

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี

นางสาวปรีชญา แก้วชิงดวง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

CATALYTIC CRACKING OF RAPESEED OIL ON MAGNESIUM OXIDE AND FCC
CATALYSTS

Miss Preechaya Kaewchingduang

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	การแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี
โดย	นางสาวปรีชญา แก้วชิงดวง
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติ พฤษชาทร)

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

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

ปรัชญา แก้วชิงดวง : การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอฟซีซี. (CATALYTIC CRACKING OF RAPESEED OIL ON MAGNESIUM OXIDE AND FCC CATALYSTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 92 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ขนาด 250 มิลลิลิตร ประกอบด้วยช่วงอุณหภูมิการทดลอง 380-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และเอฟซีซีที่ปริมาณร้อยละ 1-10 ของน้ำมันป้อนเข้า วัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนร้อยละผลได้ของแนฟทาและดีเซลที่เหมาะสม โดยเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph)

ผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ คือ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 4.1 โดยน้ำหนัก ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเหลวร้อยละ 65.19 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดมีปริมาณร้อยละผลได้ของแนฟทา 16.30 ดีเซล 20.21 โดยน้ำหนัก โดยภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี คือ อุณหภูมิ 380 องศา-เซลเซียส เวลาที่ใช้ 30 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ให้ร้อยละของน้ำมันเหลว 68.84 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาและดีเซลร้อยละ 23.41 และ 21.34 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ภาควิชาเคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชาเคมีเทคนิค..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....
 ปีการศึกษา 2555.....

5372279323 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : CATALYTIC CRACKING/ RAPESEED OIL/ MAGNESIUM OXIDE
AND FCC CATALYSTS

PREECHAYA KAEWCHINGDUANG : CATALYTIC CRACKING OF RAPESEED
OIL ON MAGNESIUM OXIDE AND FCC CATALYSTS. ADVISOR :
ASSOC.PROF.THARAPONG VITIDSANT, Ph.D., 92 pp.

This research aims to study the factor which affected to catalytic cracking of rapeseed oil to liquid fuels in 250 ml batch reactor under the condition of temperature ranging of 380-450°C, time of reaction 30-60 minute, initial hydrogen pressure of 1-5 bar over magnesium oxide and fluid catalytic cracking catalyst amount of 1-10 %wt to defined the optimum condition of the highest yield of naphtha and diesel fraction from catalytic cracking reaction which analyzed from simulated distillation gas chromatography.

The results shown that the optimum condition whereas using MgO catalyst were temperature of 380°C, time of reaction 60 minute, initial hydrogen pressure of 1 bar over 4.1 %wt of MgO which gave the highest liquid yield of 65.19 %wt. The product distribution were analyzed by DGC gave naphtha of about 16.30 %wt and diesel 20.21 %wt. In addition to used FCC catalyst under the condition of temperature of 380°C, time of reaction 30 minute, initial hydrogen pressure of 1 bar over 1 %wt of FCC gave the highest liquid yield of 68.84 %wt whereas the product distribution from DGC gave naphtha fraction amount of 23.41 %wt and diesel fraction of 21.34 %wt.

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

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

Academic Year : 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ทำให้งานวิจัยดำเนินการและสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำปรึกษาในการศึกษาเล่าเรียน และการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พุกษาทร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ระเบียบร้อยเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้ความคิดเห็น รวมถึงคำแนะนำและข้อผิดพลาดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณโครงการไทยเข้มแข็ง ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology) และโครงการพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU)

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมา

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.....	5
2.1 สมบัติและองค์ประกอบหลักในน้ำมันพืช.....	5
2.2 เมล็ดเรพ.....	8
2.3 ข้อดี - ข้อเสียของการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	9
2.4 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง.....	9
2.4.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Blending oil fuel).....	9
2.4.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	10
2.4.3 การสลายตัวด้วยความร้อน (Pyrolysis).....	10
2.5 ปฏิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน.....	11
2.5.1 การแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (Thermal cracking).....	11
2.5.2 การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking).....	13
2.5.3 การแตกตัวสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)	15

	หน้า
2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน.....	16
2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	17
2.7.1 ตัวเร่งปฏิกิริยากรด (Acid catalyst).....	17
2.7.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (Base catalyst).....	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	23
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	23
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	27
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	27
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	32
4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	32
4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่นก่อนทำการทดลอง.....	33
4.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันเมล็ดเรพด้วย เทคนิค Temperature Gravimetric Analysis (TGA).....	34
4.1.4 การวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดเรพด้วยเทคนิค GC-MS.....	34
4.1.5 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเครื่อง Bomb calorimeter.....	36
4.1.6 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHNO (CHNO Analysis).....	37
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และ เฮฟซีซีด้วยเทคนิค XRF.....	37
4.2.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์และเฮฟซีซีด้วยเทคนิค BET.....	39

4.3 การกำหนดภาวะที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน เมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	41
4.4.1 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน เมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	41
4.4.1.1 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้.....	41
4.4.1.2 ร้อยละผลได้ของแนฟทา.....	44
4.4.1.3 ร้อยละผลได้ของดีเซล.....	46
4.4.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของ น้ำมันเมล็ดเรพ.....	48
4.4.1.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	50
4.4.1.6 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	51
4.4.1.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	53
4.4.2 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน เมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	54
4.4.2.1 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้.....	55
4.4.2.2 ร้อยละผลได้ของแนฟทา.....	57
4.4.2.3 ร้อยละผลได้ของดีเซล.....	59
4.4.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของ น้ำมันเมล็ดเรพ.....	62
4.4.2.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	63
4.4.2.6 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	65

4.4.2.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	66
4.5 การหาภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็น เชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี จากโปรแกรม Design Expert.....	68
4.5.1 ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็น เชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	68
4.5.2 ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็น เชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	70
4.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัว น้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยา.....	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและขอเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	82
ภาคผนวก ค.....	90
ภาคผนวก ง.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน สำหรับการใช้ในโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง.....	11
3.1	ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่ง ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี.....	28
3.2	การออกแบบการทดลองแปดทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่ง ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี.....	29
4.1	แสดงองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	32
4.2	แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพก่อนทำการทดลอง.....	33
4.3	แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	35
4.4	แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	36
4.5	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 25 องศา เซลเซียส.....	36
4.6	แสดงองค์ประกอบธาตุ CHNO ของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเครื่อง CHNO Analysis.....	37
4.7	แสดงองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF.....	37
4.8	แสดงองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีด้วยเทคนิค XRF.....	38
4.9	แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	39
4.10	แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยา เอพซีซี.....	39
4.11	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของ น้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	41

ตารางที่	หน้า
4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	43
4.13 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	44
4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	45
4.15 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	46
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	48
4.17 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	55
4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	56
4.19 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	57
4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	58
4.21 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	59
4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	61
4.23 ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรมของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	68
4.24 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	69

ตารางที่	หน้า	
4.25	ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	69
4.26	ขอบเขตของการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	70
4.27	ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	70
4.28	ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	71
4.29	ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยา.....	72
ก1	ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	78
ก2	ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	80
ข1	ตัวอย่างสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	83
ข2	ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	85
ง1	ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบกับแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	91

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงกลไกการแตกตัวของน้ำมันพืชเมื่อใช้แมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	2
2.1 ลักษณะของต้นเมล็ดเรพ.....	8
2.2 แสดงปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอมโมเนียมแคทไอออน.....	17
2.3 แสดงการแลกเปลี่ยนไอออนกับซีเทียมไอออน.....	18
2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นเอทิลเบนซีนจากการสลายตัวของเมทานอล.....	18
3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ปริมาตร 250 มิลลิลิตร.....	23
3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	24
3.3 ชุดกรองสูญญากาศ.....	24
3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography).....	25
3.5 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF).....	26
3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (BET surface area).....	26
3.7 เครื่อง Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) รุ่น A SHIMADZU GC-MS QP2010.....	27
4.1 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันเมล็ดเรพ.....	34
4.2 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	34
4.3 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี.....	35
4.4 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	43
4.5 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊พจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	45

ภาพที่	หน้า
4.6 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	47
4.7 แสดงผลของอุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	48
4.8 แสดงผลของอุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	49
4.9 แสดงผลของเวลาช่วง 30-60 นาที ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	50
4.10 แสดงผลของเวลาช่วง 30-60 นาที ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	50
4.11 แสดงผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	51
4.12 แสดงผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	52

ภาพที่	หน้า
4.13 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*).....	53
4.14 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*).....	53
4.15 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี.....	56
4.16 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี.....	58
4.17 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี.....	60
4.18 แสดงผลของอุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	62
4.19 แสดงผลของอุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	62
4.20 แสดงผลของเวลาช่วง 30-60 นาที ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	63

ภาพที่	หน้า
4.21 แสดงผลของเวลาช่วง 30-60 นาที ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	64
4.22 แสดงผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	65
4.23 แสดงผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า.....	65
4.24 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*).....	66
4.25 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*).....	67
ข1 แสดงตารางของ 2 Level Factorial Design.....	85
ข2 แสดงตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง.....	86
ข3 แสดง Response และ หน่วยที่ทำการทดลอง.....	86
ข4 แสดงตารางการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองที่ภาวะต่างๆ.....	87
ข5 แสดงแถบของ Liquid, Naphtha, Diesel.....	87

ภาพที่	หน้า
๗6 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการ แตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม ออกไซด์.....	88
๗7 แสดงการคำนวณผลของ ANOVA.....	88
๗8 ขอบเขตที่ต้องการในการทดลอง.....	89
๗9 แสดงภาวะที่เหมาะสม.....	89

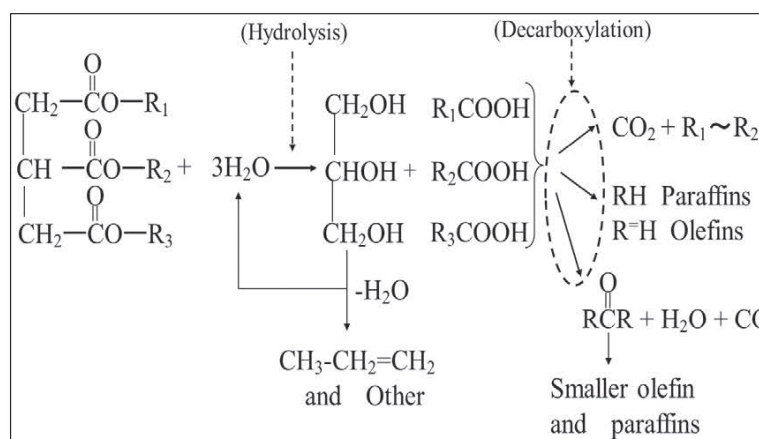
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้และปริมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดของเชื้อเพลิงฟอสซิลของโลกเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ ความมั่นคงและปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทางเลือกหนึ่งเพื่อที่จะลดการพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม คือ การพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การผลิตไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันที่สามารถหาได้จากการเกษตรเป็นทางเลือกหนึ่งในการแทนที่เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะในประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรอุตสาหกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากและเมื่อพิจารณาในเรื่องของปริมาณแล้ว พบว่าวัตถุดิบจากการเกษตรนั้นสามารถปลูกทดแทนได้ตลอด แต่ปัญหาที่พบของการผลิตเชื้อเพลิงจากพืชน้ำมันจะเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของเชื้อเพลิงเหลว ความหนืด และตะกอนคาร์บอนที่เกิดขึ้น ทำให้มีการนำน้ำมันพืชมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพที่ก่อนนำไปใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วมักนิยมนำมาผลิตไบโอดีเซลผ่านทางกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เกิดกลิ่นเหม็นและเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ และเกิดน้ำเสียจำนวนมากในขั้นตอนของการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากการใช้วัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติ สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาเป็นการใช้ความร้อนเพื่อสลายตัวไตรกลีเซอไรด์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมในการทำปฏิกิริยาด้วย ทั้งนี้การเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ อาจขึ้นอยู่กับภาวะและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง เทคโนโลยีนี้มีข้อดีกว่ากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ ใช้สารตั้งต้นที่มีข้อจำกัดน้อยลง กระบวนการที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง



ภาพที่ 1.1 กลไกการแตกตัวของน้ำมันพืชเมื่อใช้แมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [13]

ต้นน้ำมันเมล็ดเรพ หรือ Rapeseed oil tree มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica napus* เป็นพืชล้มลุกประเภทพืชที่พบอยู่ทั่วไปในทวีปยุโรป เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง โดยส่วนใหญ่แล้วจะพบมากทางแถบทวีปยุโรปและในเกือบทุกมณฑลของประเทศจีน น้ำมันจากเมล็ดเรพไม่สามารถนำมาประกอบเป็นอาหารได้เนื่องจากมีสารเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล [1]

เนื่องจากการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันเมล็ดเรพผ่านทางกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ได้มีผลงานวิจัยพบว่าสามารถผลิตเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเบนซินและดีเซล สำหรับการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบทางเคมีต่างๆอาจขึ้นอยู่กับภาวะและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพ ซึ่งจะทำภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาด 250 มิลลิลิตร มีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิ 380-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และเอฟซีซี ที่ปริมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า โดยการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ เอฟซีซี และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ แมกนีเซียมออกไซด์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดสามารถใช้ในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืช ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจำพวกแนฟทาที่มีสมบัติที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิลได้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาจากอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวและทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลวซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่เหมาะสม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี ให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวจำพวกแนฟทาและดีเซลในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลเพื่อขยายส่วนในการนำไปผลิตเชื้อเพลิงเหลวในเชิงพาณิชย์

