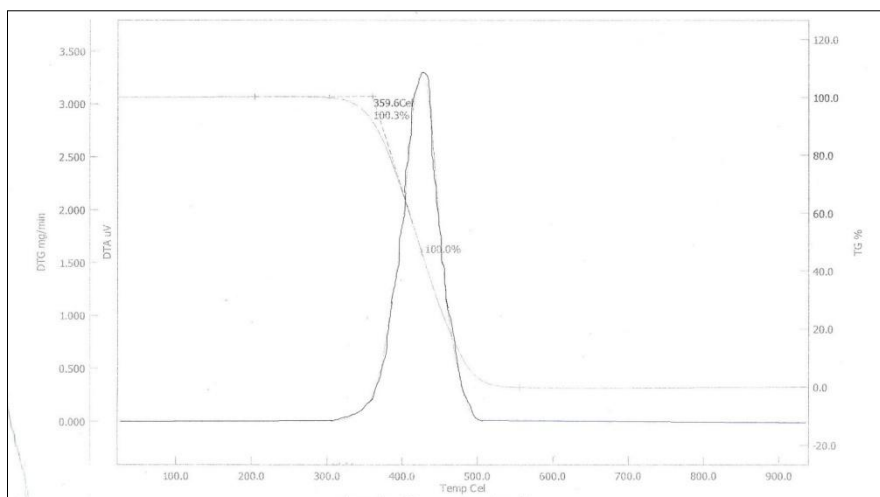
4.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันถั่วเหลืองก่อนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography) แสดงในตารางที่ 4.1

การวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันถั่วเหลืองก่อนการศึกษากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ตามมาตรฐาน ASTM D2887 แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ามีองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของกาน้ำมันหนักหรือ long residue อยู่ปริมาณมากถึงร้อยละ 76 โดยน้ำหนัก โดยมีปริมาณเนฟทาอยู่เพียงร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงสนใจที่จะเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงโดยการทำปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งเพื่อให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองตามคาบจุดเดือดก่อนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา

จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
IBP - 200	Naphtha (C ₅ - C ₁₂)	5
200 - 250	Kerosene (C ₁₂ - C ₁₅)	1
250 - 350	Light gas oil (C ₁₅ - C ₂₅)	1
350 - 370	Gas oil (C ₂₅ - C ₃₃)	17
370 - FBP	Long Residue (>C ₃₃)	76

4.1.2 การวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analyzer (TGA)



ภาพที่ 4.1 ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเทคนิค TGA

ภาพที่ 4.1 แสดงการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเทคนิค TGA พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองแตกตัวช่วง 380 -480 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่น้ำมันถั่วเหลืองสลายตัวได้คือที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

4.1.3 การวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง แสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง ผลการวิเคราะห์ได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว 15.45 กรัม/100 มิลลิลิตร และมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ 83.59 กรัม/100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง

Fatty acid composition	Percentage (%)
Myristic acid (C14:0)	0.07
Palmitic acid (C16:0)	10.90
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.08
Stearic acid (C18:0)	3.49
Arachidic acid(C20:0)	0.34
Behenic acid (C22:0)	0.42
Lignoceric acid (C24:0)	0.15
Total saturated fatty acid	15.45
Palmitoleic acid (C16:1)	0.08
Cis-9-Octadecenoic acid (C18:1)	25.21
Cis-9,12-Octadecadienoic acid (C18:2)	53.10
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid (C18:3)	5.01
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)	0.19
Total unsaturated fatty acid	83.59

4.2 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

การวิเคราะห์ด้วย XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณแมกนีเซียมร้อยละ 96.972 โดยน้ำหนัก และตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 95.852 โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Element	(%weight)
Mg	96.972
Si	0.133
P	0.38
S	1.58
K	0.231
Ca	0.678
Sr	0.026

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Element	(%weight)
Ca	95.852
Si	0.052
P	0.078
S	0.28
K	0.014
Mg	3.675
Sr	0.049

4.2.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุน (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุน (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ ในตารางที่ 4.5 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวรูพรุนมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีตำแหน่งว่องไว (active site) ที่มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวรูพรุน (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

Catalst	BET surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size (°A)
MgO	89.00	0.078	621.2
CaO	8.10	0.076	401.9

4.3 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล (2^k factorial) [28] , [29]

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์จะโดยทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k แฟกทอเรียล (2^k factorial) ซึ่งเป็นการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนองของตัวแปรที่ต้องการศึกษา เพื่อที่จะทำการลดจำนวนการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาค่าตัวแปร 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยจากการออกแบบการทดลอง กำหนดให้

A คือ อุณหภูมิ ค่าต่ำสุดที่ 380 องศาเซลเซียส (-) ค่าสูงสุดที่ 450 องศาเซลเซียส (+)

B คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก (-) ค่าสูงสุดที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก (+)

C คือ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ค่าต่ำสุดที่ 1 บาร์ (-) ค่าสูงสุดที่ 5 บาร์ (+)

D คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าต่ำสุดที่ 30 นาที (-) ค่าสูงสุดที่ 60 นาที (+)

จากการออกแบบการทดลองข้างต้นประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง และการทดลองที่ค่ากลางของตัวแปร คือ ที่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) = 415 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (B) = ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (D) = 3 บาร์ และ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (C) = 45 นาที

4.4 การศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากปฏิกิริยาแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^4 แฟกทอเรียล และทำการทดลองที่ค่ากลาง 3 ครั้ง จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 61.98 – 95.40 โดยน้ำหนัก และนำมาสร้างเป็น Normal probability plot ดังภาพที่ 4.2

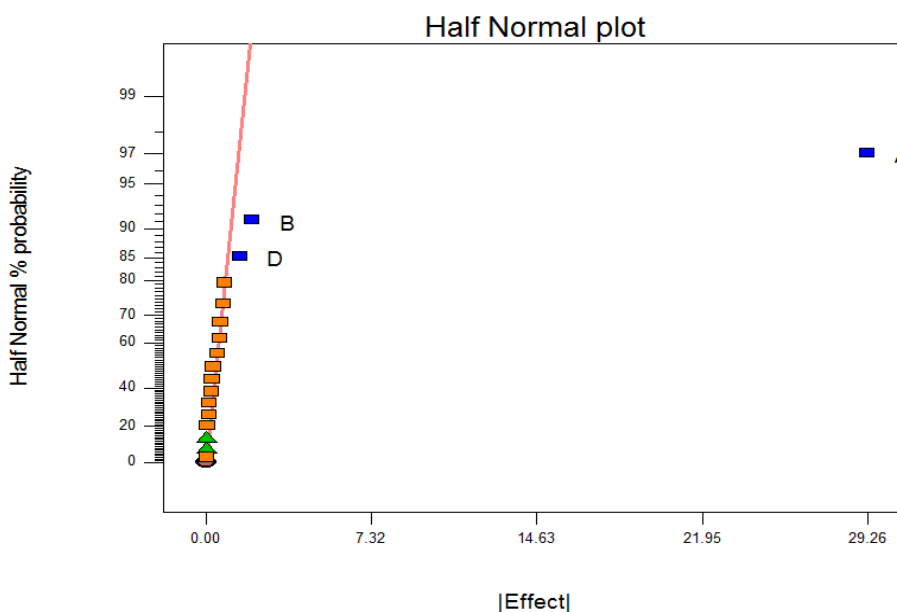
ตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจน (bar), C	ระยะเวลา (min), D	
1	380	0.1	1	30	94.02
2	450	0.1	1	30	63.73
3	380	0.1	5	30	95.40
4	450	0.1	5	30	65.37
5	380	0.1	1	60	92.41
6	450	0.1	1	60	62.94
7	380	0.1	5	60	93.44
8	450	0.1	5	60	64.68
9	380	1.5	1	30	92.70
10	450	1.5	1	30	62.65
11	380	1.5	5	30	90.99
12	450	1.5	5	30	62.12
13	380	1.5	1	60	89.65

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจน (bar), C	ระยะเวลา (min), D	
14	450	1.5	1	60	61.98
15	380	1.5	5	60	91.22
16	450	1.5	5	60	63.12
17	415	0.8	3	45	84.88
18	415	0.8	3	45	84.61
19	415	0.8	3	45	84.94

ภาพที่ 4.2 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ซึ่งได้จากการสร้าง Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว



ภาพที่ 4.2 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร A, B และ D มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงเป็นการยืนยันได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression model) ได้ดังสมการที่ 2.35

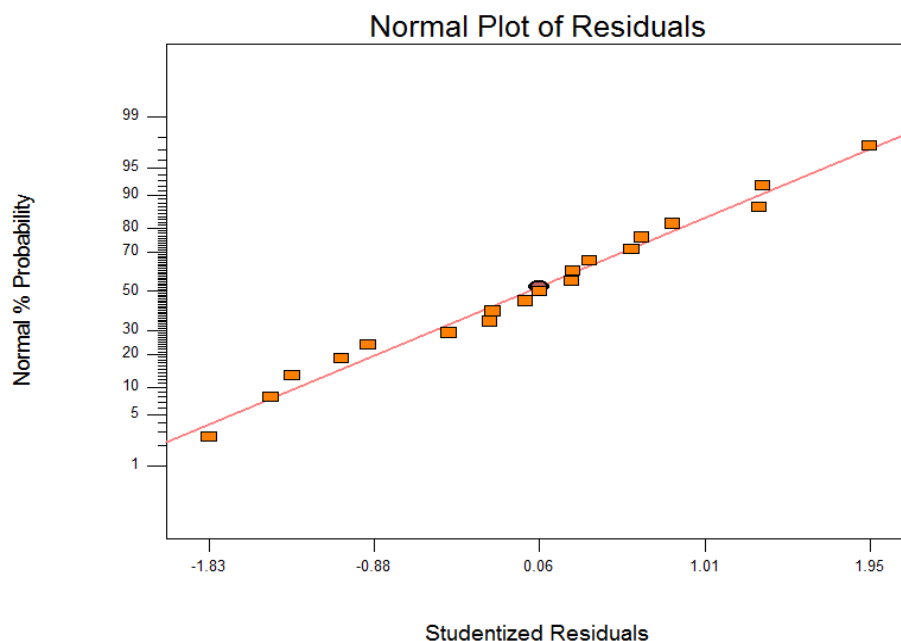
$$\text{Yield of liquid} = 78.08 - 14.63A - 1.00B - 0.74D \quad (2.35)$$

เมื่อตัวแปร A, B, C และ D เป็นตัวแปรที่มีการเข้ารหัสอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ค่าต่ำแทนด้วย -1 และค่าสูงแทนด้วย 1

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	3449.33	3	1149.78	1653.96	<0.0001
A	3424.59	1	3424.59	4926.28	<0.0001
B	16.04	1	16.04	23.07	0.0003
D	8.70	1	8.70	12.52	<0.0001
Curvature	188.30	1	188.30	270.87	<0.0001
Residual	9.73	14	0.70		
Total	3647.36	18			

ภาพที่ 4.3 แสดง Normal plot of residue พบว่าค่า Residuals สำหรับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.9972$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบแบบปกติจริง



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ การศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธภณชนิตเบสได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^4 แฟกทอเรียล และทำการทดลองที่ค่ากลาง 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 61.98 – 95.40 โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ได้ร้อยละผลได้ของแนฟทาในตารางที่ 4.8 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของแนฟทาอยู่ในช่วงร้อยละ 5.38 – 28.90 โดยน้ำหนัก และนำมาสร้างเป็น Normal probability plot ได้ในภาพที่ 4.4

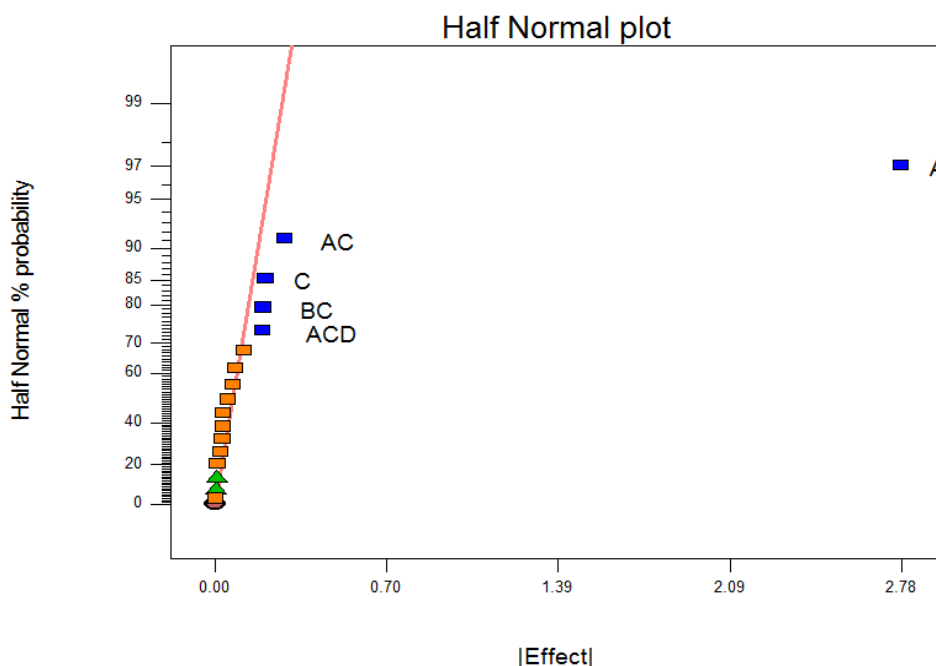
ตารางที่ 4.8 ร้อยละผลได้เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้เนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	ความดันไฮโดรเจน (bar), C	ระยะเวลา (min), D	
1	380	0.1	1	30	8.22
2	450	0.1	1	30	25.63
3	380	0.1	5	30	5.38
4	450	0.1	5	30	26.54
5	380	0.1	1	60	6.93
6	450	0.1	1	60	27.92
7	380	0.1	5	60	7.05
8	450	0.1	5	60	27.89
9	380	1.5	1	30	8.75
10	450	1.5	1	30	26.34
11	380	1.5	5	30	6.62
12	450	1.5	5	30	28.20
13	380	1.5	1	60	9.24