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ศึกษาสมบัติของน้ำมันเมล็ดเรพก่อนทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph) การหาช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis) และการวิเคราะห์กรดไขมัน
3. วิเคราะห์องค์ประกอบตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry (XRF) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET
4. ออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปร คือ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยา MgO และ FCC
5. ทำการทดลองตามตัวแปรที่กำหนด ได้แก่ อุณหภูมิ 380-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซีที่ปริมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
6. วิเคราะห์การกระจายตัวจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น
7. วิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบที่อยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างละเอียดโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)

8. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

9. เขียนวิทยานิพนธ์

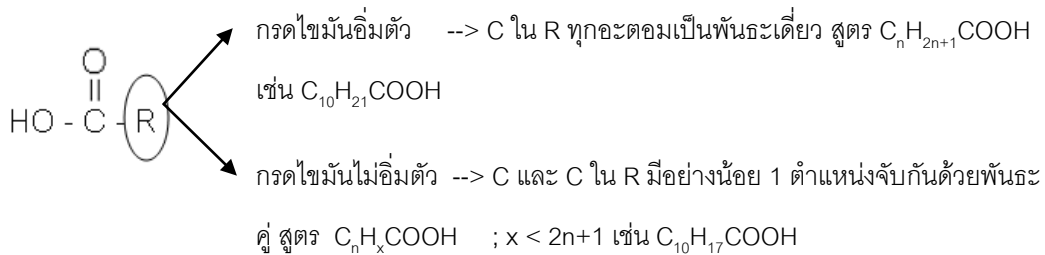
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติและองค์ประกอบหลักในน้ำมันพืช

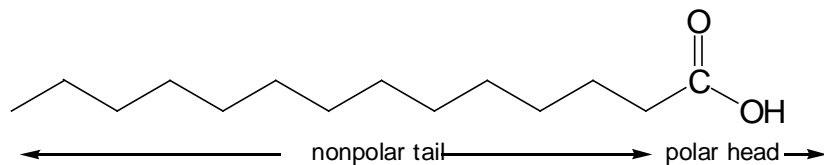
ปกติแล้วน้ำมันพืชรวมถึงไขมันจากสัตว์เป็นสารประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีจำนวนคาร์บอนได้ตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัวเชื่อมต่อกับกรดไขมัน โดยกรดไขมัน (fatty acid) เป็น กรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน

สูตรทั่วไป



สมบัติทางกายภาพที่ของกรดไขมัน

1. โครงสร้างของกรดไขมันจะประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว คือ หมู่คาร์บอกซิล และส่วนที่ไม่มีขั้ว คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ติดกับหมู่คาร์บอกซิล ดังนั้นจะพบว่ายิ่งสายโซ่ยาวมากขึ้น จะทำให้กรดไขมันมีความเป็นขั้วลดน้อยลง



2. จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะเพิ่มสูงขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนหรือเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมคาร์บอน สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่ากรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันแต่มีจำนวนพันธะคู่ต่างกัน พบว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าจึงมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่า

3. กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน แต่มีจำนวนพันธะคู่ต่างกัน จำนวนพันธะคู่ที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลทำให้จุดหลอมเหลวลดลง

น้ำมันพืชและสัตว์จะมีองค์ประกอบของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้องไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ในปริมาณมาก มีองค์ประกอบที่เป็นที่เปราะบางหลากหลายชนิดแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไปตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันอยู่ระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว และมีปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวแตกต่างกันไป น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวปริมาณสูงทำให้มีค่าไอโอดีนต่ำและค่าไอโอดีนจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเมื่อมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงขึ้น [2]

น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวสามารถถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแล้วจะทำให้ไขมันมีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากมีสารเหนียวเกิดขึ้น โดยปกติทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำมาเป็นเชื้อเพลิง เป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันในเครื่องยนต์ได้

การสกัดน้ำมันจากพืชในปัจจุบันนิยมใช้การสับ บดหรือทุบเมล็ดรวมทั้งเนื้อผลให้เซลล์ของพืชให้แตก จากนั้นจะบีบอัดเอาน้ำมันออกมา ส่วนกากและเมล็ดที่เหลือสามารถนำไปสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน ได้อีกครั้ง จากนั้นเมื่อทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกไปแล้วจะเป็นขั้นตอนของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเติมต่างให้ความร้อนอบไอน้ำสกัดสีออกด้วยถ่าน ฯลฯ

น้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์ถือเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบรวมทั้งความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกในพื้นที่ด้วย ตัวอย่างเช่น ปาล์มน้ำมันปลูกมากในมาเลเซีย ถั่วเหลืองปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแหล่งพืชน้ำมันที่น่าสนใจ เช่น สนูปดำ ซึ่งเป็นน้ำมันพืชที่ไม่สามารถนำไปบริโภคได้ เหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และสำหรับกากหลังจากบีบเอาน้ำมันออกจากเมล็ดแล้วพบว่ามีส่วนประกอบ curcine เจือปนอยู่จึงไม่เหมาะสมมาให้ป็นอาหารสัตว์

อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืชจึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์

ดีเซล โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เครื่องยนต์ทางการเกษตรกรรม และการประมง เป็นต้น น้ำมันพืชจะมีค่าความร้อนต่อน้ำหนักประมาณสูงอยู่กว่าร้อยละ 80 ของน้ำมันดีเซลที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมีค่าความหนืดที่สูงกว่าถึง 10 เท่า ดังนั้นการฉีดน้ำมันให้มีลักษณะเป็นฝอยจะทำได้ยาก ส่งผลต่อการป้อนน้ำมันเข้าและการสันดาปภายในเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นคราบเขม่าเกาะอยู่บริเวณหัวฉีด แหวน ฉนวนลูกสูบและวาล์วภายหลังการสันดาป นอกจากนี้เมื่อเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้เกิดไขและเป็นปัญหาต่อระบบการฉีดเชื้อเพลิง นอกจากนี้น้ำมันพืชยังระเหยได้ช้าทำให้การจุดระเบิดในเครื่องยนต์ทำได้ไม่ดี และการระเหยกลายเป็นไอต่ำเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูง ดังนั้นการจะนำน้ำมันพืชไปใช้งาน เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงสำหรับเครื่องยนต์จึงไม่ส่งผลดีนัก มีความจำเป็นจะต้องปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการทำปฏิกิริยาทางกายภาพหรือเคมีให้มีสมบัติเหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันพืช

1. การเกิดกลิ่นหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันทำให้มีกลิ่นและสมบัติเปลี่ยนไป โดยปกติแล้วไขมันและน้ำมันบางชนิด เกิดการหืนจากความชื้นที่อยู่จะไม่สามารถสังเกตได้โดยใช้การดมกลิ่นหรือชิมรส จึงต้องทำการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี คือ วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นค่าที่ได้เรียกว่า ค่าความเป็นกรด (Acid value ; A.V.) ซึ่งหมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่จำนวน 1 กรัมเป็นกลาง ถ้าค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระได้มากจึงมีโอกาสที่จะเกิดกลิ่นหืนมาก

2. ค่าซาฟอนิฟิเคชัน (Saponification number; S.N.) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมัน หรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม เกิดเป็นสบู่และกลีเซอรอล ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ น้ำมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก มีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ค่าเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซ์

3. ค่าไอโอดีน (Iodine value ; I.V.) หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมัน 100 กรัม ค่าไอโอดีนบ่งบอกถึงการเกิดพอลิเมอไรส์ของน้ำมันพืช โดยถ้าค่าไอโอดีนสูงการเกิดพอลิเมอไรส์ของน้ำมันพืชก็สูง แสดงว่ามีปริมาณไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมาก เป็นตัวบ่งชี้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันหรือน้ำมันชนิดนั้นๆ ด้วยน้ำมันที่มีค่า I.N. สูงจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

เนื่องจากมีปริมาณของกรดไขมันจำเป็น ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากด้วยแต่หากค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชต่ำจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถป้องกันการเกิดพอลิเมอไรส์ของน้ำมันพืชภายในเครื่องยนต์ได้

2.2 เมล็ดเรพ [1]

มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กคล้ายกับเมล็ดงา เป็นพืชล้มลุกประเภทวัชพืชที่พบได้ทั่วไปในทวีปยุโรป มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica napus* อยู่ในตระกูลมัสตาร์ด ต่อมาในปี พ.ศ.2525 ได้มีการริเริ่มคิดค้นกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-Esterification) โดยใช้เมล็ดเรพเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ปัจจุบันเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดในทวีปยุโรป คือ มีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 ของวัตถุดิบชนิดอื่น ซึ่งเยอรมนีถือได้ว่าเป็นประเทศที่เป็นทั้งผู้นำในการผลิตไบโอดีเซลมาใช้น้ำมันดีเซลและเป็นผู้นำทางด้านการคิดค้นเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้วัตถุดิบจากเมล็ดเรพ และยังมีประเทศฝรั่งเศสและสเปนที่ใช้เมล็ดเรพ เมล็ดทานตะวันเป็นวัตถุดิบเช่นกัน นอกจากนี้ในยุโรปอินเดีย ญี่ปุ่นและจีน ก็มีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเมล็ดเรพมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ทางประเทศสหรัฐอเมริกาไม่อนุญาตให้ใช้น้ำมันจากเรพซีดเพื่อการบริโภค เนื่องจากมีรายงานการวิจัยบ่งชี้ว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยมีสารพิษกลูโคซิโนเลต (glucosinolate) อยู่สูง [8] ทำให้ต่อมา มีการพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ โดยสถาบันวิจัยในประเทศแคนาดา ได้ชื่อใหม่ว่า ต้นคาโนล่า มาจากคำว่า *canada* และ *oil* และมีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดคาโนล่าออกจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนน้ำมันจากเมล็ดเรพก็ถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่น เช่น การผลิตน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องสำอางค์ สบู่ เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้นเมล็ดเรพ

2.3 ข้อดีและข้อเสียของการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

ข้อดีของการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล

1. น้ำมันพืชมีค่าความร้อนสูงเหมาะแก่การนำไปเป็นเชื้อเพลิง
2. น้ำมันพืชเป็นของเหลวที่ได้จากธรรมชาติ สามารถปลูกทดแทนขึ้นมาได้อย่างต่อเนื่อง และนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุง
3. น้ำมันพืชมีองค์ประกอบที่เป็นกำมะถันและสารอะโรมาติกอยู่ในปริมาณต่ำ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

ข้อเสียของการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล

1. น้ำมันพืชมีความหนืดสูง (high viscosity) ทำให้ส่งผลเสียต่อระบบหัวฉีดของเครื่องยนต์ไม่สามารถฉีดออกเป็นละอองเล็กๆได้ เครื่องยนต์จึงต้องทำงานหนักทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในการจุดระเบิดแต่ละครั้ง เกิดเป็นคราบเขม่าและลูกสูบทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์
2. ความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช (polyunsaturated character) ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันพืช เกิดเป็นคราบยางเหนียวทำให้ลูกสูบและกระบอกสูบเสียหาย
3. น้ำมันพืชมีจุดวาบไฟสูง เพราะระเหยได้ยาก ทำให้การจุดระเบิดในตอนเริ่มเดินเครื่องแต่ละครั้งต้องอาศัยอุณหภูมิสูง

2.4 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงยังพบปัญหาอยู่มาก เช่น ความหนืดของน้ำมันพืชที่สูง ความสามารถในการระเหยได้ต่ำ และความเป็นสารที่มีพันธะไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated character) จำเป็นต้องนำเอาน้ำมันพืชที่ได้ไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพที่ก่อนนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งสามารถทำได้หลากหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.4.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Blending oil fuel)

การผสมระหว่างน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลหรือผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอลโดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น น้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล น้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันดีเซล เป็นต้น สามารถนำมาผสมกันจึงทำได้ง่าย และมีต้นทุนในการผลิตยังต่ำกว่าวิธีอื่น จากงานวิจัยของโครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา มีการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อใช้ในเครื่องยนต์

การเกษตร พบว่าสัดส่วนน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบ 85 ต่อ 15 [3] สามารถใช้ในเครื่องยนต์คูโบต้าแบบไดเรกอินเจกชัน ได้อย่างน้อย 1000 ชั่วโมง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก แต่มีข้อจำกัดที่ว่าน้ำมันปาล์มดิบต้องเป็นน้ำมันที่ไม่เก็บไว้นานและต้องกรองเอาส่วนที่เป็นไขออกเสียก่อน โดยไม่นำส่วนที่ข้นมากเพื่อไม่ให้ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงอุดตัน น้ำมันที่ผสมแล้วควรจะนำไปใช้งานทันที เนื่องจากจะเกิดการรวมตัวกันของเส้นใยพืชเป็นก้อน ทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ง่าย ยังคงไม่เหมาะกับการใช้งานในระยะยาวของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดโค้กที่หัวฉีด

2.4.2 การทำไมโครอิมัลชัน (micro emulsion)

เป็นกระบวนการทำให้ของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดขนาดเล็ก และทำให้หยดที่กระจายตัวอยู่นั้นคงสภาพที่อยู่ได้ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชัน เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่สามารถกระจายในของเหลวได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว หรือใช้การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) เพื่อให้ของเหลวเข้ากันได้ชั่วคราว แต่เมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดั้งเดิม โดยการปรับสภาวะให้เข้าจุดคงสภาพที่โดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด วิธีนี้จึงทำให้สามารถฉีดละอองฝอยได้ เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้มีจุดเดือดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืช และพบว่าไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชที่ผสมเมทานอลจะได้เชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล แต่เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ยังคงพบปัญหาการเกิดคราบเขม่าขึ้นที่หัวฉีดและวาล์วจำนวนมาก

2.4.3 การสลายตัวด้วยความร้อน [9, 10, 11]

การสลายตัวโดยใช้ความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน โดยไ้แก๊สออกซิเจนหรืออากาศเข้าร่วมในปฏิกิริยา โดยเกิดการแตกของพันธะโมเลกุลในองค์ประกอบของน้ำมันพืชจากสายโซ่พันธะเคมีขนาดยาว กลายเป็นสายโซ่ขนาดสั้น หรือเปลี่ยนเป็นส่วนที่เป็นคาร์บอนระเหยได้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง และอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมด้วย ในการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวนี้ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาอื่นได้หลายหลายปฏิกิริยาพร้อมกัน ผลิตรถภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวกลุ่มดีเซลเป็นส่วนใหญ่ และอาจเกิดแก๊สลิ้นและคีโรซีนด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะและตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ จากงานวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชเมื่อผ่านการสลายตัวด้วยความร้อนโดยใช้ในโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง จะทำให้ได้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1 แต่จะพบความคล้ายคลึงกัน คือ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ยังคงเป็นสารประกอบกลุ่มแอลเคน (Alkanes) และแอลคีน

(Alkenes) และจะพบสารประกอบที่มีหมู่ของกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) อยู่อีกด้วย ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนสำหรับการใช้ในโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สดักกลาง [9, 10, 11]

องค์ประกอบ	น้ำมันทานตะวัน		น้ำมันถั่วเหลือง	
	N ₂ sparge	Air	N ₂ sparge	Air
Alkanes	37.5	40.9	31.1	29.9
Alkenes	22.2	22.0	28.3	24.9
Alkakienes	8.1	13.0	9.4	10.9
Carboxylic acids	11.5	16.1	12.2	9.6
Unresolved unsaturates	9.7	10.1	5.5	5.1
Aromatics	2.3	2.2	2.3	1.9
Unidentified	8.7	12.7	10.9	12.6

2.5 ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน

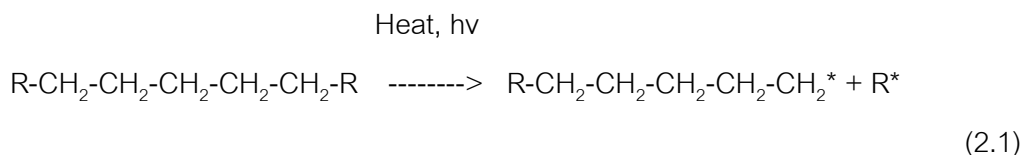
ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.5.1 การแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (Thermal cracking)

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง หากใช้สภาวะการเกิดปฏิกริยาที่เหมาะสมจะทำให้สามารถเลือกเกิดผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงตามที่ต้องการได้มากที่สุด แต่การให้ความร้อนที่สูงเกินไป จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและขนาดเล็กมากเกินไป จนกลายเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก (C₁ - C₄) ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เหมาะสม สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนส่วนที่มีแชนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) จะมีความว่องไวต่อปฏิกริยาซึ่งอาจจะทำปฏิกริยากันเองต่อไปได้

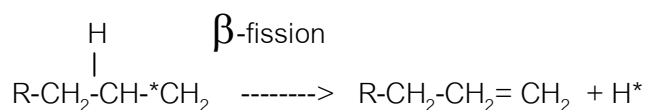
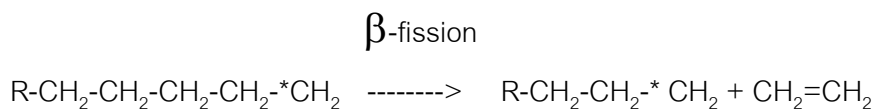
การแตกตัวโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อนเป็นปฏิกริยาแบบอนุมูลอิสระ (free radical) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ [4,12]

1. ขั้นเริ่มต้น (initiation step) เป็นขั้นตอนในการเกิดอนุมูลอิสระ ความร้อนจะทำให้เกิดการแตกพันธะของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ได้เป็นอนุมูลอิสระซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป

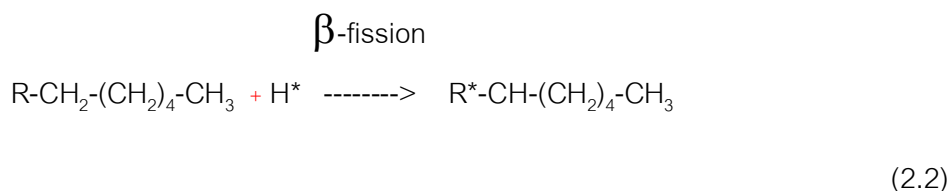


2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (propagation step) อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์และแตกพันธะเป็นโมเลกุลที่สายโซ่สั้นลง กลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ โดยที่อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นอีกได้อย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่สายโซ่สั้นลงอย่างต่อเนื่อง

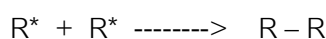
β -fission

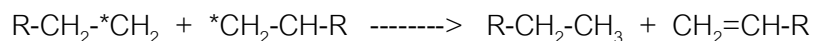


Chain transfer



3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากันเองเพื่อหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยวหรือเกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล



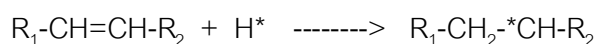
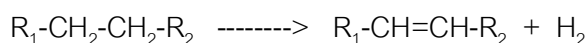


(2.3)

2.5.2 การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking)

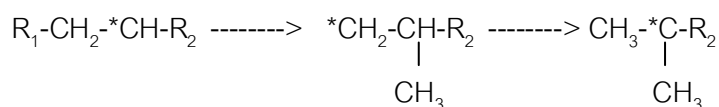
ในการเกิดปฏิกิริยาจะมีการนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาช่วยในการแตกพันธะสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ได้โครงสร้างที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการ กลไกของการแตกโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

1. การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนียมไอออน (carbonium ion) คือ การที่โมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรด์ไอออน (hydride ion) ซึ่งมีประจุลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูง ทำให้คาร์บอนเนียมไอออนมีสภาพที่เป็นบวกทางไฟฟ้า โดยคาร์บอนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะมีเสถียรภาพที่แตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างของไอออนโดยที่ tertiary ion จะมีเสถียรภาพที่มากกว่า secondary ion และ primary ion



(2.4)

2. การเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลคาร์โบเนียมไอออน เกิดจากความเสถียรที่แตกต่างกันของโครงสร้างของคาร์โบเนียมไอออนแต่ละลักษณะ



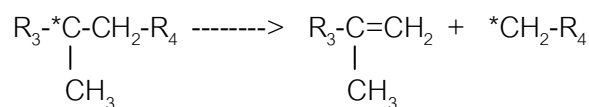
(2.5)

และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเนียมไอออนกับโมเลกุลของสายโซ่สารประกอบไฮโดรคาร์บอน



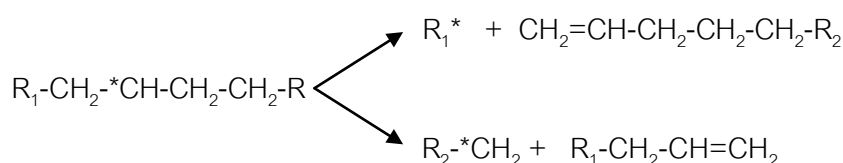
(2.6)

คาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยาหรือการแตกตัวที่ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก จะทำให้ได้สารประกอบโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยส่วนมากมักเป็น primary carbonium ion



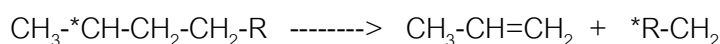
(2.7)

บางกรณีคาร์บอนเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้หลายลักษณะ เช่น ตัวอย่างของ secondary carbonium ion



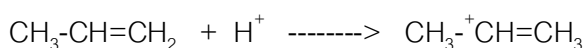
(2.8)

ถ้าหากเกิดเป็น $\text{R}_1\text{=H}$ การเกิด จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว



(2.9)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์บอนเนียมไอออนซึ่งไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้

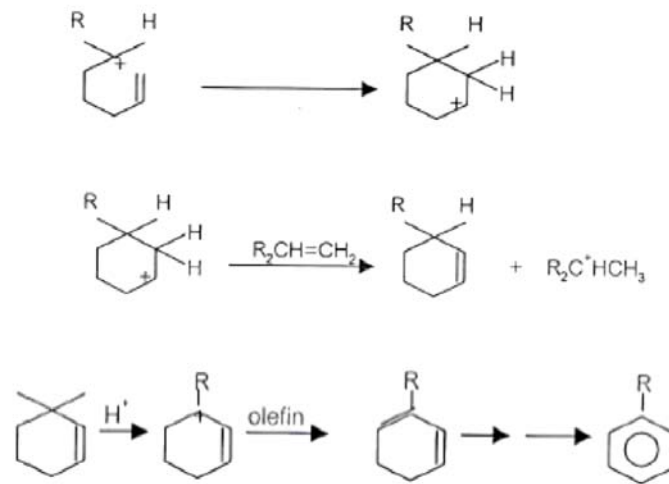
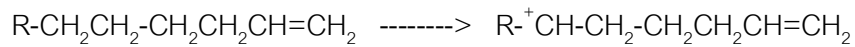


(isopropyl carbonium ion)

(2.10)

isopropyl carbonium ion เกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นในระบบได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพน หรืออาจสูญเสียโปรตอนและจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน การเกิดแอมติคจากปฏิกิริยา dehydrocyclization โดยโอเลฟินเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefin carbonium ion ลักษณะวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟิน เกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรด

ของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพที่และรับโปรตอนจาก cyclohexadine โดยขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติก



(2.11)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกพันธะโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยแก๊สที่มีโอเลฟินสูง เกิดเป็นวงเบนซีนที่มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีสารจำพวกอะโรแมติกและโอเลฟินมาก ในส่วนของกากน้ำมันและโค้ก (coke) จะเกาะอยู่บนบริเวณพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้พื้นที่ผิวรูพรุนและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเกิดการเสื่อมสภาพที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้น

2.5.3 การแตกตัวสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยไฮโดรเจนร่วม (hydrocracking)

การใช้ไฮโดรเจนร่วมในกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกิ่งจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) คือ ส่วนแรกช่วยแตกพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนของโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและส่วนที่สองจะช่วยเติมแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกาและอะลูมินา สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อมกับการเติมแก๊สไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินที่พื้นผิวส่วนโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยาโอเลฟินจะทำให้เกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเกิดการแตกตัวบริเวณ

เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา การเติมแก๊สไฮโดรเจนจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นพันธะอิ่มตัว และสามารถกำจัดได้กับพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย

เนื่องจากการแตกโมเลกุลโดยการใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนทำให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์สูง จำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างเหมาะสม ไมเช่นนั้น อาจทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ และอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดโค้กและทำให้เกิดการเสื่อมสภาพที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกด้วย

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพที่น้ำมัน

วิธีการทดสอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ตามมาตรฐานของ ASTM (American Society for Materials) หรือ IP (Institute of Petroleum) ดังนี้

1. จุดวาบไฟ (Flash Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่สามารถกลายเป็นไอและเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟจะสามารถลุกไหม้ได้ทันที

2. จุดไหลเท (Pour Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ เป็นจุดอุณหภูมิที่บอกให้ทราบว่าสามารถนำน้ำมันชนิดนั้นไปใช้ในที่มีอุณหภูมิต่ำได้เท่าใด เพราะน้ำมันจะไม่ไหล ไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันจะแยกตัวออกมาอุดตันทางเดินและหม้อกรองทำให้อุปกรณ์ทำงานไม่ได้ จุดไหลเทจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณลักษณะของไขมันที่มีอยู่ในน้ำมัน น้ำมันที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีจุดไหลเทสูง

3. ความหนืด (Viscosity) เป็นค่าที่บอกถึงความต้านทานการไหลของน้ำมันและสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว เนื่องจากค่าความหนืดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างเคร่งครัด การรายงานค่าความหนืดจึงต้องบอกอุณหภูมิของการวัดนั้นด้วย

4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) คุณสมบัติข้อนี้จะมีความสำคัญเฉพาะในด้าน การซื้อขาย เพราะจะทำการซื้อขายกันตามปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐาน หรือที่เรียกว่า volume correction factor

การวิเคราะห์หาคุณภาพที่ของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติต่างๆ ใช้หลักการของ gas chromatography โดยการนำน้ำมันมากลั่นแยกตามคาบจุดเดือด (boiling range) โดยแบ่งเป็นช่วงอุณหภูมิแคบ 5 - 10 องศาเซลเซียส

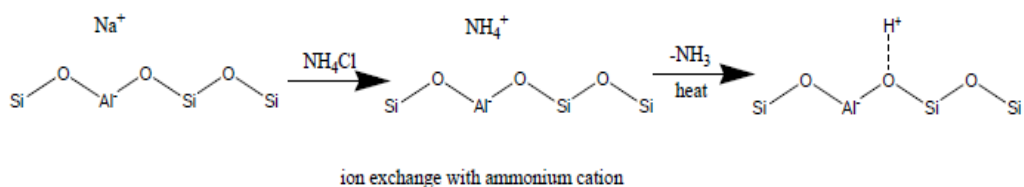
1. คาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (initial boiling point) ถึง 200 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบเป็นแก๊สไลน์ (gasoline fraction) ใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน