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ร้อยละผลได้แนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ แนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจน (bar), C	ระยะเวลา (min), D	
14	450	1.5	1	60	28.57
15	380	1.5	5	60	5.88
16	450	1.5	5	60	28.90
17	415	0.8	3	45	12.70
18	415	0.8	3	45	11.90
19	415	0.8	3	45	12.36

ภาพที่ 4.4 จากการสร้าง Normal probability plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อร้อยละผลได้แนฟทา พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อันตรกิริยาระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (BC) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ACD) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา



ภาพที่ 4.4 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร A , AC , C , BC และ ACD มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงเป็นการยืนยันได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อันตรกิริยาระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (BC) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ACD) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของเนฟทาอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression model) ได้ดังสมการที่ 2.36

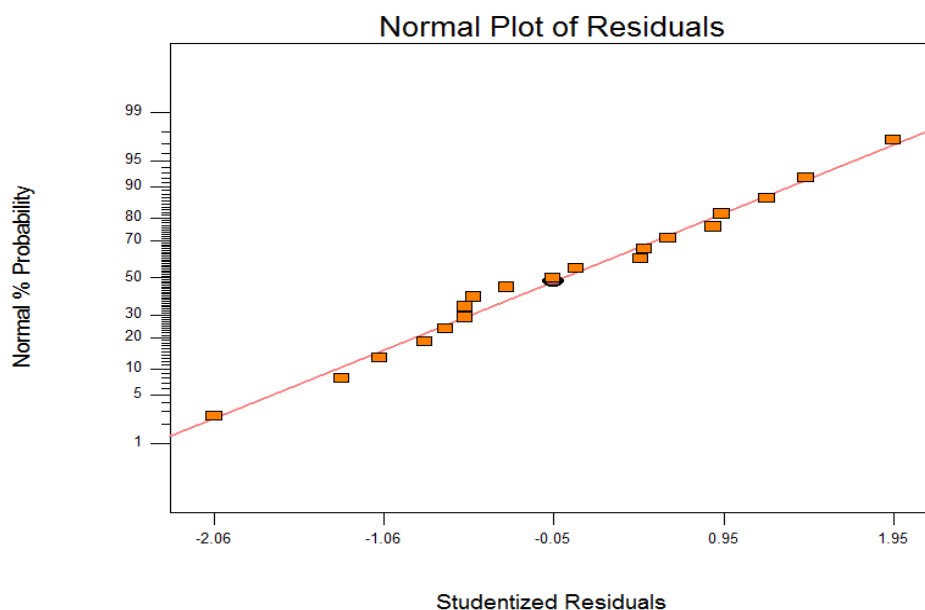
$$\text{Yield of naptha} = 18.18 + 11.17A + 0.55C + 0.85AC - 0.75BC - 0.76ACD \quad (2.36)$$

เมื่อตัวแปร A, B, C และ D เป็นตัวแปรที่มีการเข้ารหัสอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ค่าต่ำแทนด้วย -1 และค่าสูงแทนด้วย 1

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	31.78	5	6.36	561.60	<0.0001
A	30.99	1	30.99	2738.47	<0.0001
C	0.17	1	0.17	14.86	0.0023
AC	0.32	1	0.32	28.20	0.0002
BC	0.15	1	0.15	13.36	0.0033
ACD	0.15	1	0.15	13.09	0.0035
Curvature	0.66	1	0.66	58.73	<0.0001
Residual	0.14	12	0.011		
Total	32.58	18			

ภาพที่ 4.5 แสดง Normal plot of residues พบว่าค่า Residuals สำหรับร้อยละผลได้ของแนฟทามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.9957$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบแบบปกติจริง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละผลได้เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

4.4.3 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^4 แฟกทอเรียล 1 เรพลีเคต และทำการทดลองที่ค่ากลาง 3 ครั้ง จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 58.02 – 94.52 โดยน้ำหนัก และนำมาสร้างเป็น Normal probability plot แสดงในภาพที่ 4.6

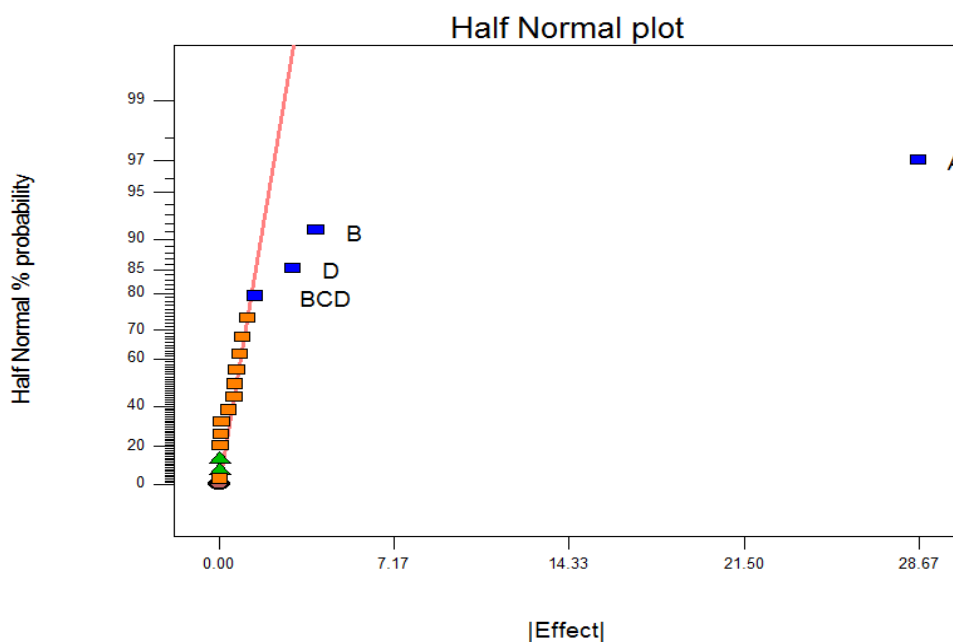
ตารางที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	เวลาในการ ทำปฏิกิริยา (min), D	
1	380	0.1	1	30	94.30
2	450	0.1	1	30	65.12
3	380	0.1	5	30	94.52
4	450	0.1	5	30	62.62
5	380	0.1	1	60	93.19
6	450	0.1	1	60	64.17
7	380	0.1	5	60	92.28
8	450	0.1	5	60	59.57
9	380	1.5	1	30	91.76
10	450	1.5	1	30	62.92
11	380	1.5	5	30	91.79
12	450	1.5	5	30	61.69
13	380	1.5	1	60	89.10

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน
ถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt), B	ความดัน ไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	เวลาในการ ทำปฏิกิริยา (min), D	
14	450	1.5	1	60	58.02
15	380	1.5	5	60	88.73
16	450	1.5	5	60	59.51
17	415	0.8	3	45	86.21
18	415	0.8	3	45	86.50
19	415	0.8	3	45	86.25

ภาพที่ 4.6 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการสร้าง Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) และ อัตราการระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (BCD) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว



ภาพที่ 4.6 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

วิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร A,B,D และ BCD มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงเป็นการยืนยันได้ว่าคุณสมบัติที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) และอันตรกิริยาระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (BCD) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression model) ได้ดังสมการที่ (2.37)

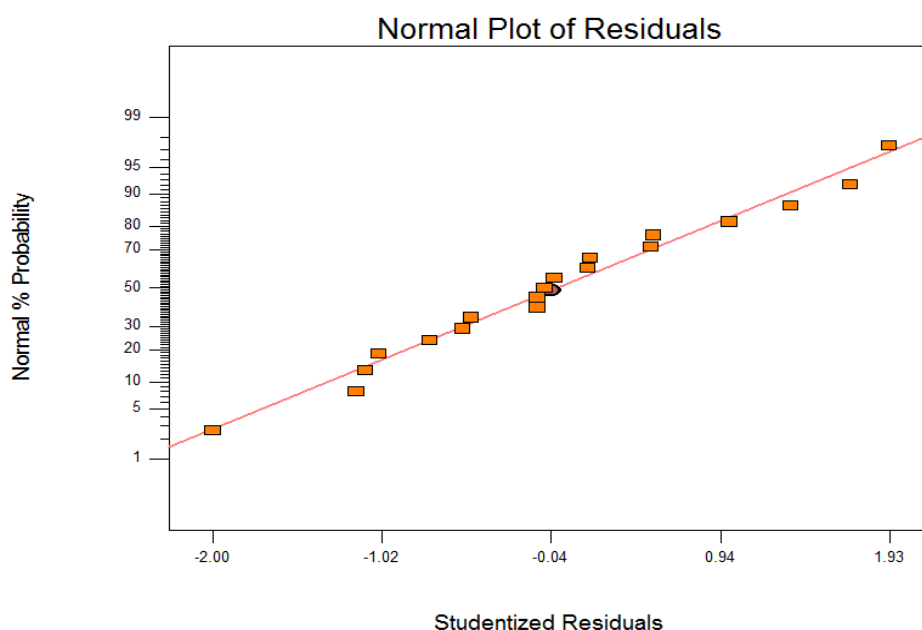
$$\text{Yield of liquid} = 77.68 - 14.33A - 1.98B - 1.51D + 0.72BCD \quad (2.37)$$

เมื่อตัวแปร A, B, C และ D เป็นตัวแปรที่มีการเข้ารหัสอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ค่าต่ำแทนด้วย -1 และค่าสูงแทนด้วย 1

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	3395.32	4	848.83	637.59	<0.0001
A	3287.73	1	3287.73	2469.55	<0.0001
B	62.61	1	62.61	47.03	<0.0001
D	36.56	1	36.56	27.46	0.0002
BCD	8.41	1	8.41	6.32	0.0259
Curvature	188.45	1	188.45	141.55	<0.0001
Residual	17.31	13	1.33		
Total	3601.07	18			

ภาพที่ 4.7 แสดง Normal plot of residues พบว่าค่า Residuals สำหรับร้อยละผลได้ของ ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.9949$ และมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบแบบปกติจริง



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

4.4.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การศึกษাপฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^4 แฟกทอเรียล 1 เรพลีเคต และทำการทดลองที่ค่ากลาง 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 58.02 – 94.52 โดยน้ำหนัก นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ซึ่งได้ร้อยละผลได้ของแนฟทาดังตารางที่ 4.12 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของแนฟทาอยู่ในช่วงร้อยละ 5.89 – 27.82 โดยน้ำหนัก และนำมาสร้างเป็น Normal probability plot ในภาพที่ 4.8

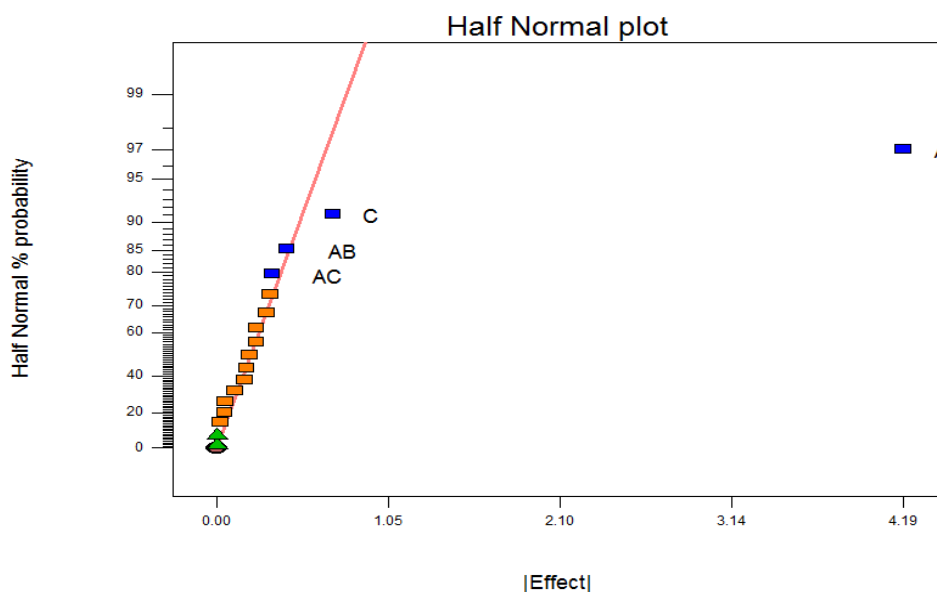
ตารางที่ 4.12 ร้อยละผลได้เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้เนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), D	
1	380	0.1	1	30	5.89
2	450	0.1	1	30	23.56
3	380	0.1	5	30	7.82
4	450	0.1	5	30	27.82
5	380	0.1	1	60	6.12
6	450	0.1	1	60	25.21
7	380	0.1	5	60	6.92
8	450	0.1	5	60	26.18
9	380	1	1	1.5	7.91
10	450	1.5	1	30	24.73
11	380	1.5	5	30	7.82
12	450	1.5	5	30	25.94
13	380	1.5	1	60	8.22