2. คาบจุดเดือดระหว่าง 200 - 250 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบเป็นน้ำมันก๊าด (kerosene fraction) ใช้น้ำมันก๊าดเพื่อให้แสงสว่างตะเกียง ถ้าจุดเยือกแข็งต่ำมักจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอากาศยานไอพ่น
3. คาบจุดเดือดระหว่าง 250 - 350 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบเป็นแก๊สออยล์ชนิดเบา (light gas oil fraction) ใช้น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล
4. คาบจุดเดือดระหว่าง 350 - 370 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบเป็นแก๊สออยล์ (gas oil fraction) มักนำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น
5. คาบจุดเดือดสูงกว่า 370 องศาเซลเซียส เป็นช่วงขององค์ประกอบของน้ำมันหนักหรือกากน้ำมัน (residue) นำไปใช้งานได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับสมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา ผลิตเป็นยางมะตอย หรือนำมาเป็นน้ำมันเครื่อง

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

2.7.1 ตัวเร่งปฏิกิริยากรด (acid catalyst)

ซีโอไลต์ (zeolite) มักถูกใช้มากในฐานะตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (acid catalyst) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดปฏิกิริยาผ่าน คาร์บอนเนียมไอออนได้ดี ซีโอไลต์มีอัตราส่วนของ Si/Al สูงและมีโปรตอน (H^+) ที่มีความแรงของกรด (acid strength) สูงพอที่ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดเป็นคาร์บอนแคทไอออนได้ โดยปกติแล้วสามารถทำให้ซีโอไลต์เป็นกรดได้จากการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยแอมโมเนียมแคทไอออน (ammonium cation)



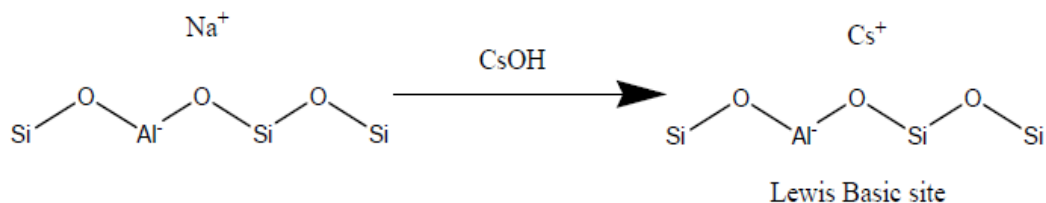
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอมโมเนียมแคทไอออน

ความสามารถในการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ (shape selectivity) ทำให้ซีโอไลต์สามารถควบคุมน้ำหนักของโมเลกุลได้ด้วย เช่น การใช้ H-ZSM-5 ในปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันเตา จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สปิโตรเลียมเหลว โดยมีองค์ประกอบของ propylene และ butylene เป็นผลิตภัณฑ์หลัก แต่ถ้าใช้ H-USY ในปฏิกิริยาเดียวกันจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไลน์

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการ methanol to gasoline (MTG) เป็นอีกปฏิกิริยาที่น่าสนใจ และมีการใช้ซีโอไลต์ในการเร่งปฏิกิริยา [8] โดยเปลี่ยนเมทานอลให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักในช่วงแก๊สไลน์ โดยใช้ H-ZSM-5 เป็นตัวเร่ง และหากใช้ซีโอไลต์ที่มีขนาดรูพรุนใหญ่ ก็จะได้น้ำหนักโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นด้วย นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการขนาดเล็ก อาจใช้ซีโอไลต์ที่มีความแรงของกรดต่ำและรูพรุนขนาดเล็ก โดยที่เมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) เกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ (dimethylether; DME) ก่อน จากนั้นจึงเข้าไปเกิดปฏิกิริยาภายในรูพรุนเปลี่ยนเป็นโอเลฟินซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (oligomerization) และอัลคิลเลชัน (alkylation) กลายเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักสูงขึ้นได้

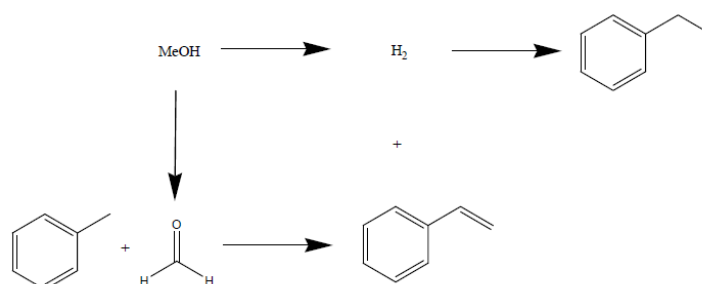
2.7.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (Base catalyst)

ซีโอไลต์ที่มีอัตราส่วนของ Si/Al ต่ำสามารถปรับให้เป็นเบสได้โดยการแลกเปลี่ยนไอออนกับซีเซียมไอออน (Cs^+) หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) โดยตำแหน่งเบส (Basic site) จะเกิดขึ้นที่บนโครงสร้างสะพานออกซิเจน (oxygen bridge)



ภาพที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนไอออนกับซีเซียมไอออน

สไตรีน (Styrene) ถือเป็นมอนอเมอร์ (monomer) ที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งพบว่าเม-ทานอลจะเกิดการสลายตัวเป็นฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ซึ่งทำหน้าที่เป็น alkylating agent จากนั้นสไตรีนจะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเป็นเอทิลเบนซีน (ethylbenzene) โดยใช้ไฮโดรเจนจากการสลายตัวของเมทานอลได้



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเป็นเอทิลเบนซีนจากการสลายตัวของเมทานอล

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวีวรรณ สวัสดิรักษา [5] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันสบู่ดำไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Autoclave เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจำพวกเนฟทาและหาภาวะที่เหมาะสม โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ 390-440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที และร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5-10 ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนคงที่ที่ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (6.8 บรรยากาศ) เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography) พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณเนฟทาสูงสุดคือ อุณหภูมิ 426 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 56 นาที และร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 6.35 ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมันเท่ากับ 58.62 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของเนฟทาเท่ากับ 40.60 และเมื่อทำการทดลองโดยไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันเพิ่มขึ้นเป็น 67.00 และร้อยละผลได้ของเนฟทาลดลงเหลือ 20.20 ดังนั้นแสดงว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยาและร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

บุญยวัศ วุฒิธรรม [6] การแตกตัวของพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ในกระบวนการแบบต่อเนื่อง พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญใช้เป็นวัสดุในงานบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์โฟม ขยะจากผลิตภัณฑ์พอลิสไตรีนจึงมีปริมาณมากและยากต่อการกำจัด การนำมาใช้ใหม่ (recycle) เป็นแนวทางเพื่อลดปัญหา ที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ การแปรรูปขยะพลาสติกกลับไปเป็นสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์อื่นโดยการนำพอลิเมอร์มาผ่านกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา การแตกตัวของพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการศึกษาถึงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ได้แก่ MgO, BaO, Zeolite X และ Zeolite Y เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สไตรีนมอนอเมอร์และสารแอมติกที่มีการเลือกสรรที่ดี โดยความเป็นเบสของโลหะออกไซด์ สามารถปรับปรุงโดยผ่านการกระทำทางความร้อน (heat treatment) ในขณะที่การปรับปรุงความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ สามารถทำได้โดยเพิ่มซีเซียมแคทไอออน (Cs^+) ในการสลายตัวของพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำได้ที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ภายใต้ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้

วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) และกระบวนการแบบต่อเนื่องสามารถทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (fixed bed flow reactor) โดยพอลิโอสไตรีนจะถูกละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ในกระบวนการศึกษาภาวะที่ส่งผลต่อกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการสัมผัส และความเข้มข้นของสารตั้งต้น รวมถึงผลจากการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาและการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

พินดา จิรัฐิติติกาล [7] การแตกโมเลกุลของนอร์มัลออกเทนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ศึกษาการเตรียมซีโอไลต์ชนิด Y (Y-type zeolite) โครงสร้างแบบฟาวจาไซต์ (Faujasite) ในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น NaY, NH₄, HY จากการศึกษาตัวแปรในการเตรียมซึ่งมีอิทธิพลต่อความบริสุทธิ์และความเป็นผลึกสูงของ Y-type พบว่าเงื่อนไขการเตรียมที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วน H₂O/SiO₂ 46.25 โดยโมล; ค่า pH ของของผสมเจล (gel mixture) 13.7; อุณหภูมิการให้ความร้อนแก่เจล (gel preheat temperature) 60 องศาเซลเซียส; เวลาบ่ม (aging time) ที่อุณหภูมิห้อง 16 ชั่วโมง; และตกผลึกที่อุณหภูมิ (crystallization temperature) 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (crystallization time) 48 ชั่วโมง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา HY มีความแรงของกรดมากกว่าของ NH₄Y และ NaY และยังพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา HY มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลนอร์มัลออกเทนที่ดีที่สุด โดยจะให้ค่า YPP (yield per pass) สูงสุดที่สภาวะ 450 องศาเซลเซียส ค่าความเร็วเชิงสเปซ 2,000 ต่อชั่วโมง เป็นเวลา 30 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HY ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเทียบเท่ากับตัวเร่งปฏิกิริยา HY ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

Cinara และคณะ [14] ศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อนและการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันถั่วเหลืองเป็นไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมซึ่งมีความเป็นกรดสูงและราคาถูก ผลการทดลองให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น แอลเคน แอลคีน แอโร-แมติก และสารประกอบออกซิเจนบางส่วน เช่น กรดคาร์บอกซิลิก คีโตน และแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาดีกว่าการสลายตัวด้วยความร้อนมีความเป็นกรดน้อยลง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกใช้ในการแตกตัวขั้นที่สองที่ซึ่งกรดไขมันจะสลายตัวและเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขึ้น

Buzetzi และคณะ [15] ศึกษาการแตกตัวน้ำมันพืชและไขมันสัตว์บนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิล โดยใช้น้ำมันเมดิเตอร์เรเนียน น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันสบู่ดำ รวมไปถึงน้ำมันพืชใช้แล้ว ผลิตภัณฑ์

ที่ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวจะอยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันป้อนเข้า อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 350-440 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทดลอง 20-30 นาที บนตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมวาเยและโคบอลต์ไฮไดรด์ พบว่าชนิดของน้ำมันที่ป้อนเข้าไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

Xu และคณะ [16] ศึกษาปฏิกิริยาไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองแสดงการเกิดของโอเลฟิน พาราฟิน กรดคาร์บอกซิลิกและแอลดีไฮด์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิดเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณกรดคาร์บอกซิลิกและแอลดีไฮด์ลดลงเมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเป็นกรดต่ำจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและการละลายในน้ำมันดีเซลที่ดี และแสดงให้เห็นว่าไพโรไลซิสจากน้ำมันถั่วเหลืองสามารถผลิตเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม

Xu และคณะ [17] ศึกษาไตรกลีเซอไรด์จากสัตว์และพืชเพื่อการพัฒนา น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรและมีคุณภาพที่สูงปราศจากไนโตรเจนและกำมะถัน โดยศึกษาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและค่าความเป็นกรดของดีเซลและเบนซินที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมัน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบสให้ผลิตภัณฑ์ขั้นพื้นฐานที่มีความเป็นกรดต่ำ นอกจากนี้ยังมีการใช้แอลกอฮอล์เข้าร่วมทำปฏิกิริยา เพื่อลดค่าความเป็นกรदन้ำมันที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแล้วเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหล่านี้นี้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพที่และทางเคมีเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของเชื้อเพลิงดีเซลธรรมดา พบว่ากระบวนการเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์เป็นทางเลือกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่จากน้ำมันถั่วเหลืองที่มีสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม

Ersan [18] ศึกษาการนำเมล็ดฝ้ายมาไพโรไลซิสในถังปฏิกรณ์คงที่ภายใต้การไหลของก๊าซไนโตรเจน (N_2) ที่อุณหภูมิไพโรไลซิสแตกต่างกัน ในภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผลผลิตน้ำมันชีวภาพที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 48.30 ที่ 550 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 200 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ดีที่สุดมาใช้ศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ ปริมาณต่างๆกัน คือ 5 10 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของวัตถุดิบที่ป้อนเข้า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพที่ลดลงแต่จะเพิ่มคุณภาพในด้านค่าความร้อน กระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและการกำจัดของกลุ่มออกซิเจน และพบว่า

การเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สัดส่วนของน้ำมันลดลงในขณะที่ส่วนของก๊าซและถ่านชาร์เพิ่มขึ้น น้ำมันที่ได้จะถูกแยกออกเป็นส่วนอะลิฟาติก แอโรแมติก และส่วนที่มีซัลฟิว การวิเคราะห์หาธาตุต่างๆด้วยเทคนิค FT-IR และ H-NMR และเทคนิค GC-MS พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าช่วงของดีเซล

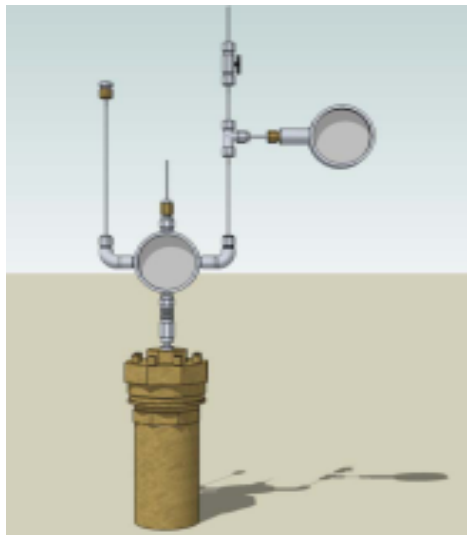
บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยเป็นการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่เหมาะสม

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

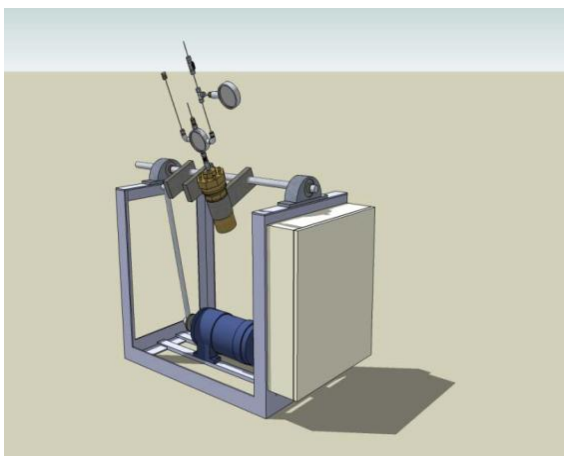
1. เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 พร้อมฝาปิดด้านบนซึ่งต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์สำหรับป้องกันความดันแก๊สไฮโดรเจน และวาล์วนิรภัยที่ใช้ควบคุมการเติมเข้าและปล่อยออกของแก๊ส สามารถทนความร้อนได้สูงมากกว่า 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล บริเวณด้านบนมีช่องเสียบเทอร์โมคัปเปิลสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง



ภาพที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

2. ชุดควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง (temperature controller) ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดให้ความร้อนที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ สามารถตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อได้อุณหภูมิสูงถึงตามค่าที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3. ขดลวดความร้อนที่ใช้เป็นแบบ Injection แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 400 วัตต์ ขดเป็นรูปทรงกระบอกใช้สวมเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ในการให้ความร้อน
4. เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นแบบเค (K-type) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร
5. ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ มีมอเตอร์ขับเคลื่อนแกนหมุนให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการแกว่ง สามารถปรับความเร็วรอบการแกว่งได้จากชุดควบคุมความเร็ว



ภาพที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

6. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศ สำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็งผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรอง



ภาพที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ

7. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดตศนิยม 2 ตำแหน่ง
8. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดตศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. นาฬิกาจับเวลา
10. ตู้อบ (oven)
11. เครื่องแก้ว
12. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (simulated distillation gas chromatography) สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (simulated distillation gas chromatography)

13. เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่างแต่ละชนิด เมื่อมีการยิงรังสีจากหลอดรังสีเอกซ์ ไปยังชิ้นงาน จะทำให้อิเล็กตรอนวงโคจรชั้นใน คือ ชั้น K, L หรือ M หลุดจากอะตอม อะตอมจะอยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียร อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า จะเข้าไปแทนที่และปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ โดยพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถแยกได้ว่าตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ detector วัดค่าพลังงานที่ออกมา



ภาพที่ 3.5 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)

14. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (BET surface area)

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สที่พื้นผิวดูดซับเอาไว้ลงบนผิวสารตัวอย่าง โดยใช้แก๊สไนโตรเจน โดยวัดที่อุณหภูมิจุดเดือดของแก๊สไนโตรเจน (ประมาณ -196 องศาเซลเซียส) ก่อนการวัดจะต้องไล่แก๊สที่ไม่ใช่แก๊สไนโตรเจนที่มีจุดเดือดสูงกว่าไนโตรเจน (เช่น ออกซิเจนและน้ำ) ออกจากพื้นผิวทั้งหมด จากนั้นจึงให้พื้นผิวทำการดูดซับแก๊สไนโตรเจน แล้ววัดว่าพื้นผิวดูดซับแก๊สได้เท่าไร โดยดูจากปริมาณแก๊สที่หายไปตอนป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าหรือจากปริมาณแก๊สที่คายออกมาตอนไล่แก๊สออกด้วยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ดังนั้นในการวิเคราะห์จะมีข้อมูลในระหว่างการดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) ปริมาตรแก๊สที่ถูกดูดซับหรือคายซับสามารถนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่ผิว รวมถึงการดูดซับและการคายซับที่ความดันต่างๆ จะนำมาใช้คำนวณขนาดรูพรุน โดยนำมาเข้าสู่ตรรกกรรมของ BET



ภาพที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (BET surface area)

15. เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ใช้วิเคราะห์หาชนิดองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ เฟสนิ่ง (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) จากนั้นจะมีเครื่องตรวจจับ (detector) ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่

มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างในขั้นแรกจะถูกไอออไนซ์ในสภาวะสูญญากาศ ตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิงและแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ



ภาพที่ 3.7 เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) รุ่น A SHIMADZU GC-MS QP2010

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.2.1 น้ำมันเมล็ดเรพจากประเทศจีน บรรจุในแกลลอนพลาสติกปริมาณ 5 ลิตร เก็บในตู้เก็บสารเคมีซึ่งเป็นที่ปิดแสง

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

3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาและแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 99.9% จากบริษัท Earth Chem lab LTD., Part. และตัวเร่งปฏิกิริยาเฟสซีซีใช้แล้ว จากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.2.4 Toluene (Commercial grade ที่มีความบริสุทธิ์ 80%) ของบริษัท Merck

3.3 การดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

- การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันเมล็ดเรพ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันเมล็ดเรพก่อนและหลังการทดลอง ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (simulated distillation) วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

อย่างละเอียด โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และวิเคราะห์คุณสมบัติที่ใช้ในการสลายตัวด้วยความร้อนด้วยเทคนิค TGA

- การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดโดยเทคนิค (BET surface area)

2. ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ โดยออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลสองระดับ โดยมีตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมด 4 ตัวแปร คือ คุณสมบัติที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

3. ศึกษาหาช่วงภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี

ตัวแปร	ระดับ	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A คุณสมบัติ (องศาเซลเซียส)	380	450
B เวลา (นาที)	30	60
C ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
D ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	1	10

ตารางที่ 3.2 การทดลองแฟกทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี

ภาวะที่ใช้ทดลอง			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (นาที)	ความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
380	30	1	1
450	30	1	1
380	60	1	1
450	60	1	1
380	30	5	1
450	30	5	1
380	60	5	1
450	60	5	1
380	30	1	10
450	30	1	10
380	60	1	10
450	60	1	10
380	30	5	10
450	30	5	10
380	60	5	10
450	60	5	10
415	45	3	5.5
415	45	3	5.5
415	45	3	5.5

4. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้หลังจากการทดลอง

- วิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว
- วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ

ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ชั่งน้ำมันเมล็ดเรพจำนวน 20 กรัมพร้อมกับเครื่องปฏิกรณ์ และชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือเอพซีซี

3.4.2 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงในในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์จากนั้นประกอบปิดฝาให้เรียบร้อย

3.4.3 นำเครื่องปฏิกรณ์ไปทำการไล่อากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจนเข้าไป จากนั้นอัดแก๊สไฮโดรเจนจนถึงความดันที่กำหนด ตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สตามข้อต่อของเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้น้ำสบู่ จากนั้นจึงหมุนวาล์วปิด

3.4.4 ต่อเครื่องปฏิกรณ์เข้ากับชุดควบคุม และสวมอุปกรณ์ขดลวดความร้อนเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างทำการทดลอง และเสียบเทอร์มิคัพเปิดเข้าภายในเครื่องปฏิกรณ์

3.4.5 ทำการทดลองตามภาวะที่กำหนดไว้ โดยเริ่มทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ตามกำหนดจนครบเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จึงนำฉนวนและขดลวดให้ความร้อนออก ปลดยั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง จึงปลดยั้งแก๊สภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก และทำการเก็บแก๊สไว้ในถุงเก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.4.6 แยกผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวออกจากกากของแข็ง โดยการกรองแบบสุญญากาศ และใช้กระดาษกรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวเก็บไว้ในขวดแก้ว เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.7 ล้างเครื่องปฏิกรณ์ด้วยสารละลายโทลูอีน เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษซับที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว นำส่วนที่เป็นของแข็งและกระดาษซับไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อกำหนดหาร้อยละของของแข็งต่อไป

3.4.8 นำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นเพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายขององค์ประกอบตามคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิและวิเคราะห์ชนิดองค์ประกอบที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.4.9 คำนวณหาร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว

ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (% oil yield)

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

ร้อยละผลได้ แนฟทา/ดีเซล ทั้งหมด (% overall gasoline yield)

$$= \text{ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว} \times \text{ร้อยละผลได้ของ แนฟทา / ดีเซล}$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยเป็นการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพ

4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพ

องค์ประกอบของกรดไขมัน	กรัม/100 มิลลิลิตร
Myristic acid C14:0	0.05
Palmitic acid C16:0	3.78
Heptadecanoic acid C17:0	0.03
Stearic acid C18:0	1.32
Arachidic acid C20:0	0.58
Lignoceric acid C24:0	0.15
Total saturated fatty acid	5.91
Palmitoleic acid C16:1 n-7	0.17
Cis-10-Heptadecenoic acid C17:1	0.10
Cis-9-Octadecenoic acid C18:1 n-9	40.67
Cis-9,12-Octadecadienoic acid C18:2 n-6	14.95
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid C18:3 n-3	7.92
Cis-11-Eicosenoic acid C20:1 n-9	7.60
Cis-11,14-Eicosadienoic acid C20:2 n-6	0.24
Cis-13-Docosenoic acid C22:1 n-9	21.00
Cis-13,16-Docosadienoic acid C22:2	0.16

ตารางที่ 4.1(ต่อ) องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพ

องค์ประกอบของกรดไขมัน	กรัม/100 มิลลิลิตร
Cis-15-Tetracosenoic acid C24:1	0.45
Total unsaturated fatty acid	93.26
Unidentified peak	0.83

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเรพพบว่ามีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันเมล็ดเรพ 5.91 กรัม/100 มิลลิลิตร และมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันเมล็ดเรพอยู่สูงถึง 93.26 กรัม/100 มิลลิลิตร โดยพบองค์ประกอบของ Octadecenoic acid (C: 18) ในปริมาณมากที่สุด แสดงว่า น้ำมันเมล็ดเรพมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก การนำน้ำมันเมล็ดเรพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องยนต์จึงไม่เหมาะสม จึงควรที่จะนำมาปรับปรุงผ่านทางกระบวนการต่างๆก่อนนำไปใช้งาน

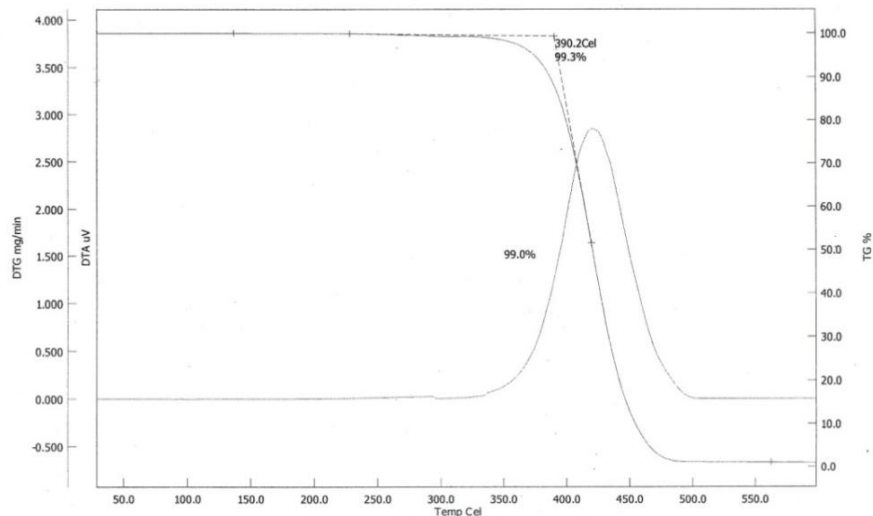
4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่นก่อนทำการทดลอง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพก่อนทำการทดลอง

จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก
IBP - 200	Naphtha (C ₅ - C ₁₂)	4.00
200 - 250	Kerosene (C ₁₂ - C ₁₅)	1.00
250 - 350	Light gas oil (C ₁₅ - C ₂₅)	1.50
350 - 370	Gas oil (C ₂₅ - C ₃₃)	1.17
370 - FBP	Long Residue (>C ₃₃)	92.33

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพก่อนนำไปผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาจะพบว่ามีปริมาณองค์ประกอบในส่วนที่เป็นกาน้ำมันสูงที่สุด โดยพบสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 92.33 และพบสัดส่วนของแนฟทาและดีเซลเพียงร้อยละ 4.00 และ 1.50 ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันเมล็ดเรพก่อนการทดลองมีองค์ประกอบที่ของโมเลกุลขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลทำให้มีความหนืดที่สูงและไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

4.1.3 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเทคนิค Temperature Gravimetric Analysis (TGA)