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ร้อยละผลได้แนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้แนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), B	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), D	
14	450	1.5	1	60	24.25
15	380	1.5	5	60	7.76
16	450	1.5	5	60	27.15
17	415	0.8	3	45	13.09
18	415	0.8	3	45	13.15
19	415	0.8	3	45	12.56

ภาพที่ 4.8 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (AB) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา



ภาพที่ 4.8 Normal probability plot ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ที่ค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร A , C , AB และ AC มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า คุณสมบัติที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อันตรกิริยาระหว่างคุณสมบัติที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (AB) และอันตรกิริยาระหว่างคุณสมบัติที่ใช้ในการทำและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้เนฟทา และสามารถสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression model) ได้ดังสมการที่ 2.38

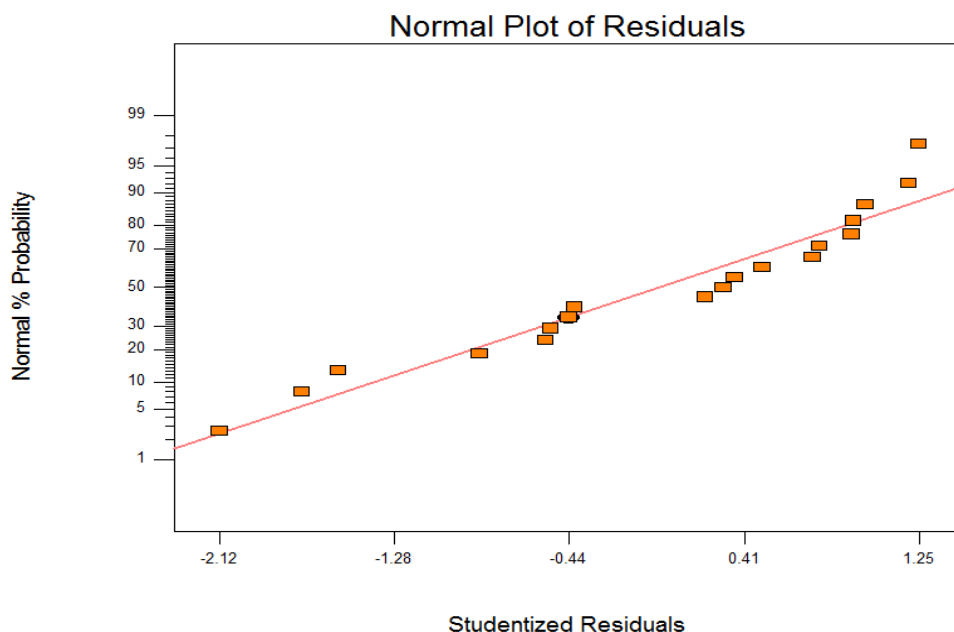
$$\text{Yield of Naptha} = 16.09 + 9.29A + 0.58C - 0.52AB + 0.81AC \quad (2.38)$$

เมื่อตัวแปร A, B, C และ D เป็นตัวแปรที่มีการเข้ารหัสอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ค่าต่ำแทนด้วย -1 และค่าสูงแทนด้วย 1

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ของร้อยละผลได้ของเนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	1400.18	4	350.05	466.78	<0.0001
A	1379.91	1	1379.91	1840.09	<0.0001
C	5.44	1	5.44	7.25	0.0185
AB	4.28	1	4.28	5.71	0.0328
AC	10.56	1	10.56	14.09	0.0024
Curvature	25.22	1	25.22	33.63	<0.0001
Residual	9.75	13	0.75		
Total	1435.15	18			

ภาพที่ 4.9 แสดง Normal plot of residues พบว่าค่า Residuals สำหรับร้อยละผลได้ของเนฟทามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.9931$ และมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบแบบปกติจริง



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal % Probability กับส่วนตกค้างของร้อยละผลได้เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

4.4.5 การหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธุ์ชนิดเบส

การศึกษาผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียลสองระดับ และใช้โปรแกรม Design Expert 6.0.1.0 ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งได้มีการกำหนดขอบเขตตัวแปรต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.17 ตามลำดับ

4.4.5.1 การหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.14 ขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature (A)	is in range	380	450	°C
Catalyst (B)	is in range	30	60	Minute
Pressure (C)	is in range	0.1	1.5	%Wt
Time (D)	is in range	1	5	Bar
Yield of gas	minimize	3.53	32.00	%wt
Yield of liquid	maximize	61.98	95.40	%wt
Yield of naphtha	maximize	5.38	28.90	%wt
Yield of diesel	maximize	14.98	38.85	%wt
Conversion	maximize	35.12	92.32	%wt

ตาราง 4.14 แสดงขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าตอบสนองเพียง 5 ค่า คือ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้แนฟทา ร้อยละผลได้ดีเซลและร้อยละการเปลี่ยนจากน้ำมัน โดยพิจารณาให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊สมีค่าน้อยที่สุด และให้ค่าตอบสนองที่เหลือ ได้แก่ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้แนฟทา ร้อยละผลได้ดีเซล และร้อยละการเปลี่ยนจากน้ำมันมีค่ามากที่สุด ใช้โปรแกรม Design-Expert ในการคำนวณหาภาวะที่เหมาะสม พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์คือ ที่อุณหภูมิ 406.27 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งจะได้ร้อยละของค่าตอบสนองแสดงในตาราง 4.15

ตารางที่ 4.15 ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert Expert ของการแตกตัวของน้ำมัน
ถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	406.27
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	5
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	12.62
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	83.47
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	15.84
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	29.70
ร้อยละผลได้การเปลี่ยนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	62.47

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบผลระหว่างภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert กับการ
ทดลองจริงของปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
แมกนีเซียมออกไซด์

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	406.27	406
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1	0.1
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	5	5
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	30
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	12.62	10.72
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	83.47	83.11
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	15.84	15.97
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	29.70	30.58
ร้อยละผลได้การเปลี่ยนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	62.47	61.73

4.4.5.2 การหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.17 ขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature (A)	is in range	380	450	°C
Catalyst (B)	is in range	30	60	Minute
Pressure (C)	is in range	0.1	1.5	%Wt
Time (D)	is in range	1	5	Bar
Yield of gas	minimize	4.61	31.36	%wt
Yield of liquid	maximize	58.02	94.52	%wt
Yield of naphtha	maximize	5.89	27.82	%wt
Yield of diesel	maximize	14.23	36.54	%wt
Conversion	maximize	34.21	91.24	%wt

ตาราง 4.17 แสดงขอบเขตของตัวแปรในการหาภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าตอบสนองเพียง 5 ค่า คือ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้เนฟทา ร้อยละดีเซล และร้อยละการเปลี่ยนกาน้ำมัน โดยพิจารณาให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊สมีค่าน้อยที่สุด และให้ค่าตอบสนองที่เหลือ ได้แก่ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้เนฟทา ร้อยละผลได้ดีเซล และร้อยละการเปลี่ยนกาน้ำมัน มีค่ามากที่สุด ใช้โปรแกรม Design-Expert ในการคำนวณหาภาวะที่เหมาะสม ผลการคำนวณจากโปรแกรมพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์คือ ที่อุณหภูมิ 411 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งจะได้ร้อยละของค่าตอบสนองต่าง ๆ แสดงในตาราง 4.18

ตารางที่ 4.18 ภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert Expert ของการแตกตัวของน้ำมัน ถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

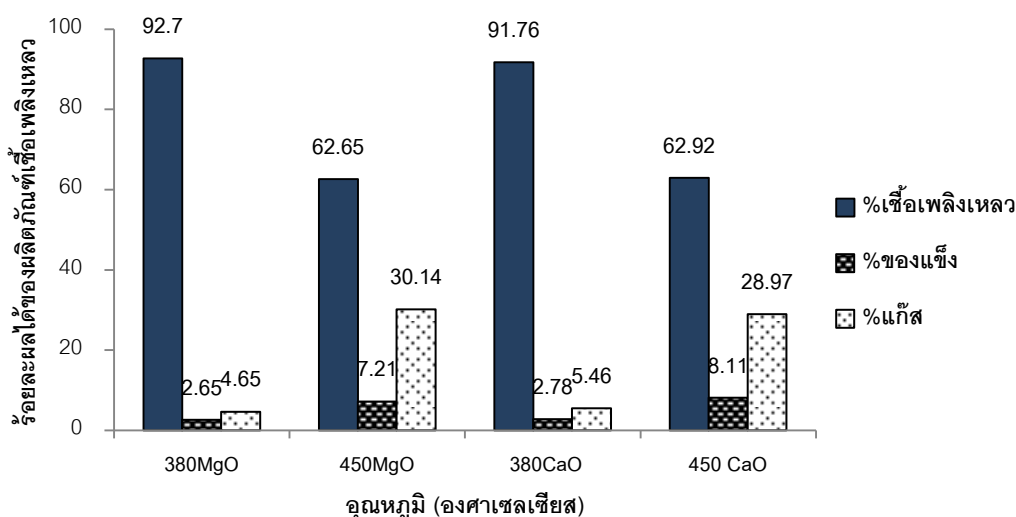
ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	411.81
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	14.73
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	82.38
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	14.37
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	28.12
ร้อยละผลได้การเปลี่ยนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	64.57

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลระหว่างภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert กับ การทดลองจริงของปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	411.81	412
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1	0.1
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	30
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	14.73	14.98
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	82.38	81.88
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	14.37	14.25
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	28.12	29.67
ร้อยละผลได้การเปลี่ยนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	64.57	64.62

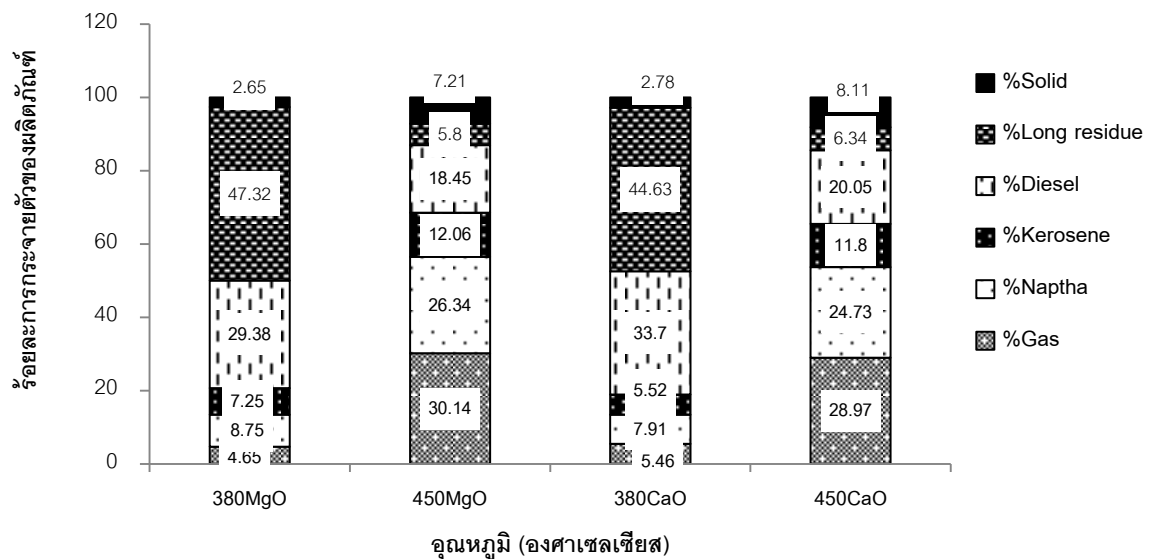
4.4.6 ผลของอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว แสดงในภาพที่ 4.10 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 380 องศาเซลเซียสเป็น 450 องศาเซลเซียส ที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก พบว่าจะได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 92.7 เป็น 62.65 และจาก 91.76 เป็น 62.92 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากการให้ความร้อนแก่ระบบในช่วงแรก อิทธิพลของอุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking) ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและขนาดเล็กและการได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิต่อเนื่องจะทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและขนาดเล็กแตกตัวไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น ส่งผลให้ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จึงมีปริมาณน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 380 และ 450 องศาเซลเซียส

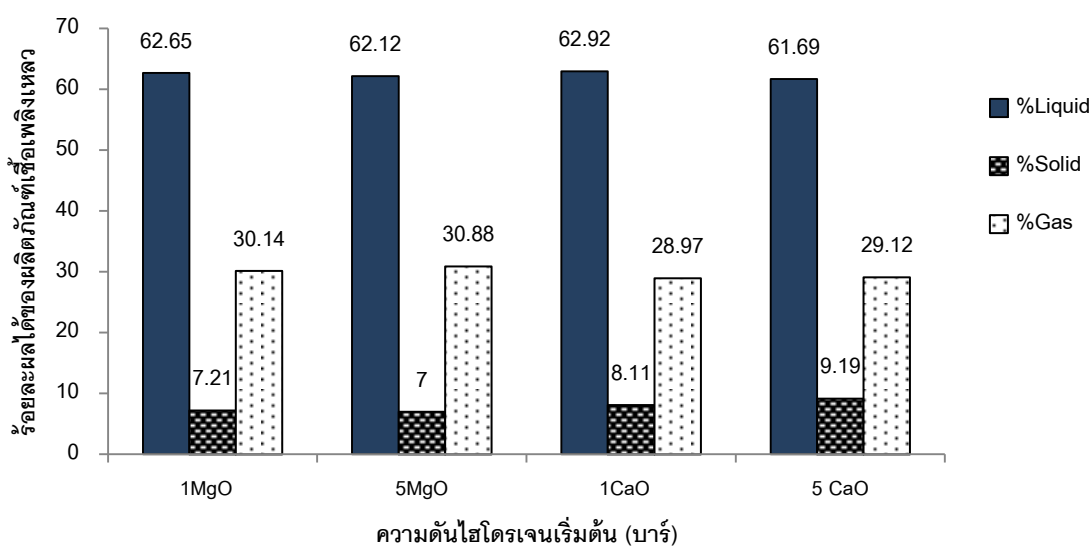
การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ภาพที่ 4.11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 380 องศาเซลเซียสเป็น 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักจะได้อ้อยละผลได้แนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 8.75 เป็น 26.34 โดยน้ำหนัก และเมื่อใช้สภาวะเดียวกันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก จะได้อ้อยละผลได้แนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 7.91 เป็น 24.73 โดยน้ำหนัก เนื่องจากในช่วงแรกอิทธิพลของอุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน โดยการเพิ่มอุณหภูมิภายในระบบจะทำให้ของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แตกตัวไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้ามามีบทบาทในการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ให้เกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊ส ส่งผลให้อ้อยละผลได้ของแนฟทามีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกดีเซลจึงมีปริมาณลดลง โดยเมื่อใช้ตัวเร่งแมกนีเซียมออกไซด์ ดีเซลลดลงจาก 29.38 เป็น 18.45 โดยน้ำหนัก และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ จะได้ปริมาณดีเซลลดลงเช่นเดียวกัน คือจาก 33.7 เป็น 20.05 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.11 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 380 และ 450 องศาเซลเซียส

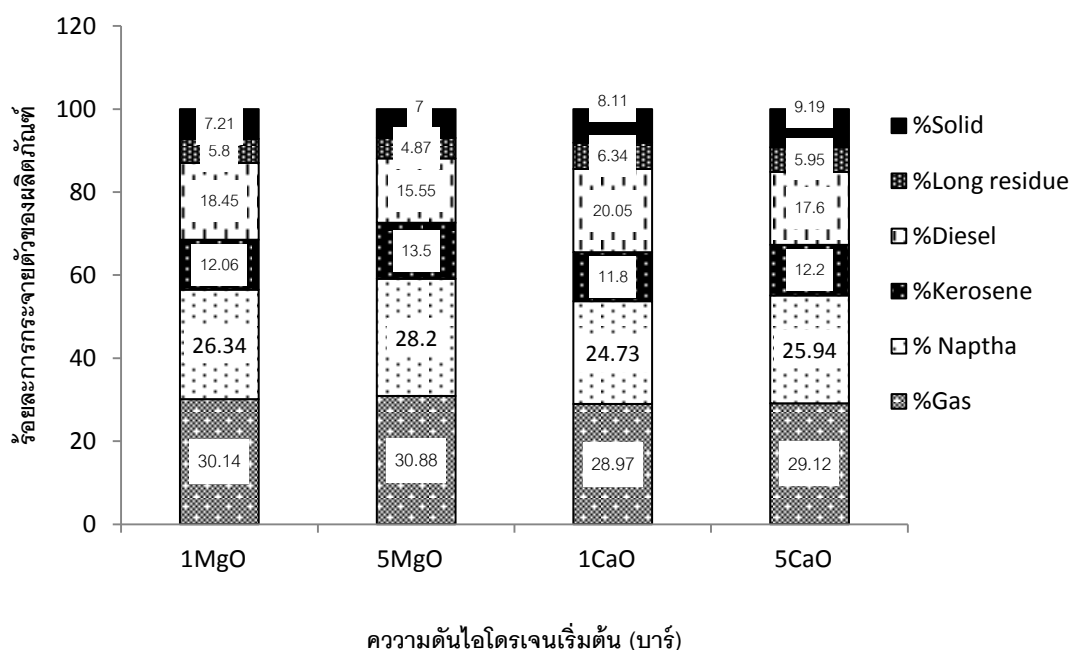
4.4.7 ผลของความดันต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

การศึกษาผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว ภาพที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความดันจาก 1 บาร์ ไปเป็น 5 บาร์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักจะได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงเพียงเล็กน้อย โดยการทดลองที่มีการใช้ไฮโดรเจนร่วมจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวแบบ hydrocracking ให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติอิ่มตัวและได้คุณภาพน้ำมันดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในตอนแรกผลของอุณหภูมิจะทำให้เกิดการแตกตัวจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จากนั้นการแตกตัวในบรรยากาศของไฮโดรเจนจะเข้ามามีบทบาทให้เกิดการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม



ภาพที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์

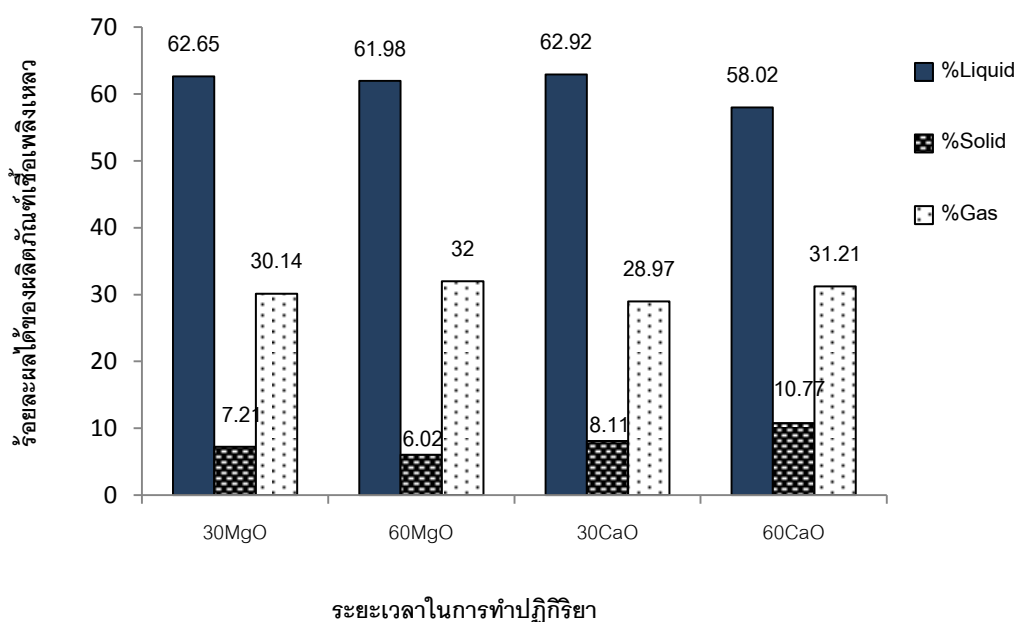
เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเพื่อหาค่ากระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph ผลการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 4.13 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความดันจาก 1 บาร์ ไปเป็น 5 บาร์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักจะได้ร้อยละผลได้แนฟทาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 26.34 เป็น 29.20 และจาก 24.73 เป็น 25.94 ตามลำดับ ในทางกลับกัน ร้อยละผลได้ดีเซลลดลงจาก 18.45 เป็น 16.55 และจาก 20.05 เป็น 17.60 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันของแก๊สไฮโดรเจนให้กับระบบที่อุณหภูมิคงที่ จะช่วยให้เกิดการแตกตัวจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกดีเซล ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแนฟทามากขึ้น ซึ่งมีผลมาจากการที่แก๊สไฮโดรเจนไปมีบทบาทในการส่งเสริมปฏิกิริยา Hydrocracking เกิดการแตกตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง รวมถึงจะมีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยา Hydrogenation ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างอิมตัวจำพวกแนฟทาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.13 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์

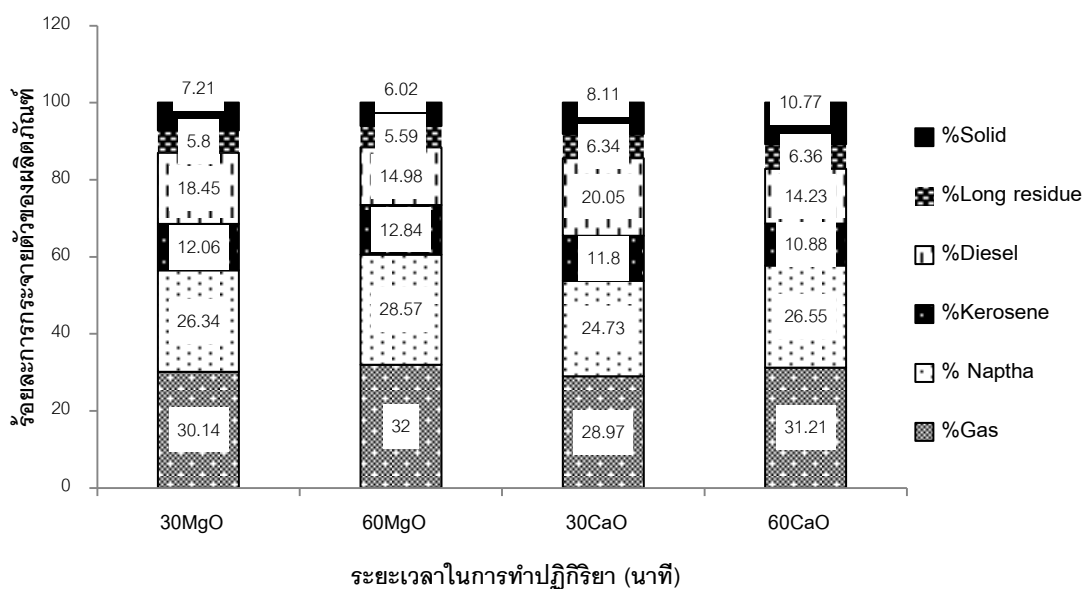
4.4.8 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

การศึกษาค่าผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว จากภาพที่ 4.14 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที ถึง 60 นาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักจะได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 62.65 เป็น 61.98 และจาก 62.92 เป็น 58.02 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงการแตกตัวด้วยความร้อนจะมีอิทธิพลอย่างมาก ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แตกตัวไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นการแตกตัวด้วยความร้อนยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัวต่อ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สมากขึ้น ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที จึงน้อยกว่าที่ 30 นาที



ภาพที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที

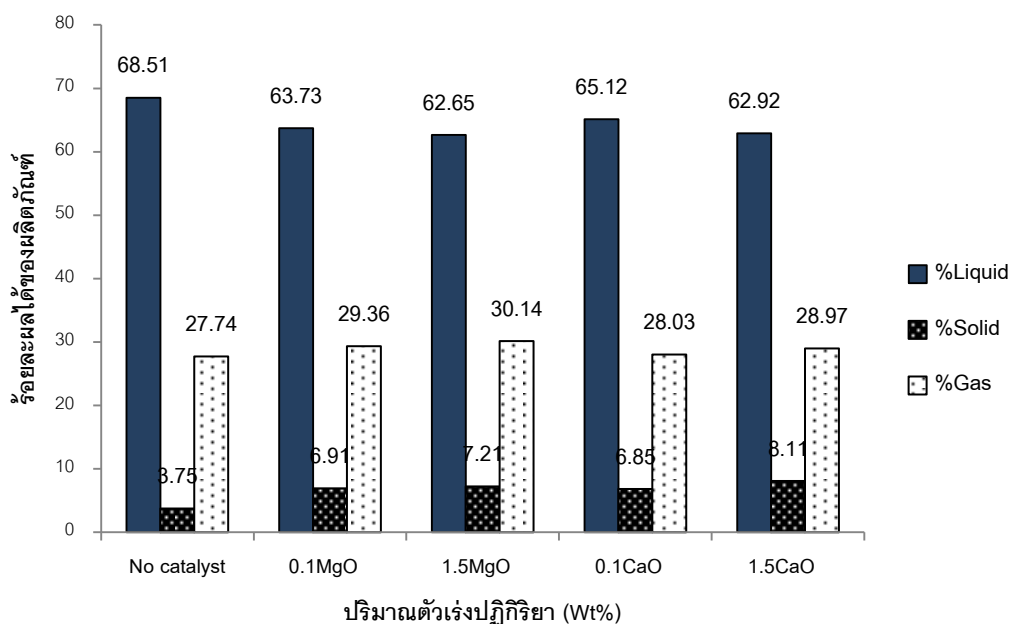
การศึกษาค่าผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้เนฟทา จากภาพที่ 4.15 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที ถึง 60 นาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักจะได้ร้อยละผลได้เนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 26.34 เป็น 28.57 และ 24.73 เป็น 26.55 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จะทำให้ปฏิกิริยาภายในระบบเกิดการแตกตัวได้อย่างทั่วถึง โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และเกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับอิทธิพลของการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในบรรยากาศของไฮโดรเจน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา hydrogenation และเกิดการจัดเรียงตัวให้มีความอิมมัลได้เป็นเนฟทาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.15 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที

4.4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

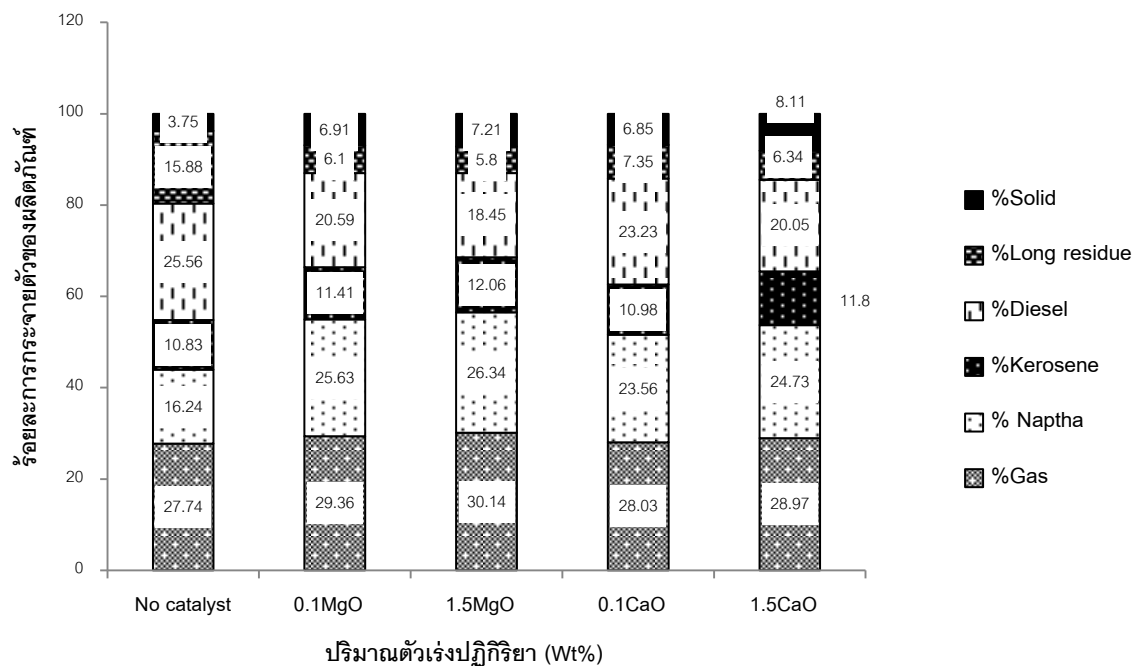
ภาพที่ 4.16 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยเปรียบเทียบระหว่างการแตกตัวที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา และการแตกตัวที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์จากร้อยละ 0.1 ถึง 1.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ จะได้รับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงโดยสภาวะที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้รับร้อยละของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเท่ากับ 68.51 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์จาก 0.1 เป็น 1.5 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 63.73 เป็น 62.65 และ จาก 65.12 เป็น 62.92 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะเห็นได้ว่าร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแตกตัวที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและการแตกตัวที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าไปมีบทบาทในการแตกตัวของสารตั้งต้นให้เป็นสารผลิตภัณฑ์ได้มากจึงทำให้สารตั้งต้นนั้นแตกตัวจากโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กลงจนอาจจะเล็กลงเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำลง



ภาพที่ 4.16 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของของน้ำมันถั่วเหลืองที่ เวลาอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก

การศึกษาผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้แนฟทา จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยเปรียบเทียบระหว่างการแตกตัวที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา และการแตกตัวที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์จากร้อยละ 0.1 ถึง 1.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ พบว่าจะได้ร้อยละผลได้แนฟทาเพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ร้อยละผลได้แนฟทาเท่ากับ 16.24 โดยน้ำหนัก และเมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์จะได้ร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นจาก 25.63 เป็น 26.34 และ 23.56 เป็น 24.73 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 0.1 เป็น 1.5 โดยน้ำหนักจะส่งผลให้ปริมาณแนฟทาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวหรือบริเวณเร่ง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนได้ดี ช่วยแยกสลายโครงสร้างสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ ให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และผลจากบทบาทในการเลือกจำเพาะที่ดีของ

ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้เป็นแนฟทาตามต้องการ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการแตกตัวเมื่อมีการเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนในการแตกตัวของสารเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีทั้งผลของ active site และความร้อนที่ช่วยในการแตกตัวสารตั้งต้น ขณะที่เมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีเพียงปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนเท่านั้น ซึ่งอาจต้องใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นจึงจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ตามต้องการ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ให้ร้อยละผลได้แนฟทามากกว่าแคลเซียมออกไซด์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวมากส่งผลให้มีการกระจายตัวของตำแหน่งว่างไว้มากกว่า ทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวสามารถเกิดได้มากกว่ารวมทั้งมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกดีเซลสามารถเข้าไปในรูพรุนและเกิดการแตกตัวต่อได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแนฟทาได้เพิ่มมากขึ้น



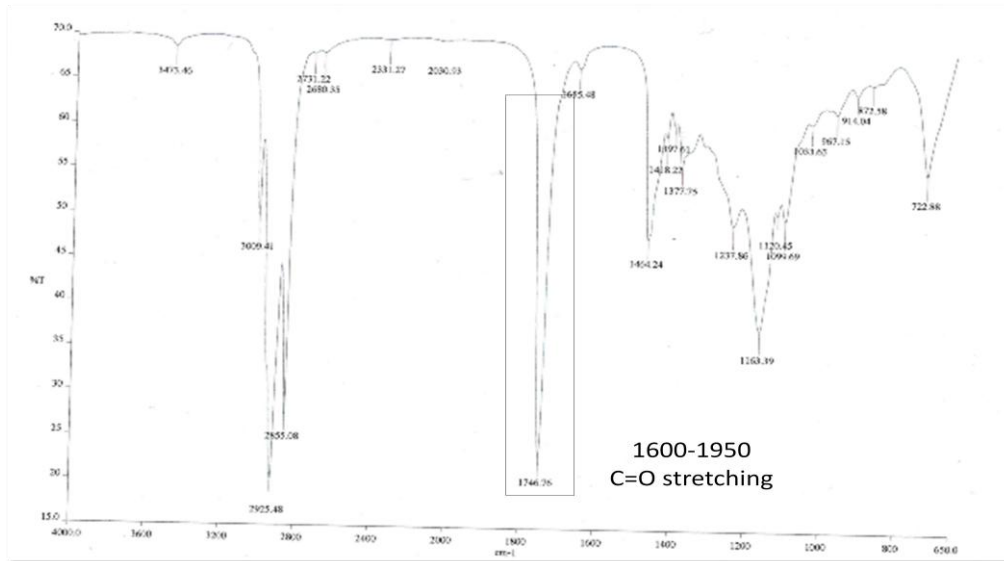
ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก

4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

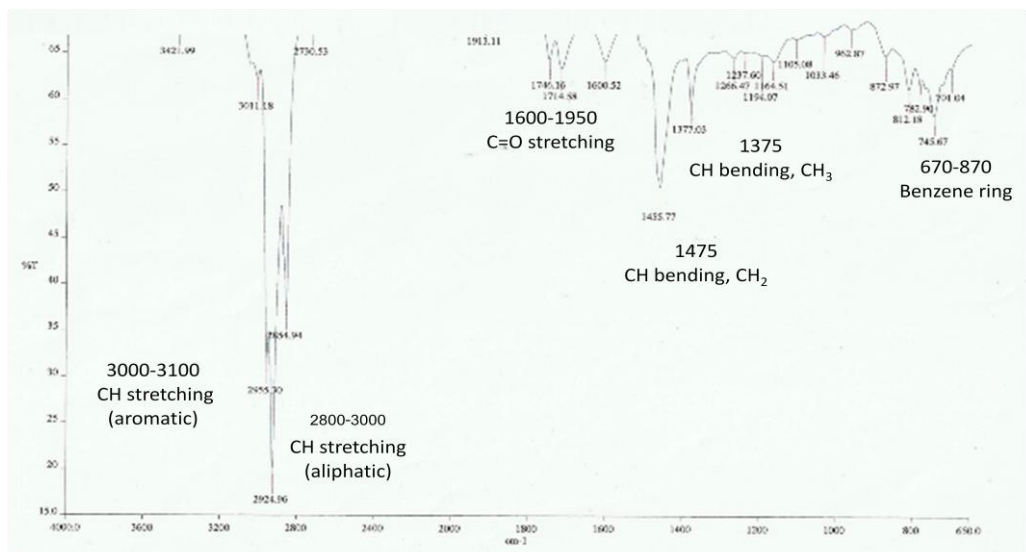
4.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) โดยทำการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงคลื่น $650-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามีหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแตกตัว โดยจากการวิเคราะห์พบว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่ปรากฏเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติก CH (stretching) ซึ่งจะเห็นพีคได้ชัดเจนที่ $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้ยังพบพีคปรากฏในช่วงจำนวนคลื่นต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังนี้ จำนวนคลื่นที่ $1600-1950\text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล จำนวนคลื่นที่ $3000-3100\text{ cm}^{-1}$ แสดง CH (stretching) ของสารประกอบแอลกอฮอล์ จำนวนคลื่นที่ $670-870\text{ cm}^{-1}$ แสดงวงแหวนเบนซีน จำนวนคลื่นที่ 1475 cm^{-1} แสดง CH (bending) ของกลุ่มเมทิลีน และจำนวนคลื่นที่ 1375 cm^{-1} แสดง CH (bending) ของกลุ่มเมทิล [30] เมื่อทำการเปรียบเทียบกับหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันแก๊สโซลีน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่คล้ายกัน และมีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน

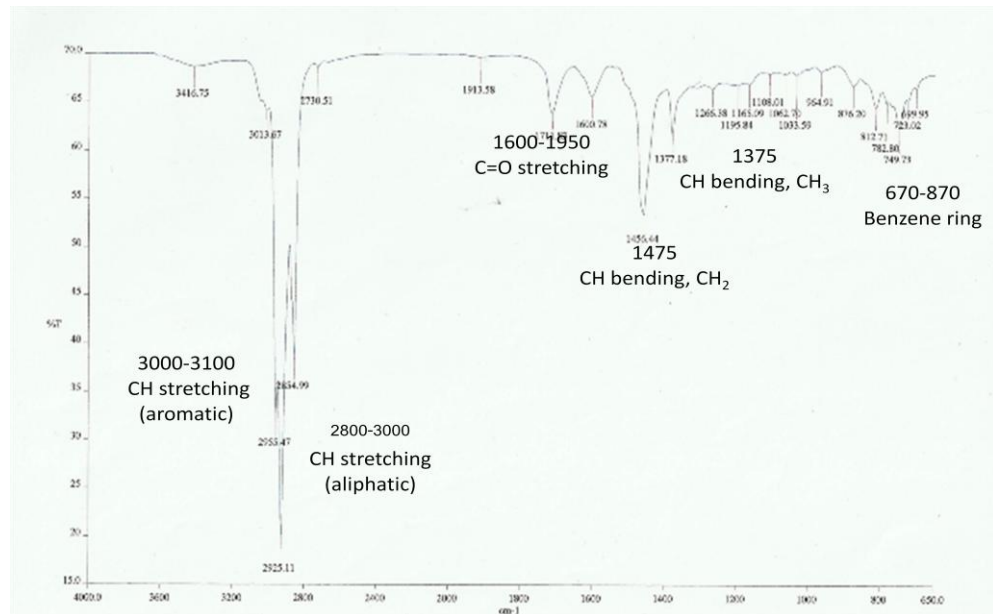
อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ไม่ได้มีความจำเพาะต่อการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์จำพวกวงแหวนเบนซีน ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าพบองค์ประกอบหลักของหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะลิฟาติก ทั้งนี้การเกิดวงแหวนเบนซีนสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาของพันธะคู่ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันถั่วเหลือง โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของพันธะคู่ (cycloaddition) ได้เป็นสารประกอบแอลมาติกเกิดขึ้น



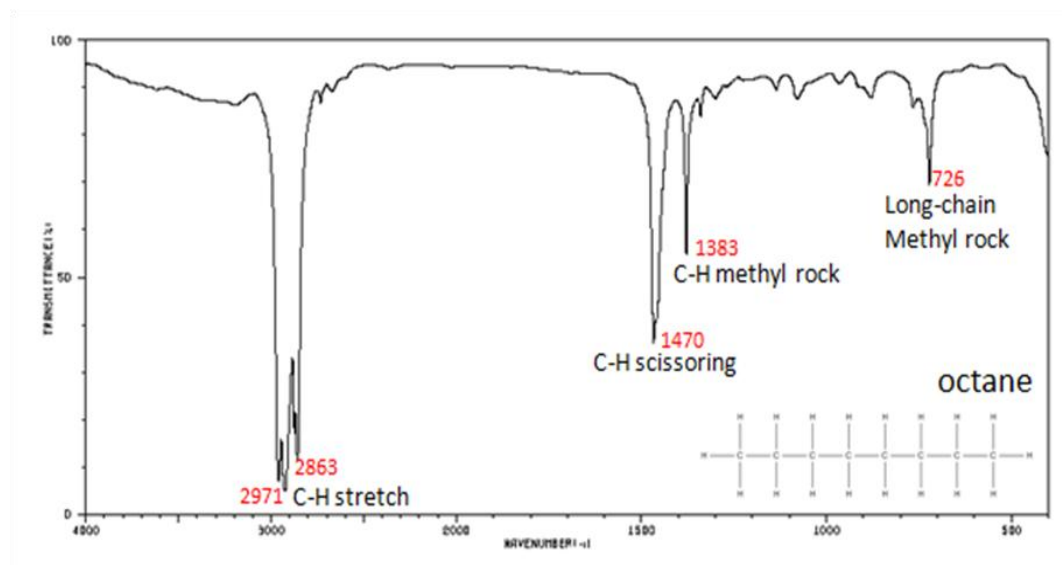
ภาพที่ 4.18 FTIR spectrum ของน้ำมันถั่วเหลือง