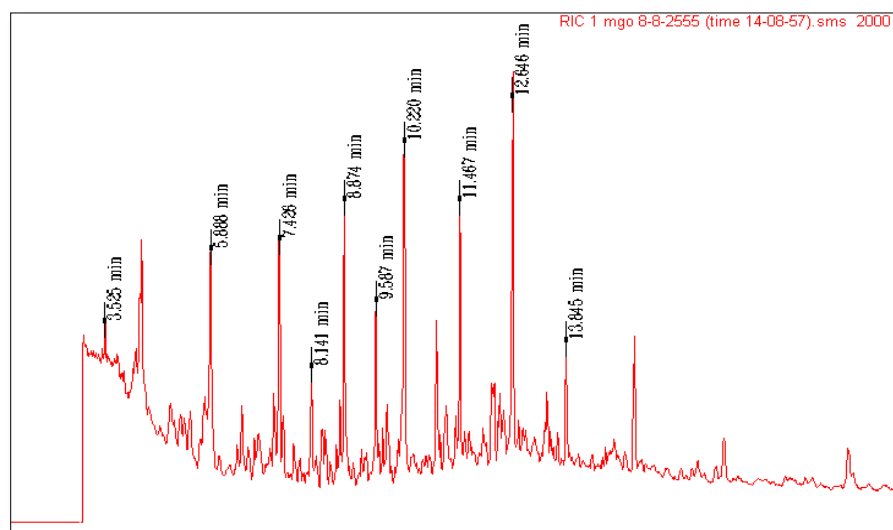


ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันเมล็ดเรพ

ภาพที่ 4.1 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิที่น้ำมันเมล็ดเรพมีการสลายตัวสูงที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 390.2 องศาเซลเซียส

4.1.4 การวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดเรพด้วยเทคนิค GC-MS

การวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดเรพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS: QP2010)

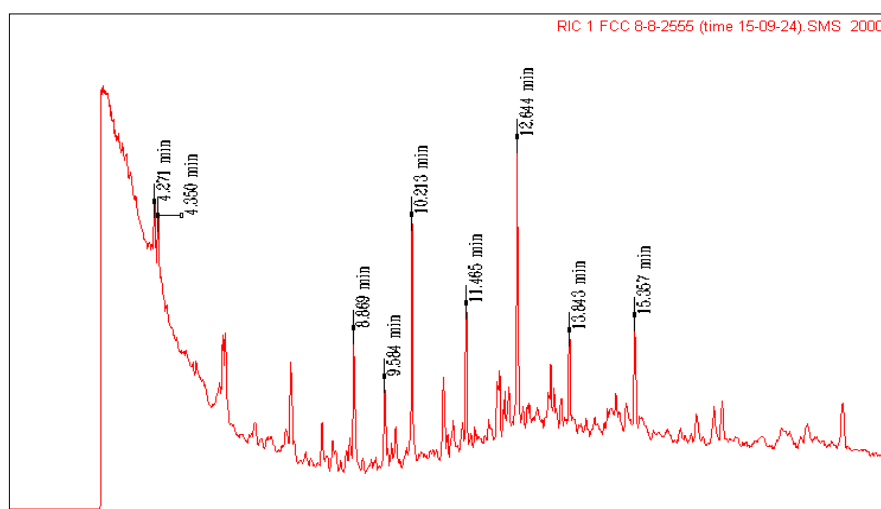


ภาพที่ 4.2 องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังจากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

พีค	องค์ประกอบ	สูตรเคมี
5.888	1-Octanol, 2-butyl-	$C_{12}H_{26}O$
7.426	Hexyl octyl ether	$C_{14}H_{30}O$
8.141	1-Hexadecanol	$C_{16}H_{34}O$
8.874	Nonadecane	$C_{19}H_{40}$
9.587	Z-5-Nonadecene	$C_{19}H_{38}$
10.220	Heptacosane	$C_{27}H_{56}$
11.467	Cyclooctacosane	$C_{28}H_{56}$
12.646	Hentriacontane	$C_{31}H_{64}$
13.845	1-Hentetracontanol	$C_{41}H_{84}O$

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่ามีองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังจากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ จะพบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลกอฮอล์ แอลเคนและบางส่วนจะเป็นประเภทแอลคีน



ภาพที่ 4.3 องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังจากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

พีค	องค์ประกอบ	สูตรเคมี
4.271	Undecane, 3,5-dimethyl-	$C_{13}H_{28}$
4.350	Tetradecane	$C_{14}H_{30}$
8.869	2-Hexyl-1-octanol	$C_{14}H_{30}O$
9.584	Cyclopentane, decyl-	$C_{15}H_{30}$
10.213	Heptadecane	$C_{17}H_{36}$
11.465	1-Octadecane	$C_{18}H_{36}$
12.644	Pentatriacontane	$C_{35}H_{72}$
13.843	1-Hentetracontanol	$C_{41}H_{84}O$
15.357	Tetracontane	$C_{43}H_{88}$

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ามีองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพหลังผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีพบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลเคนเป็นส่วนใหญ่ และนอกจากนี้ยังพบสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์อีกด้วย

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 เมื่อเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน เนื่องจากทำการทดลองที่ภาวะใกล้เคียงกัน แต่จะเห็นข้อแตกต่างกันเล็กน้อยคือ เมื่อเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีองค์ประกอบที่อิมตัวมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ยังคงพบสารประกอบในกลุ่มแอลคีนปะปนอยู่ด้วย เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเอพซีซีสามารถเกิดไฮโดรไอออนได้ดีกว่า ทำให้มีโอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบบริเวณพันธะคู่ที่ไม่อิมตัวได้

4.1.5 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 25 องศา-เซลเซียส

ชนิดน้ำมัน	ค่าความร้อน (KJ/Kg)
- น้ำมันเมล็ดเรพตั้งต้นก่อนการทดลอง	40,019
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงตัวเร่งของน้ำมันเมล็ดเรพบน MgO	40,222
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงตัวเร่งของน้ำมันเมล็ดเรพบน FCC	40,470

ตาราง 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนพบว่าค่าความร้อนของน้ำมันก่อนทำการทดลองมีค่าสูงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล และเมื่อผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมด้วยจะทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นเล็กน้อย

4.1.6 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHNO (CHNO Analysis)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบธาตุ CHNO ของน้ำมันเมล็ดเรพด้วยเครื่อง CHNO Analysis

ชนิดน้ำมัน	N	C	H	O
- น้ำมันเมล็ดเรพตั้งต้นก่อนการทดลอง	<LOQ	74.76	12.46	12.78
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงเร่งตัวของน้ำมันเมล็ดเรพบน MgO	<LOQ	84.28	12.86	2.87
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงเร่งตัวของน้ำมันเมล็ดเรพบน FCC	<LOQ	82.74	12.08	5.18

ตารางที่ 4.6 แสดงองค์ประกอบธาตุ CHNO พบว่าปริมาณคาร์บอนของน้ำมันตั้งต้นมีปริมาณต่ำลงแต่ปริมาณออกซิเจนสูงขึ้น เมื่อเทียบกับภาวะที่ผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาแล้ว ทั้งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอฟซีซี เนื่องจากเมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันในน้ำมันพืชตั้งต้นทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดน้อยลง แต่สัดส่วนของไฮโดรเจนทั้งก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยายังคงใกล้เคียงกัน

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอฟซีซีด้วยเทคนิค XRF

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF

Magnesium oxide (Element)	Compound	Concentration (%weight)
Mg	MgO	97.31
Si	SiO ₂	0.13
P	P ₂ O ₅	0.38
S	SO ₃	1.58

ตารางที่ 4.7(ต่อ) องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF

Magnesium oxide (Element)	Compound	Concentration (%weight)
K	K ₂ O	0.23
Ca	CaO	0.68
Sr	SrO	0.03

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณธาตุแมกนีเซียมร้อยละ 97.31

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีด้วยเทคนิค XRF

Element	% weight
Na	0.312
Al	40.304
Si	42.031
P	0.202
S	0.490
K	0.240
Ca	0.370
Ti	3.081
V	0.342
Mn	0.192
Fe	3.285
Ni	1.270
Cu	0.108
Zn	0.072
La	7.056
Ce	0.644

ตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณธาตุซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่โดยพบร้อยละ 42.031 และ 40.304 ตามลำดับ จึงสามารถคาดเดาได้ว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิดหนึ่ง

4.2.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซีด้วยเทคนิค BET

ตารางที่ 4.9 พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)
แมกนีเซียมออกไซด์	89.00	0.076

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ 89 ตารางเมตรต่อกรัมและปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.076 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

ตารางที่ 4.10 พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)
เอพซีซีใช้แล้ว	103.65	0.15

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ 103.65 ตารางเมตรต่อกรัมและปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

ตาราง 4.9 และ 4.10 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีมีพื้นที่ผิวรูพรุนและปริมาตรรูพรุนในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ดังนั้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีจึงมีโอกาสทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันเมลต์เรพได้มากกว่า

4.3 การกำหนดภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ช่วงอุณหภูมิ 380-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และ

เอพซีซีที่ปริมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้าการเลือกใช้ภาวะต่างๆในการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

- **อุณหภูมิในการทดลอง**

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเลือกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิที่น้ำมันเมล็ดเรพมีการสลายตัวสูงสุด คือ ที่อุณหภูมิ 390.2 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการทดลองจึงควรเลือกพิจารณาอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าและสูงกว่าอุณหภูมิดังกล่าว เพื่อสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จึงเลือกอุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่า 380 องศาเซลเซียส จะพบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นมีลักษณะข้นและความหนืดสูง แต่เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า 450 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันเกิดในปริมาณที่ลดน้อยลงเนื่องจากบางส่วนที่กลายเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ

- **เวลาในการทำปฏิกิริยา**

ช่วงเวลา 30-60 นาที เพื่อสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว เหตุผลที่ไม่กำหนดเวลาที่ใช้ในการทดลองมากกว่า 60 นาที เนื่องจากจะพบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันเกิดในปริมาณที่ลดน้อยลงเนื่องจากบางส่วนที่กลายเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ

- **ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น**

ช่วงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ เนื่องจากการเติมแก๊สไฮโดรเจนมากเกินไปจะไปส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวได้ดีขึ้นทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นโมเลกุลแก๊สมาก และยังต้องคำนึงถึงแก๊สที่เกิดขึ้นภายในระบบเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์มีความดันแก๊สภายในสูงได้ ในการทดลองจึงต้องกำหนดช่วงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นให้อยู่ในขอบเขตที่จำกัด

- **ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา**

ช่วงปริมาณร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาททำให้การเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้ดีขึ้น มีสมบัติการเลือกจำเพาะสูงทำให้เลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบตามต้องการได้ แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นโมเลกุลแก๊สซึ่งถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการและยังเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซีซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเบสและกรดตามลำดับ โดยปกติแล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดนิยมนำมาใช้ในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาผ่านคาร์บอนเนียมไอออนได้ดี ทำให้มีโอกาสในการแตกออกของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงได้ดี เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี ซึ่งเป็นซีโอไลต์ชนิดหนึ่ง นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการ

ควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย ซึ่งตัวเร่งเอพซีซีทำให้เกิดการเลือกจำเพาะเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มแนฟทา แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีค่าความเป็นกรดสูง ดังนั้นจึงเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งเบสมาศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเบสสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนกรดไขมันในน้ำมันพืช เกิดเป็นเกลือโลหะขึ้นจึงทำให้ลดค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์น้ำมันลงได้

4.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลว

4.4.1 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยออกแบบการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 49.75 – 69.51 โดยน้ำหนัก

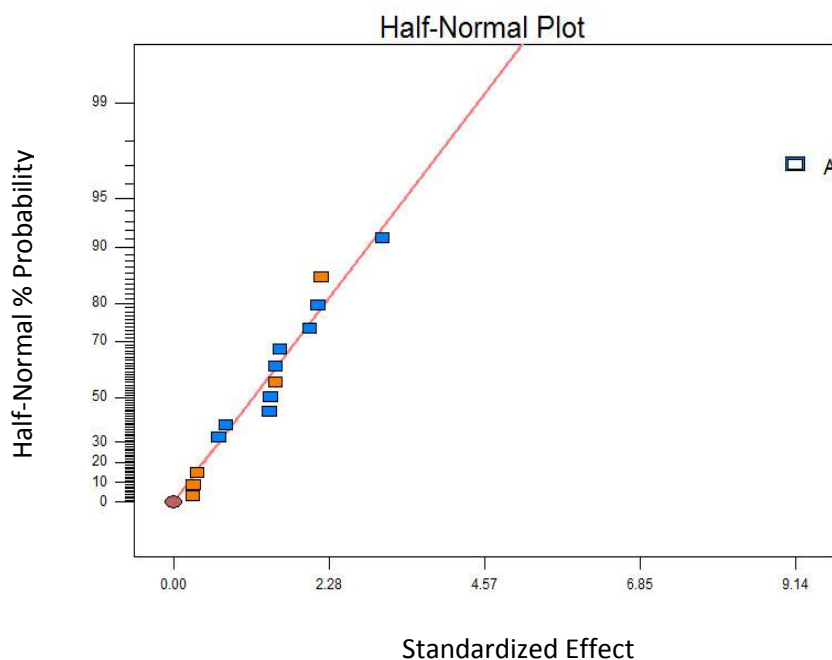
4.4.1.1 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้

ตารางที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	63.71
2	450	30	1	1	57.85
3	380	60	1	1	61.95
4	450	60	1	1	52.15
5	380	30	5	1	69.51

ตารางที่ 4.11(ต่อ) ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
6	450	30	5	1	56.52
7	380	60	5	1	62.03
8	450	60	5	1	56.79
9	380	30	1	10	60.51
10	450	30	1	10	58.15
11	380	60	1	10	65.81
12	450	60	1	10	52.92
13	380	30	5	10	60.42
14	450	30	5	10	53.56
15	380	60	5	10	66.85
16	450	60	5	10	44.77
17	415	45	3	5.5	61.96
18	415	45	3	5.5	58.27
19	415	45	3	5.5	56.73