ภาพที่ 4.19 FTIR spectrum ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์



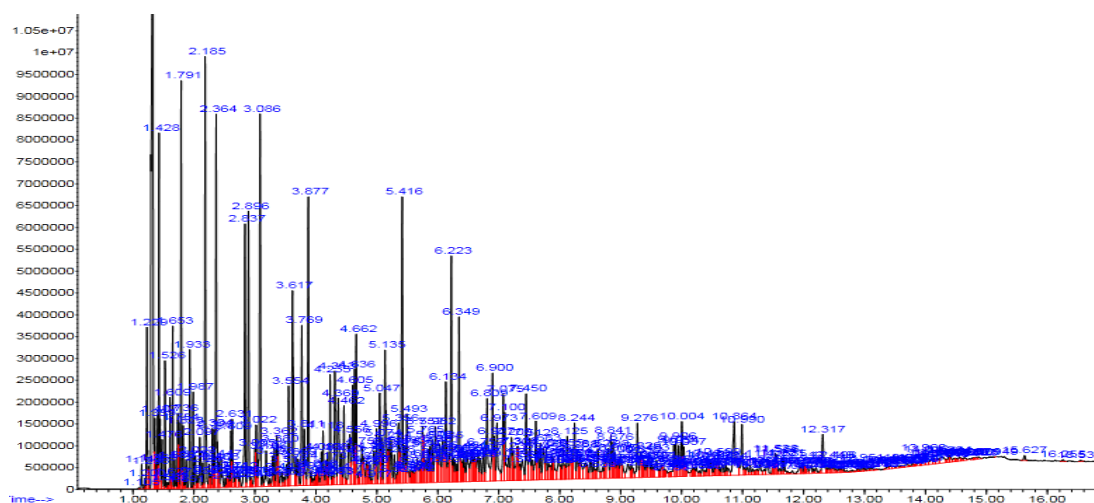
ภาพที่ 4.20 FTIR spectrum ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์



ภาพที่ 4.21 FTIR spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีน

4.5.2 การวิเคราะห์สารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

เมื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรสโกปี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.22 พบว่าองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ประกอบด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นพาราฟินไซตรง พาราฟินที่มีกิ่ง และแอรอแมติก โดยพาราฟินมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วงของแนฟทา(C5-C12) และดีเซล(C15-33)



ภาพที่ 4.22 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.20 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดย GC-MS

เวลา R.T. (min)	องค์ประกอบ	ประเภท
1.288	Pentane (C ₅ H ₁₂)	Alkane
1.423	n-Hexane(C ₆ H ₁₄)	Alkane
1.787	Heptane (C ₇ H ₁₆)	Alkane
2.182	Toluene(C ₇ H ₈)	Alkyl-benzene
2.359	Octane(C ₈ H ₁₈)	Alkane
2.832	Ethylbenzene(C ₈ H ₁₀)	Alkyl-benzene
2.897	P-Xylene(C ₈ H ₁₀)	Alkyl-benzene
3.083	Nonane(C ₉ H ₂₀)	Alkane
3.621	1-Ethyl-3-methyl benzene (C ₉ H ₁₂)	Alkyl-benzene
3.872	Decane(C ₁₀ H ₂₂)	Alkane
4.314	1,3-Dimethyl benzene (C ₈ H ₁₀)	Alkyl-benzene
4.367	Naphthalene (C ₁₀ H ₈)	Naphthalene
4.557	2-ethyl-1,3-dimethyl-benzene	Alkyl-benzene
4.605	2-ethyl-1,4-dimethyl-benzene	Alkyl-benzene
5.411	Dodecane(C ₁₂ H ₂₆)	Alkane

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดย GC-MS

เวลา R.T. (min)	องค์ประกอบ	ประเภท
6.131	Tridecane(C ₁₃ H ₂₈)	Alkane
6.218	2-Methyl naphthalene (C ₁₁ H ₁₀)	Alkyl-naphthalene
7.449	Pentadecane (C ₁₅ H ₃₂)	Alkane
8.052	Hexadecane (C ₁₆ H ₃₄)	Alkane
8.628	Heptadecane(C ₁₇ H ₃₆)	Alkane
6.807	Tetradecane(C ₁₄ H ₃₀)	Alkane
4.661	Undecane (C ₁₁ H ₂₄)	Alkane

4.6 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมัน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664-89 ค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D2015 และค่าความหนืดตามมาตรฐาน ASTM D2270

4.6.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Total acid value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664-89 ของน้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลือง โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันให้ดีขึ้น เนื่องจากให้ค่าความเป็นกรดซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการกัดกร่อนมีค่าลดลง โดยในสภาวะที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์

เชื้อเพลิงเหลวมีค่าสูงถึง 24.46 mg KOH/g และสภาวะที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ได้ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงเหลวมีค่า 4.88 และ 3.22 mg KOH/g ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติความเป็นเบสที่มากกว่า

ตารางที่ 4.21 ค่าความเป็นกรด (Total acid value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสและที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)
ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	24.46
แมกนีเซียมออกไซด์	4.88
แคลเซียมออกไซด์	3.22

4.6.2 วิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เปรียบเทียบกับแกโซลีนและดีเซล พบว่าเมื่อน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาจะได้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 39.35 เป็น 48.18 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแกโซลีนและดีเซล

ตารางที่ 4.22 ค่าความร้อนของน้ำมันถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ชนิดน้ำมัน	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	39.35
ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้	48.18
แกโซลีน	47
ดีเซล	45

4.6.3 วิเคราะห์ความหนืด (Viscosity) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพังก์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เปรียบเทียบกับแกโซลีนและดีเซล พบว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีค่าความหนืดลดลงจาก 32.6 เป็น 5.34 เซนติสโตรก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนืดของน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล (มาตรฐานคุณภาพน้ำมันปิโตดีเซล)

ตารางที่ 4.23 ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ชนิดน้ำมัน	ค่าความหนืด (เซนติสโตรก)
น้ำมันถั่วเหลือง	32.6
ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้	5.34
ดีเซล	1.8-4.1

4.7 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (CHO Analysis) จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.24 พบว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสมีปริมาณออกซิเจนที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองเริ่มต้น นอกจากนี้ยังมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดปฏิกิริยา decarboxylation ได้เป็นผลิตภัณฑ์แก๊สจำพวก คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง จากนั้นอิทธิพลของความร้อนจึงเข้ามามีบทบาทต่อการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีปริมาณออกซิเจนลดน้อยลง โดยผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวมากกว่าทำให้มีการกระจายตัวของตำแหน่งว่างไว้มากกว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า

ตารางที่ 4.24 องค์ประกอบธาตุ CHO ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยา	C	H	O
น้ำมันถั่วเหลือง	75.80	10.95	13.25
แมกนีเซียมออกไซด์	87.43	9.75	2.82
แคลเซียมออกไซด์	86.30	9.40	4.3
ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	82.71	10.58	6.71

4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส

ในปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสจะได้ผลิตภัณฑ์แก๊สเกิดขึ้น จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากภาวะเหมาะสม เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) พบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นประกอบด้วย แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่หนึ่งอะตอมขึ้นไป เช่น แก๊สมีเทน (CH_4) อีเทน (C_2H_6) เอทิลีน (C_2H_4) โพรเพน (C_3H_8) บิวเทน (C_4H_{10}) ซึ่งแก๊สเหล่านี้ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวเกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่สั้นลง นอกจากนี้ยังพบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้จากการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิลิกที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแตกตัว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัย ได้ทำการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส ซึ่งจะทำการศึกษ ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จากการทดลองได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียลสองระดับ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ 380 - 450 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 – 1.5 โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 - 5 บาร์ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 - 60 นาที ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ด้วยโปรแกรม Design-Expert สำหรับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้สามารถวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography) ซึ่งจะได้ผลวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จากงานวิจัยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

1. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D)

2. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้แนฟทาอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) อัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อัตราการไหลระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (BC) และอัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ACD)

5.1.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

1. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (B) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) และ อัตราการระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (BCD)

2. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้เนฟทาอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (A) ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) อัตราการระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (AB) และอัตราการระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (AC)

5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ คือ

อุณหภูมิ	406.27	องศาเซลเซียส
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ	0.1	โดยน้ำหนัก
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น	5	โดยน้ำหนัก
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา	30	นาที
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว	83.47	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้เนฟทา	15.84	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้ดีเซล	29.70	โดยน้ำหนัก

5.1.4 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ คือ

อุณหภูมิ	411.81	องศาเซลเซียส
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ	0.1	โดยน้ำหนัก
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น	1	โดยน้ำหนัก
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา	30	นาที
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว	82.38	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้เนฟทา	14.73	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้ดีเซล	28.12	โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันพืชชนิดอื่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส
2. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสอื่น ๆ ที่อาจส่งผลได้ดีกว่าทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ
3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาไปสู่การทดลองต่อไปหรือเป็นแนวทางในการนำไปสู่การทดลองที่ขยายใหญ่ขึ้น
4. ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ให้ดียิ่งขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้จริงกับเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ

รายการอ้างอิง

- [1] สุกัญญา สุนทรส และ วิเชียร ริมพณิชยกิจ. ชีวมวลเกษตร. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [2] โครงสร้างและองค์ประกอบของน้ำมันพืช [ออนไลน์]. Available from: <http://www.weekendhobby.com/offroad/newenergy/Question.asp?ID=1141> [2554, ตุลาคม 29]
- [3] นิธิยา รัตนานนท์. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2529.
- [4] การใช้ไขมันพืชเป็นเชื้อเพลิง [ออนไลน์]. Available from : <http://www.vcharkarn.com/varticle/374> [2554, กันยายน 27]
- [5] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ และ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล, 2553.
- [6] K.D. Maher, D.C. Bressler. Pyrolysis of triglyceride materials for the production of Renewable fuels and chemicals. Bioresource Technology 98 (2007): 2351–2368
- [7] พฤษศาสตร์ของถั่วเหลือง [ออนไลน์]. Available from: http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/soybean/02.html
- [8] จักรกฤษณ์ ศीलพิทักษ์, ดุสิต บัวเกตุ และ สุริยา เข้มมาก. การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, 2551
- [9] จุงใจ ปั่นประณต. ความรู้พื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาชีวพันธุ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552
- [10] จตุพร วิทยาคุณ และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547
- [11] ปราโมทย์ ไชยเวช. ไบโอดีเซลเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สุนทรออฟเซท, 2537.
- [12] ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวพันธุ [ออนไลน์]. Available from: <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21511> [2554, ธันวาคม 5]
- [13] WebElement [ออนไลน์]. Available from: http://www.webelements.com/compounds/calcium/calcium_oxide.html [2กันยายน 2554]

- [14] Bruce C. Gates. Catalytic Chemistry. University of Delaware: John Wiley & Sons. 320-326.
- [15] ปราโมทย์ ไชยเวช และ นุรักษ์ กฤษดาอนุรักษ์.. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี . กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [16] Raseev, S. Thermal and Catalytic cracking Processes in Petroleum Refining. Newyork: Marcel Dekker, 2003
- [17] H. Tani, T. Hasegawa, M. Shimouchi, K. Asami and K. Fujimoto, Selective catalytic decarboxy-cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon. CatalysisToday 164 (2011) : 410-414
- [18] Haruki Tani, Makoto Shimouchi, Hiroyuki Haga, and Kaoru Fujimoto, Development of direct process of diesel fuel from vegetable oils. The Japan institute of energy 90 (2011) : 466-470
- [19] Xu Junming , Jiang Jianchun , Chen Jie , Sun Yunjuan : Biofuel production from catalytic cracking of woody oils. Bioresource Technology 101(2010) : 5586 - 5591
- [20] Xu Junming, Jiang Jianchun, Sun Yunjuan , Chen Jie : Production of hydrocarbon fuels from pyrolysis of soybean oils using a basic catalyst. Bioresource Technology 101 2010 : 9803-9806
- [21] Xu Junming, Jiang Jianchun, Lu Yanju, Chen Jie: Liquid hydrocarbon fuels obtained by the pyrolysis of soybean oils. Bioresource Technology 100 (2009): 4867-487
- [22] Thanh-An Ngo, Jinsoo Kim, Sun Kuk Kim, Seung-Soo Kim. Pyrolysis of soybean oil with H-ZSM5 (Proton-exchange of Zeolite Socony#5) and MCM41 (Mobil Composition of Matter No. 41) catalysts in a fixed-bed reactor. Energy 35 (2010): 2723–2728
- [23] Yean-Sang Ooi, Ridzuan Zakaria, Abdul Rahman Mohamed, Subhash Bhatia : Catalytic conversion of palm oil-based fatty acid mixture to liquid fuel. Biomass and Bioenergy 27 (2004): 477-484

- [24] Eduard Buzetzkı, Katarína Sidorová, Zuzana Cvengrošová, Alexander Kaszonyi, Ján Cvengroš : The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil cracking. *Fuel Processing Technology* 22 (2011): 1623–1631
- [25] Ersan Pütün : Catalytic pyrolysis of biomass : Effects of pyrolysis temperature, sweeping gas flow rate and MgO catalyst. *Energy* 35 (2010) : 2761-2766.
- [26] Daniela G. Lima, Valerio C.D. Soares, Eric B. Ribeiro, Daniel A. Carvalho, Erika C.V. Cardoso, Flavia C. Rassi, Kleber C. Mundim, Joel C. Rubim, Paulo A.Z. Suarez. J. Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils
Anal. Appl. Pyrolysis 71 (2004) : 987–996
- [27] มารีนานา มงคล. การแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์และ HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.
- [28] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2545.
- [29] Montogometry, D.C. Design and analysis of Experiments. 5th ed. Newyork: John Wiley & Sons, 2001.
- [30] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. Principle and Techniques of Instrumentaln Analysis. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)			Long residue (%wt)
	Temperature (°C)	Catalyst (%wt)	Pressure (bar)	Time (Min)	Gas (%wt)	Solid (%wt)	Liquid (%wt)	Naphtha (%wt)	Kerosene (%wt)	Diesel (%wt)	
0	415	0.8	3	45	14.30	0.82	84.88	12.7	4.07	34.21	33.90
0	415	0.8	3	45	14.44	0.95	84.61	11.90	5.09	33.50	34.12
0	415	0.8	3	45	14.17	0.89	84.94	12.36	4.72	33.26	34.60
1	380	0.1	1	30	5.09	0.97	94.02	8.22	4.70	36.44	44.66
2	450	0.1	1	30	29.36	6.91	63.73	25.63	11.41	20.59	6.10
3	380	0.1	5	30	3.53	1.07	95.40	5.38	4.98	38.85	46.19
4	450	0.1	5	30	27.64	6.99	65.37	26.54	12.68	18.78	7.37
5	380	0.1	1	60	6.68	1.01	92.41	6.93	5.19	36.34	43.95
6	450	0.1	1	60	30.28	6.78	62.94	27.92	12.07	16.38	6.57
7	380	0.1	5	60	5.83	0.73	93.44	7.05	4.67	38.5	43.22

ตาราง ก1 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)			Long residue (%wt)
	Temperature (°C)	Catalyst (%wt)	Pressure (bar)	Time (Min)	Gas (%wt)	Solid (%wt)	Liquid (%wt)	Naphtha (%wt)	Kerosene (%wt)	Diesel (%wt)	
8	450	0.1	5	60	28.93	6.39	64.68	27.89	12.51	15.33	7.95
9	380	1.5	1	30	4.65	2.65	92.70	8.75	7.25	29.38	47.32
10	450	1.5	1	30	30.14	7.21	62.65	26.34	12.06	18.45	5.80
11	380	1.5	5	30	5.18	2.33	90.99	6.62	5.41	30.26	48.70
12	450	1.5	5	30	30.88	7.00	62.12	28.20	13.50	15.55	4.87
13	380	1.5	1	60	7.87	2.48	89.65	9.24	6.50	29.89	44.02
14	450	1.5	1	60	32.00	6.02	61.98	28.57	12.84	14.98	5.59
15	380	1.5	5	60	5.86	2.92	91.22	5.88	4.36	35.98	45.0
16	450	1.5	5	60	29.79	7.09	63.12	28.90	11.52	16.55	6.15

ตาราง ก2 ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)			
	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (minute)	Catalyst (%wt)	Gas (%wt)	Solid (%wt)	Liquid (%wt)	Naphtha (%wt)	Kerosene (%wt)	Diesel (%wt)	Long residue (%wt)
0	415	3	45	0.8	12.04	1.75	86.21	13.09	7.23	30.20	35.69
0	415	3	45	0.8	11.97	1.53	86.5	13.15	7.87	31.27	34.21
0	415	3	45	0.8	12.12	1.63	86.25	12.56	7.95	30.85	34.89
1	380	1	30	0.1	4.71	0.99	94.30	5.89	9.43	36.54	42.44
2	450	1	30	0.1	25.57	9.31	65.12	23.56	10.98	23.23	7.35
3	380	5	30	0.1	4.61	0.87	94.52	7.82	10.44	30.13	46.13
4	450	5	30	0.1	28.63	8.75	62.62	27.82	12.25	15.81	6.74
5	380	1	60	0.1	5.56	1.25	93.19	6.12	10.25	30.52	46.30
6	450	1	60	0.1	26.02	9.81	64.17	25.21	14.67	18.95	5.34
7	380	5	60	0.1	6.87	0.86	92.28	6.92	11.53	34.59	39.24
8	450	5	60	0.1	30.63	9.80	59.57	26.18	12.06	14.35	6.98
9	380	1	30	1.5	5.46	2.78	91.76	7.91	5.52	33.7	44.63

ตาราง ก2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)			
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Gas (%wt)	Solid (%wt)	Liquid (%wt)	Naphtha (%wt)	Kerosene (%wt)	Diesel (%wt)	Long residue (%wt)
10	450	1	30	1.5	28.97	8.11	62.92	24.73	11.80	20.05	6.34
11	380	5	30	1.5	5.63	2.58	91.79	7.76	8.44	35.41	40.18
12	450	5	30	1.5	29.12	9.19	61.69	25.94	12.20	17.60	5.95
13	380	1	60	1.5	7.92	2.98	89.10	8.22	9.82	31.2	39.86
14	450	1	60	1.5	31.21	10.77	58.02	26.55	10.88	14.23	6.36
15	380	5	60	1.5	8.01	3.26	88.73	7.76	14.30	31.06	35.61
16	450	5	60	1.5	31.36	9.13	59.51	27.15	9.40	16.91	6.05

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เชิงสถิติและตัวอย่างการคำนวณ

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ เป็นการวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าตัวแปรและค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

1. สัญลักษณ์ของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

1.1 k หมายถึง จำนวนตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.2 n หมายถึง จำนวนการทดลองที่ภาวะการทดลองเดียวกัน

1.3 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A, B, C, D) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น เป็นต้น

1.4 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เขียนติดกัน (Combination) เช่น AB, AC, ABC หมายถึง อันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (Interaction)

1.5 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเขียนติดกัน เช่น ab, ac, abc หมายถึงการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ เรียกว่า Treatment combination

ในการทดลองที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็นระดับต่ำและระดับสูง โดยแทน -1 ที่ระดับต่ำ และ $+1$ ที่ระดับสูง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยา วิวิธพันธุ์ชนิดเบส โดยทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k แฟกทอเรียล แบบ 1 เรพลีเคต ซึ่งกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปร ดังนี้

ตารางที่ ข1 สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ระดับ	ระดับ	
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380	450
B	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1	1.5
C	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
D	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	60

ในการทดลองจะมีสัญลักษณ์ที่นำมาใช้แทนการทดลอง ซึ่งได้จากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ หมายถึง การทดลองที่ปรากฏสัญลักษณ์ของปัจจัยใด แสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ +1 ของปัจจัยนั้น และที่ระดับ -1 จะไม่ปรากฏสัญลักษณ์นั้นในการทำการทดลอง ตัวอย่างเช่น

(-1) แสดงว่า ได้ทำการทดลองที่ระดับ -1 ในทุกปัจจัย

a แสดงว่า ทำการทดลองที่อุณหภูมิในระดับ +1 และปัจจัยอื่นๆ ทำการทดลองที่ระดับ -1 ดังนั้นภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

ab แสดงว่า ทำการทดลองที่อุณหภูมิในระดับ +1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ส่วนปัจจัยอื่นๆ ทำการทดลองในระดับ -1

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลใช้เป็นอย่างมากในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย โดยต้องการทำการศึกษารวมถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดจากปัจจัยเหล่านั้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย แต่ละปัจจัย ประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งระดับเหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดได้จากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักรหรือคนงาน เป็นต้น จะทำการแทนระดับ 2 ระดับที่กล่าวมาเป็น “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี”

ของปัจจัยนั้นๆ โดยในการทดลอง 1 เพลทลิตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วย ข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล ซึ่งจะเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิง แฟคทอเรียลแบบ 2^k

ในการทดลองที่มีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการจะตรวจสอบ การออกแบบเชิง แฟคทอเรียลแบบสองระดับจะมีประโยชน์มาก โดยจะช่วยให้จำนวนการทดลองลดลงให้น้อยที่สุด ที่สามารถทำได้ เพื่อสามารถศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบ เชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวน มากให้ลดน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบ 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับ โดยสมมติว่า ผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่ง สมมติฐานนี้สามารถยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเราเพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาระบบ

3. สูตรการคำนวณ

2.1 Contrast = ผลรวมของค่าการทดลองแต่ละ Treatment x สัมประสิทธิ์ (-1 หรือ +1) ของตัวแปรหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปร

2.2 Effect Estimate_{AB...K} (EE)

$$EE = \frac{2 (\text{Contrast}_{AB...K})}{n 2^k}$$

2.3 Sum of Squares_{AB...K} (SS)

$$SS = \frac{2 (\text{Contrast}_{AB...K})^2}{n 2^k}$$

2.4 Total of sum of squares (SS_T)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N y_{ijk}^2 - y^2 \dots, N = \text{จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด}$$

2.5 Mean of Square Error : (SS_E)

$$SS_E = SST - SS \text{ of Main Effect}$$

2.6 Mean of Square (MS)

$$MS = SS / \text{Degree of Freedom}$$

$$2.7 \quad \% \text{ Normal probability} = \frac{(\text{Cumulative frequency} - 0.5) \times 100}{\text{Total cumulative frequency}}$$

$$2.8 \quad F_0 = MS_{\text{effect}} / MS_{\text{error}}$$

4. การใช้โปรแกรม Design-Expert ในการคำนวณ

4.1. เข้าสู่โปรแกรม คลิกไปที่ file ----> New Design แสดงดังรูปภาพที่ ข1

2 Level Factorial Design
Design for 2 to 15 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, Yellow = Res IV, and Red = Res III.

		Number of Factors													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Experiments	4	Full	1/2 Fract.												
	8		Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.								
	16			Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.	1/32 Fract.	1/64 Fract.	1/128 Fract.	1/256 Fract.	1/512 Fract.	1/1024 Fract.	1/2048 Fract.
	32				Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.	1/32 Fract.	1/64 Fract.	1/128 Fract.	1/256 Fract.	1/512 Fract.	1/1024 Fract.
	64					Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.	1/32 Fract.	1/64 Fract.	1/128 Fract.	1/256 Fract.	1/512 Fract.
	128						Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.	1/32 Fract.	1/64 Fract.	1/128 Fract.	1/256 Fract.
	256							Full	1/2 Fract.	1/4 Fract.	1/8 Fract.	1/16 Fract.	1/32 Fract.	1/64 Fract.	1/128 Fract.

ภาพที่ ข1 ตารางของ 2 Level Factorial Design

4.2 เลือกจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการทดลองเพื่อทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรเหล่านั้น โดยในการทดลองประกอบด้วยตัวแปร 4 ตัวแปร คืออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คลิกที่ Full ของช่อง 4 จากนั้นกรอกจำนวนที่ทำการทดลองซ้ำในช่อง Replicates และกรอกค่าจำนวนการทดลองของค่ากลาง ช่อง Center point per block ยกตัวอย่าง Replicates = 1, Center point per block = 3 กดที่ Continue จะปรากฏดังรูปที่ ข2 เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue

Factors					
	Name	Units	Type	Low	High
A:	Temperature	C	Numeric	380	450
B:	Catalyst	%Wt	Numeric	0.1	1.5
C:	Pressure	Bar	Numeric	1	5
D:	Time	Min	Numeric	30	60

ภาพที่ ข2 ตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง

3. เลือกตัวแปรที่ใช้ในการทดลองและกรอกลงในช่องดังภาพ ข3 จากนั้นคลิกที่ Continue

Responses:

	Name	Units
	Response 1	
	Response 2	
	Response 3	
	Response 4	
	Response 5	

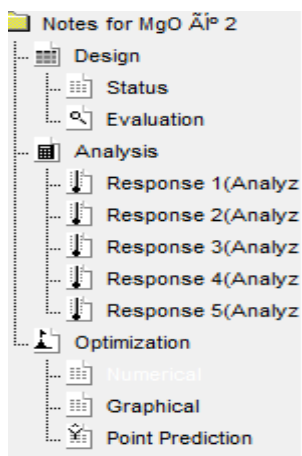
ภาพที่ ข3 Response และ หน่วยของตัวแปรที่ทำการทดลอง

4. จะปรากฏปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด เช่น การทดลองมีทั้งหมด 16 การทดลอง ค่ากลาง 3 การทดลอง ทำซ้ำ 1 ครั้ง รวมการทดลอง 19 การทดลอง จากนั้นทำการกรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดลงในช่องดังภาพที่ ข4

Std	Run	Block	Factor 1 A:Temp C	Factor 2 B:Catalyst %	Factor 3 C:Pressure Bar	Factor 4 D:Time Min	Response 1 Response 1 Gas	Response 2 Response 2 Liquid	Response 3 Response 3 Naptha	Response 4 Response 4 Diesel	Response 5 Response 5 Conversion
17	1	Block 1	415.00	0.80	3.00	45.00	14.297	86.88	12.7	34.21	45.6
	8	Block 1	450.00	1.50	5.00	30.00	30.88	62.12	29.2	17.62	91.25
	9	Block 1	380.00	0.10	1.00	60.00	6.68	92.31	6.93	36.34	38.82
	10	Block 1	450.00	0.10	1.00	60.00	30.28	62.94	27.92	16.38	88.66
	2	Block 1	450.00	0.10	1.00	30.00	29.36	64.21	27.68	17.63	88.39
	1	Block 1	380.00	0.10	1.00	30.00	5.09	94.3	8.23	36.44	41.24
	3	Block 1	380.00	1.50	1.00	30.00	4.65	92.87	8.75	25	39.66
	6	Block 1	450.00	0.10	5.00	30.00	27.64	65.37	33.04	14.18	92.32
	4	Block 1	450.00	1.50	1.00	30.00	30.14	63.78	28.61	18.45	81.5
	16	Block 1	450.00	1.50	5.00	60.00	29.79	63.12	28.95	16.55	90.66
	15	Block 1	380.00	1.50	5.00	60.00	5.86	91.22	5.88	35.98	45.49
	11	Block 1	380.00	1.50	1.00	60.00	7.87	89.65	9.24	23.98	35.12
	18	Block 1	415.00	0.80	3.00	45.00	14.44	86.56	11.9	33.5	45.89
	13	Block 1	380.00	0.10	5.00	60.00	5.83	93.44	7.05	38.5	43.13
	19	Block 1	415.00	0.80	3.00	45.00	14.17	86.7	12.364	33.26	46.52
	12	Block 1	450.00	1.50	1.00	60.00	31.57	61.38	31.47	18.58	89.86
	7	Block 1	380.00	1.50	5.00	30.00	5.18	92.49	4.62	35.26	37.14
	14	Block 1	450.00	0.10	5.00	60.00	28.93	64.68	27.89	15.33	90.12
	5	Block 1	380.00	0.10	5.00	30.00	3.53	95.4	5.38	38.85	43.46

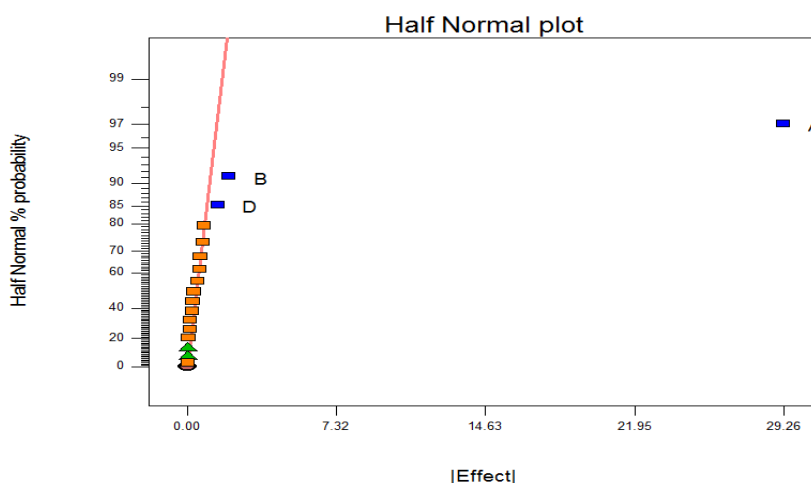
ภาพที่ ข4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองด้วยโปรแกรม Design-Expert ยกตัวอย่างเช่น วิเคราะห์ผลของเชื้อเพลิงเหลวโดยกตที่ข้อมูลของ liquid(Anayzed) ดังภาพที่ ข5 จากนั้นคลิกที่ Effect



ภาพที่ ข5 แถบข้อมูลของ gas liquid kerosene และ diesel

6. ทำการเลือกจุดที่มีผลต่อการทดลองในกราฟ Half Normal %Probability เพื่อให้แนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ ข6 ยกตัวอย่างเช่น



ภาพที่ ข6 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้เนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของน้ำมันถั่วเหลือง

จากภาพที่ ข6 บ่งบอกว่าปัจจัยใดที่เบี่ยงออกจากเส้นตรงคือ อุณหภูมิ ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของเนฟทา

7. กดที่คำว่า ANOVA ดังภาพที่ ข7 เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณและเป็นการยืนยันผลของ Normal probability

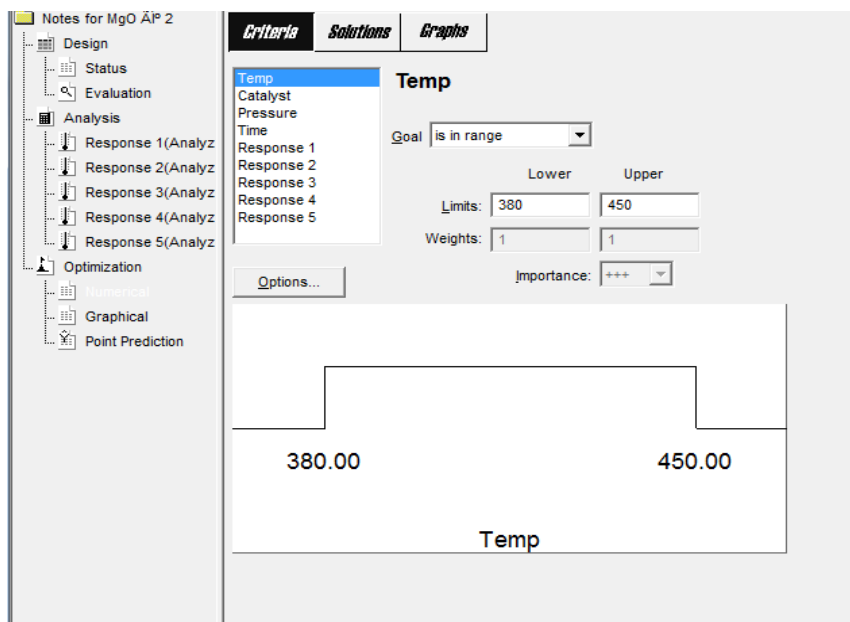
Response: Response 2						
ANOVA for Selected Factorial Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares]						
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	3449.33	3	1149.78	1653.96	< 0.0001	significant
A	3424.59	1	3424.59	4926.28	< 0.0001	
B	16.04	1	16.04	23.07	0.0003	
D	8.70	1	8.70	12.52	0.0033	
Curvature	188.30	1	188.30	270.87	< 0.0001	significant
Residual	9.73	14	0.70			
Lack of Fit	9.68	12	0.81	31.35	0.0313	significant
Pure Error	0.051	2	0.026			
Cor Total	3647.36	18				

ภาพที่ ข7 แสดงการคำนวณผลของ ANOVA

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert ซึ่งบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ของปัจจัยนั้น แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ

8. วิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ตามข้อ 5-7

9. ทำการหาภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง โดยกดที่ numerical --- > พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตที่ต้องการในช่อง Limit ดังภาพ ข8



ภาพที่ ข8 ขอบเขตที่ต้องการในการทดลอง

10. กดที่ Solution จะได้สภาวะที่เหมาะสมดังภาพที่ ข9

Solutions

Number	Temp	Catalyst	Pressure	Time	Response 1	Response 2	Response 3	Response 4	Response 5
1	406.22	0.10	5.00	30.00	12.5982	83.4882	15.7191	29.7154	62.4344
2	406.17	0.10	4.98	30.07	12.5942	83.5071	15.6997	29.7299	62.3802
3	406.02	0.12	5.00	30.00	12.5517	83.5469	15.6294	29.7703	62.2412
4	407.38	0.11	5.00	30.00	13.0184	82.983	16.1308	29.3087	63.2215
5	404.48	0.10	5.00	30.60	12.0366	84.1862	15.0958	30.3096	61.1718
6	406.42	0.10	4.89	30.00	12.7147	83.4049	15.7759	29.6312	62.489
7	404.27	0.10	4.94	30.00	11.9493	84.3023	15.0035	30.37	61.0088

ภาพที่ ข 9 แสดงสภาวะที่เหมาะสมและขอบเขตของการทดลอง

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

ข้อมูลจากการทดลอง

น้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์	475.63	กรัม
น้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง	15.00	กรัม
น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา	0.225	กรัม
น้ำหนักรวมก่อนการทำปฏิกิริยา		
(น้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์+น้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง+น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา)	490.86	กรัม
น้ำหนักรวมหลังการทำปฏิกิริยา(ทำการปล่อยแก๊สออกก่อนชั่ง)	486.55	กรัม
น้ำหนัก (ฟอย+กระดาษทิชชู+กระดาษกรอง)	5.62	กรัม
น้ำหนัก (กากของแข็งที่ได้จากการทดลอง+ฟอย+กระดาษทิชชู+กระดาษกรอง)	7.30	กรัม
ค่าการกระจายตัวของเนฟทาในผลิตภัณฑ์ของเหลว (%)	42.66	กรัม

วิธีการคำนวณ

ผลิตภัณฑ์แก๊ส	=	$490.86 - 486.5$	=	4.31	กรัม
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส	=	$(4.31/15.00) \times 10$	=	28.7	โดยน้ำหนัก
ผลิตภัณฑ์ของแข็ง	=	$7.30 - 5.62 - 0.225$	=	1.46	กรัม
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง	=	$(1.46/15.00) \times 1$	=	9.73	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	$100 - 28.7 - 9.73$	=	61.57	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้ของเนฟทา	=	$(61.57 \times 42.66) / 100$	=	26.27	โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์

ง.1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography) โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาองค์ประกอบตามคาบจุดเดือด ซึ่งแบ่งเป็นช่วงได้ดังนี้

Initial boiling point (IBP) – 200 °C	=	แนฟทา (Naphtha)
200 °C – 250 °C	=	เคโรซีน (Kerosene)
250 °C – 350 °C	=	แก๊สออยล์เบา (Light Gas Oil)
350 °C – 370 °C	=	แก๊สออยล์ (Gas Oil)
370 °C – Final boiling point (FBP)	=	กากน้ำมันหนัก (Long residue)

วิธีในการวิเคราะห์ทำโดยเตรียมสารตัวอย่าง ซึ่งจะนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปละลายในสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ตามมาตรฐาน ASTM D2887 ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น GC7890A ประกอบด้วยดีเทคเตอร์ชนิด FID ใช้ซอฟต์แวร์ Simulated Distillation คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary column มี stationary phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 10 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 530 ไมโครเมตร และความหนาของฟิล์ม 2.65 ไมโครเมตรสภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิหัวฉีด (Injector Temperature) 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) 40 - 350 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการไหลของการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) 375 องศาเซลเซียส โดยมีแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพาที่อัตราการไหล 6.5 มิลลิลิตรต่อนาทีด้วย split ratio

ง.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS) ใช้หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยมีหลักการคืออาศัยการเปรียบเทียบ Fringerprint ของเลขมวล (Mass Number) ขององค์ประกอบนั้นๆ ที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล สามารถ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จะทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้เมื่อถูกความร้อน และส่วนของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยแก๊สโครมาโทกราฟีจะถูกไอออไนซ์ในสภาวะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิงแล้วแปรผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ Agilent Technologies รุ่น GC7890A โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว แสดงดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์

Condition	Value
Carrier gas (He) Flow rate	1.0 ml/min
Interface Temperature	230°C
Ion source Temperature	40°C
Split ratio	1:500
Molecular Weight Scan Range (m/z)	50-700
Solvent cut time	4 min
Injection Temperature	300°C
Inject volume	0.02µL
Column Initial Temperature	90°C
Temperature Program Rate	40°C/15min
Column Final Temperature	280°C

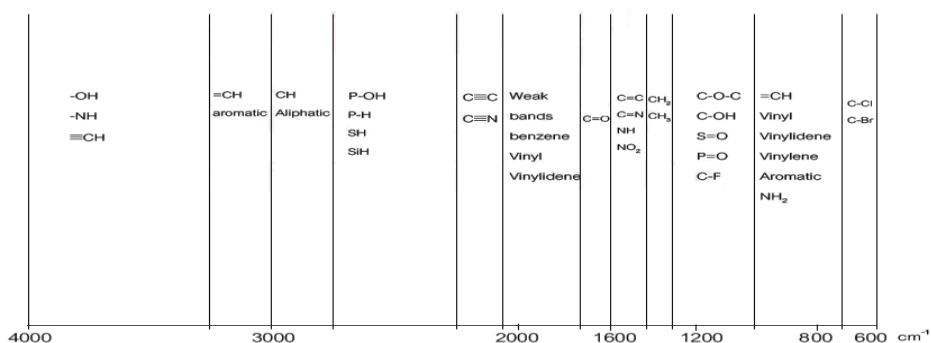
ง.3 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของเชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT – IR)

อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโมเลกุลของสาร โดยมีหลักการที่เกี่ยวกับการสั่นของโมเลกุลในแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (2.5-25 ไมโครเมตร) ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลของสาร ซึ่งสารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกัน เมื่อสารได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดจะเกิดการสั่นของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้วจะวัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่า infrared Spectrum ในการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ จะแบ่งการพิจารณาแถบการดูดกลืน Infrared Spectrum ได้เป็น 3 ช่วง คือ

1. ความถี่ $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ (Functional group regional) เป็นช่วงที่บอกชนิดของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล หากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันในช่วงนี้ จะยืนยันได้ว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ในโมเลกุลสารที่สนใจ

2. ความถี่ $910 - 1300 \text{ cm}^{-1}$ (Finger print regional) ในช่วงนี้จะมีแถบดูดกลืนที่สลับซับซ้อนมากแถบที่ปรากฏมีลักษณะเฉพาะของโมเลกุลในแต่ละชนิด จึงสามารถที่จะยืนยันได้ว่าสารทั้งสองที่ส่งสัยนั้นเป็นสารเดียวกันจริงหรือไม่ โดยจะทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารในตัวอย่างชนิดเดียวกัน หากปรากฏแถบการดูดกลืนในช่วงนี้เหมือน แสดงว่าสารทั้งสองนั้นเป็นสารตัวเดียวกัน

3. ช่วงความถี่ $650 - 910 \text{ cm}^{-1}$ บอกถึงการสารที่มีการจัดตัวของหมู่แทนที่บนวงแหวนสารประกอบแอโรแมติก ซึ่งถ้าไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนในบริเวณนี้ แสดงว่าสารไม่มีองค์ประกอบที่เป็นแอโรแมติก



ภาพที่ ง1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ ความยาวคลื่นต่าง

ง.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) เป็นเครื่องวิเคราะห์ที่ใช้หลักการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า เฟสอยู่กับที่ (Stationary phase) และจะมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (Detector) และจะส่งสัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับไปบันทึกเป็นโครมาโทแกรมด้วยเครื่องบันทึก (Recorder) งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2014 โดยภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph)

แก๊สพา (Carrier gas)	แก๊สอาร์กอน (Ar)
ชนิดคอลัมน์	Unibeads C packed
อุณหภูมิการฉีด (Injector temperature)	120 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์	50 ถึง 180 องศาเซลเซียส
ระบบตรวจวัด (Detector)	ระบบวัดสภาพการนำความร้อน (TCD)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิริภรณ์ ปาลวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร ปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553