ภาพที่ 4.4 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.11 นำมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ภาพที่ 4.4 พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ (A) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยอุณหภูมิมีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ปัจจัยอุณหภูมามีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

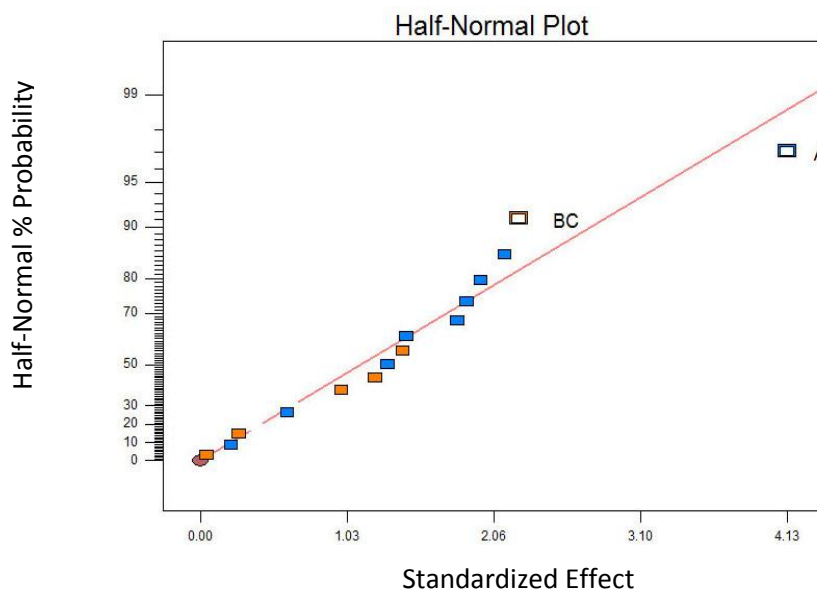
ตารางที่ 4.12 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	334.095	1	334.095	34.679	< 0.0001
A	334.095	1	334.095	34.679	< 0.0001
Pure Error	14.472	2	7.236		
Cor Total	488.457	18			

4.4.1.2 ร้อยละผลได้ของแนฟทา

ตารางที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้แนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	31.22
2	450	30	1	1	18.80
3	380	60	1	1	20.44
4	450	60	1	1	17.47
5	380	30	5	1	22.94
6	450	30	5	1	18.65
7	380	60	5	1	21.71
8	450	60	5	1	21.58
9	380	30	1	10	22.99
10	450	30	1	10	20.35
11	380	60	1	10	19.09
12	450	60	1	10	18.52
13	380	30	5	10	19.34
14	450	30	5	10	18.21
15	380	60	5	10	23.40
16	450	60	5	10	14.33
17	415	45	3	5.5	26.64
18	415	45	3	5.5	23.89
19	415	45	3	5.5	20.42



ภาพที่ 4.5 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.13 นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ภาพที่ 4.5 พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ (A) และปัจจัยอัตราการกวนระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (BC) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ทั้งสองปัจจัยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

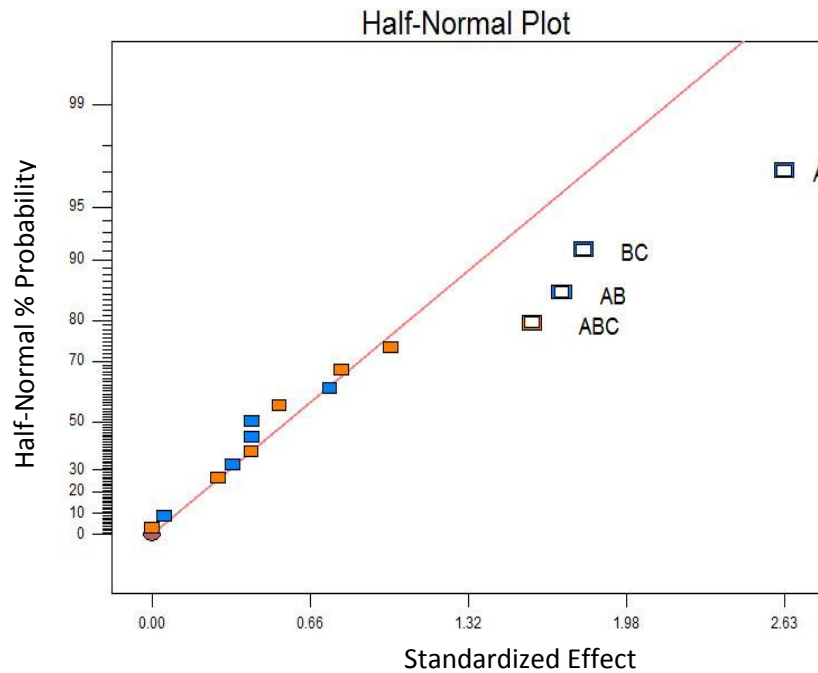
ตารางที่ 4.14 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	133.923	4	33.481	24.108	< 0.0001
A	69.394	1	69.394	49.967	< 0.0001
B	16.149	1	16.149	11.628	0.0042
C	4.893	1	4.893	3.523	0.0815
BC	24.045	1	24.045	17.313	< 0.0001
Pure Error	19.443	14	1.389		
Cor Total	133.923	18			

4.4.1.3 ร้อยละผลได้ของดีเซล

ตารางที่ 4.15 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้ดีเซล (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	14.02
2	450	30	1	1	16.78
3	380	60	1	1	20.44
4	450	60	1	1	14.08
5	380	30	5	1	19.11
6	450	30	5	1	16.39
7	380	60	5	1	16.75
8	450	60	5	1	15.90
9	380	30	1	10	15.73
10	450	30	1	10	15.12
11	380	60	1	10	21.06
12	450	60	1	10	16.40
13	380	30	5	10	18.13
14	450	30	5	10	16.07
15	380	60	5	10	18.72
16	450	60	5	10	13.43
17	415	45	3	5.5	15.49
18	415	45	3	5.5	16.90
19	415	45	3	5.5	17.59



ภาพที่ 4.6 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

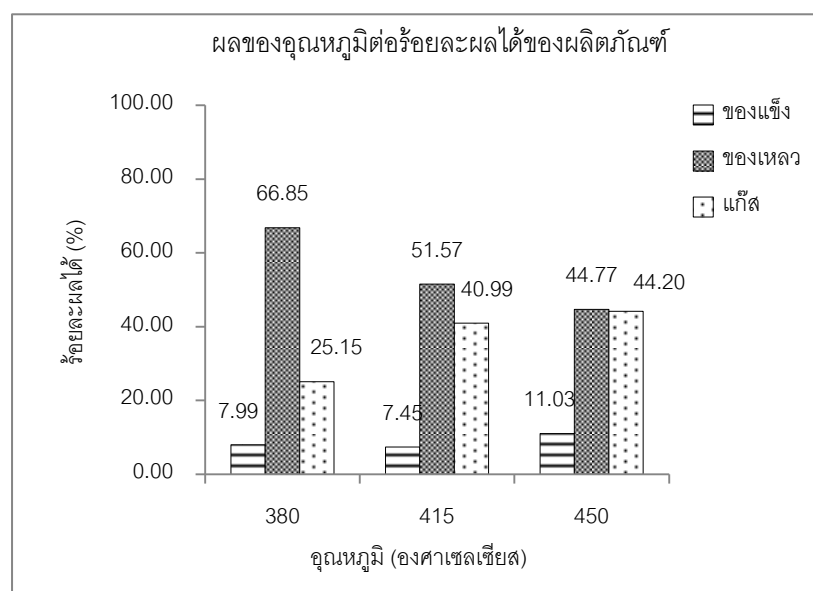
ข้อมูลตารางที่ 4.15 นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ภาพที่ 4.6 พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ (A), ปัจจัยอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (AB), ปัจจัยอันตรกิริยาระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (BC) และปัจจัยอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิ, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (ABC) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งสี่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ทั้งสองปัจจัยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

ตารางที่ 4.16 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

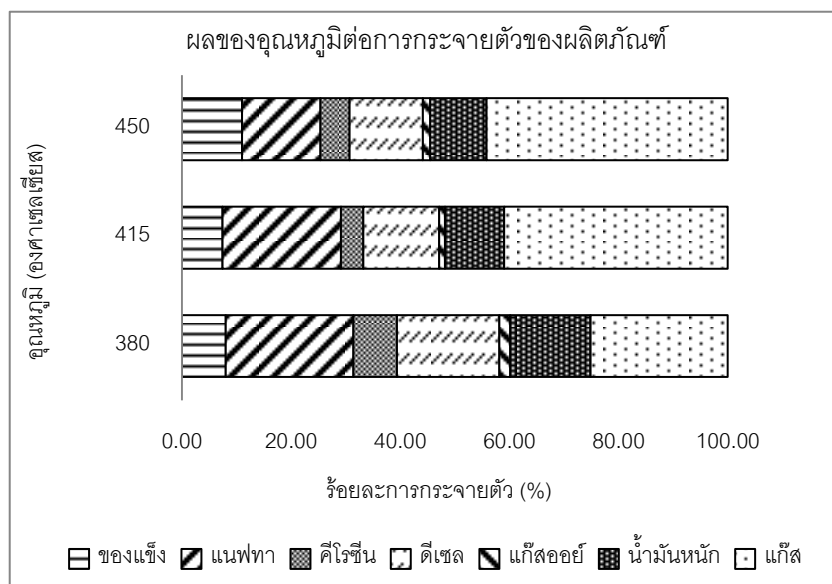
Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	67.148	6	11.191	58.881	< 0.0001
A	27.750	1	27.750	146.002	< 0.0001
B	2.484	1	2.484	13.071	0.0035
C	0.011	1	0.011	0.057	0.8156
AB	11.651	1	11.651	61.299	< 0.0001
BC	12.935	1	12.935	68.053	< 0.0001
ABC	10.036	1	10.036	52.802	< 0.0001
Pure error	2.281	12	0.190		
Cor total	67.148	18			

4.4.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ด

เรพ



ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส เวลาการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

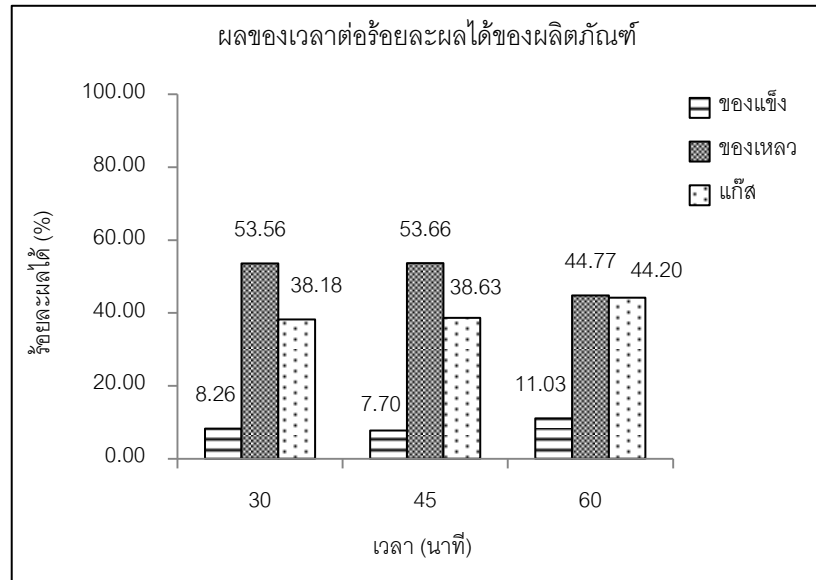


ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

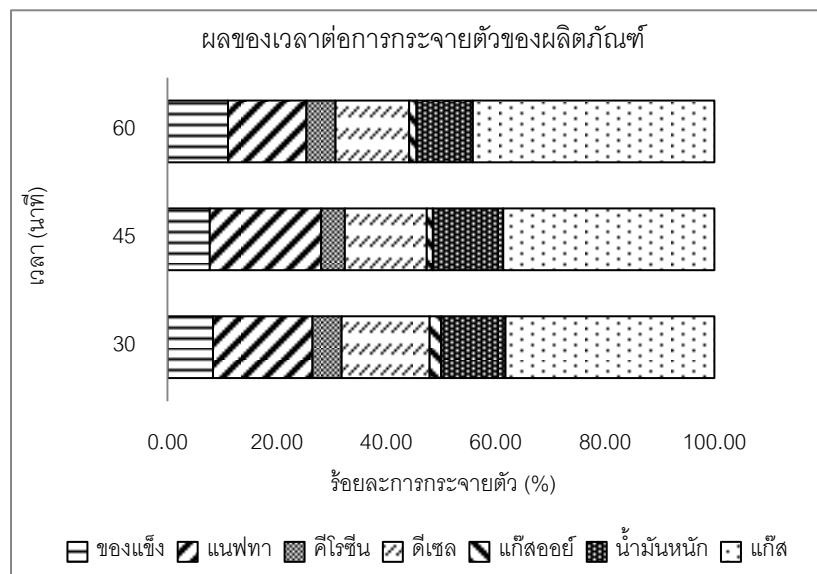
ภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 380 เป็น 415 และ 450 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 66.85 เป็น 51.57 และ 44.77 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มทำให้การแตกตัวโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เกิดการแตกตัวเป็นสายโซ่ขนาดเล็กได้มากจึงส่งผลให้ได้แก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ได้รับร้อยละผลิตภัณฑ์แนพทาลดลงจากร้อยละ 23.40 เป็น 21.66 และ 15.92 ตามลำดับ เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมิมีผลต่อการแตกตัวอย่างมาก โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดเป็นเรดิเคิลต่อเนื่องทำให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลง ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางต่อไป แต่เมื่อพิจารณาร้อยละผลิตภัณฑ์คีโรซีนและน้ำมันหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขั้นแรกจะทำให้ร้อยละที่เกิดขึ้นลดลงแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นต่อไปทำให้ร้อยละที่เกิดขึ้นลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมาก อาจทำให้เรดิเคิลในระดับเกิดความไม่เสถียรและอาจเกิดการรวมกันในปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้และปฏิกิริยาดำเนินต่อไปโดยอิทธิพลของอุณหภูมิจึงส่งเสริมการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กต่อเนื่องไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับร้อยละ

ผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลงจากร้อยละ 18.72 เป็น 13.92 และ 14.92 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.1.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ



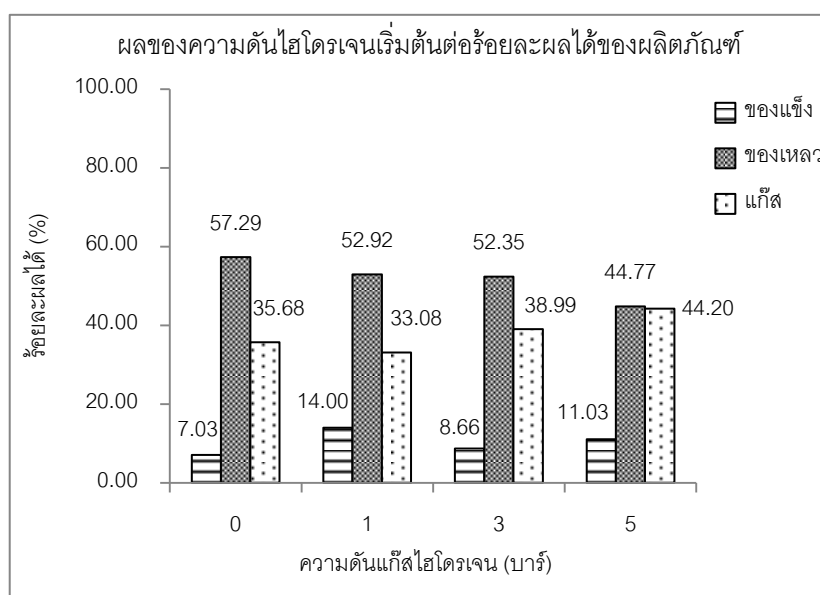
ภาพที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพ ในช่วงเวลาดำเนินปฏิกิริยา 30-60 นาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า



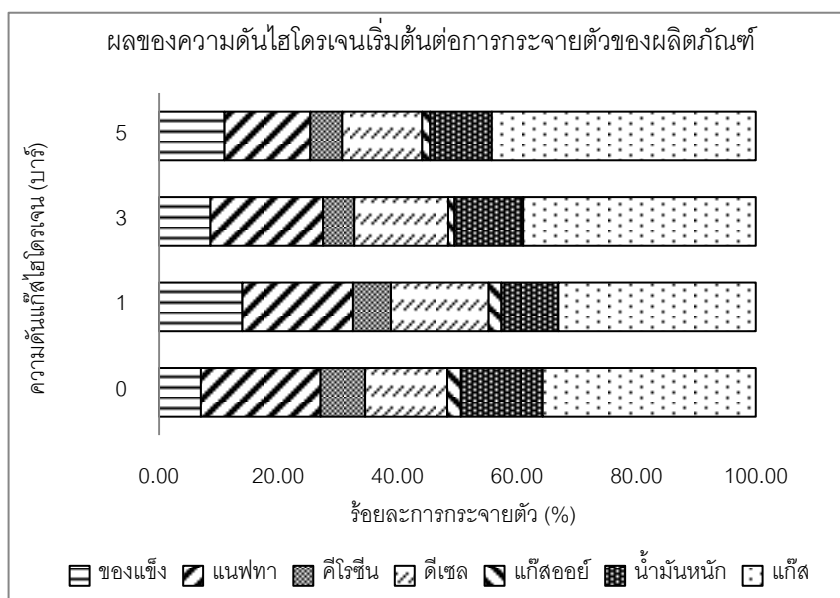
ภาพที่ 4.10 ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพในช่วงเวลาดำเนินปฏิกิริยา 30-60 นาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 น้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

ภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 30 เป็น 45 และ 60 นาที จะได้รับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวแนวโน้มลดลงจาก 53.56 เป็น 53.66 และ 44.77 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานานมีการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นช่วงแรกได้รับร้อยละผลิตภัณฑ์เนฟทาเพิ่มจากร้อยละ 18.21 เป็น 22.54 เพราะมีเวลามากพอทำให้เกิดปฏิกิริยาแยกสลายได้ทั่วถึง อุณหภูมิมีอิทธิพลทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนลักษณะสายโซ่ยาวและซับซ้อนแตกตัวไปเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็ก แต่เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 60 นาที อิทธิพลของอุณหภูมียังมีผลมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนจึงทำให้เกิดเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรคาร์บอน ร้อยละผลิตภัณฑ์เนฟทาจึงลดลงเหลือ 15.92 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงจากร้อยละ 16.07 เป็น 15.03 และ 14.92 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.1.6 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ



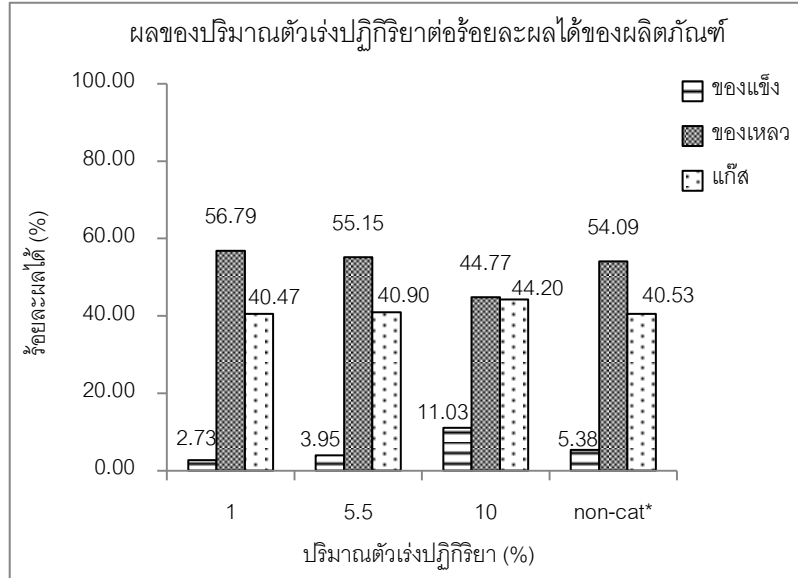
ภาพที่ 4.11 ผลความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลาใน 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า



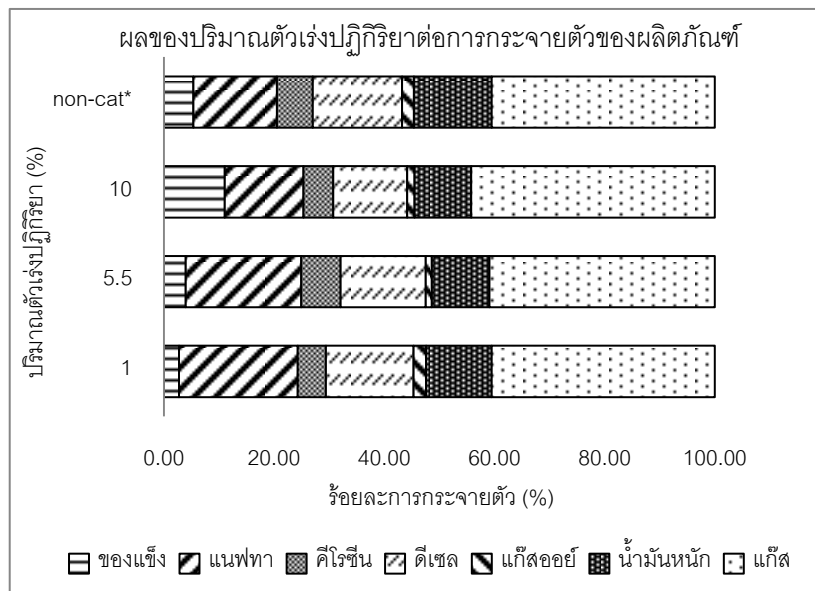
ภาพที่ 4.12 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

ภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จาก 1 เป็น 3 และ 5 บาร์ จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวมีแนวโน้มลดลงจาก 52.92 เป็น 52.35 และ 44.77 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ไม่เติมความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น พบความต่างชัดเจนขึ้น โดยพบร้อยละของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 57.29 เนื่องจากการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนในการส่งเสริมการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (hydrocracking) และปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ทำให้เกิดความอิ่มตัวของแอมโมเนีย การเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปจนถึง 5 บาร์ จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมาก และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ร้อยละผลิตภัณฑ์แนฟทามีแนวโน้มลดลงจาก 18.52 เป็น 18.85 และ 15.92 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นมีแนวโน้มที่ลดลงจาก 16.40 เป็น 15.71 และ 14.92 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.1.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ



ภาพที่ 4.13 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



ภาพที่ 4.14 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*)

ภาพที่ 4.13 และ 4.14 แสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา จากร้อยละ 1 เป็น 5.5 และ 10 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ลดลงจาก 56.79 เป็น 55.15 และ 44.77 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยจะมีร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สจะเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะพบความแตกต่างชัดเจน เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีประสิทธิภาพที่ในการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้ดี นอกจากนี้เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของแข็งที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 10 % จะพบว่าปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากจะทำให้พื้นที่ผิวรูพรุนในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น และทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงจึงมีโอกาสเกิดโค้กมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ พบว่าเมื่อเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละผลิตภัณฑ์แนฟตามีแนวโน้มลดลงจาก 21.58 เป็น 20.96 และ 14.33 โดยน้ำหนักตามลำดับ เช่นเดียวกันกับร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงจากร้อยละ 15.90 เป็น 15.44 และ 13.43 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละของน้ำมันหนักที่พบในเชื้อเพลิงเหลวลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์แนฟทาและดีเซลจะไม่ขึ้นกับปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่าใดนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสมจะมีพื้นที่ผิวหรือบริเวณเร่งปฏิกิริยาที่เพียงพอสำหรับน้ำมันตั้งต้นแล้ว ดังนั้นการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์

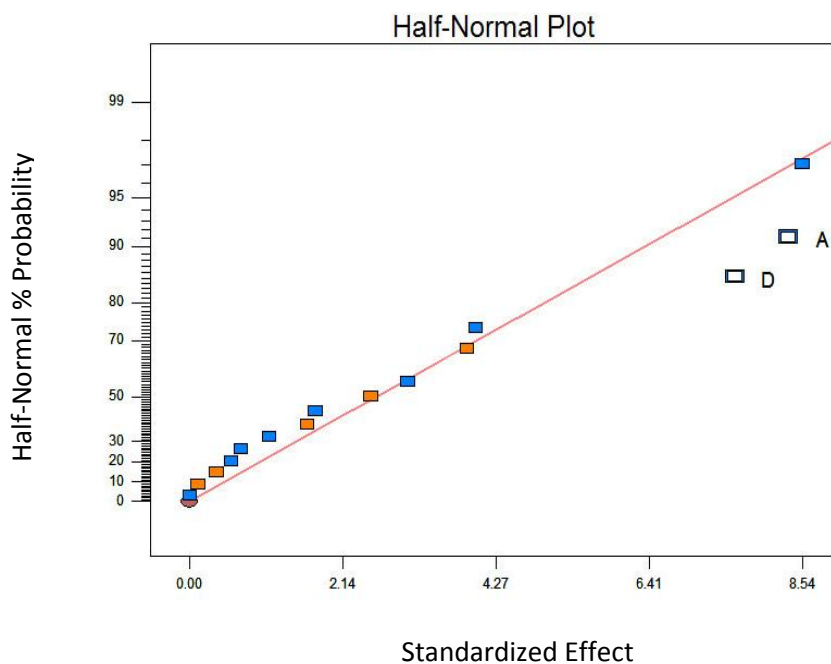
4.4.2 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยออกแบบการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากตารางที่ แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 51.06 – 77.94 โดยน้ำหนัก

4.4.2.1 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้

ตารางที่ 4.17 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	77.94
2	450	30	1	1	76.53
3	380	60	1	1	66.09
4	450	60	1	1	61.16
5	380	30	5	1	77.53
6	450	30	5	1	62.13
7	380	60	5	1	67.72
8	450	60	5	1	58.43
9	380	30	1	10	68.24
10	450	30	1	10	61.68
11	380	60	1	10	69.53
12	450	60	1	10	51.92
13	380	30	5	10	66.41
14	450	30	5	10	60.84
15	380	60	5	10	57.06
16	450	60	5	10	51.06
17	415	45	3	5.5	68.70
18	415	45	3	5.5	60.27
19	415	45	3	5.5	51.91



ภาพที่ 4.15 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ข้อมูลตารางที่ 4.17 นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert จากภาพที่ 4.15 พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ (A) และปัจจัยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (D) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยอุณหภูมิและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี และจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ปัจจัยอุณหภูมิมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

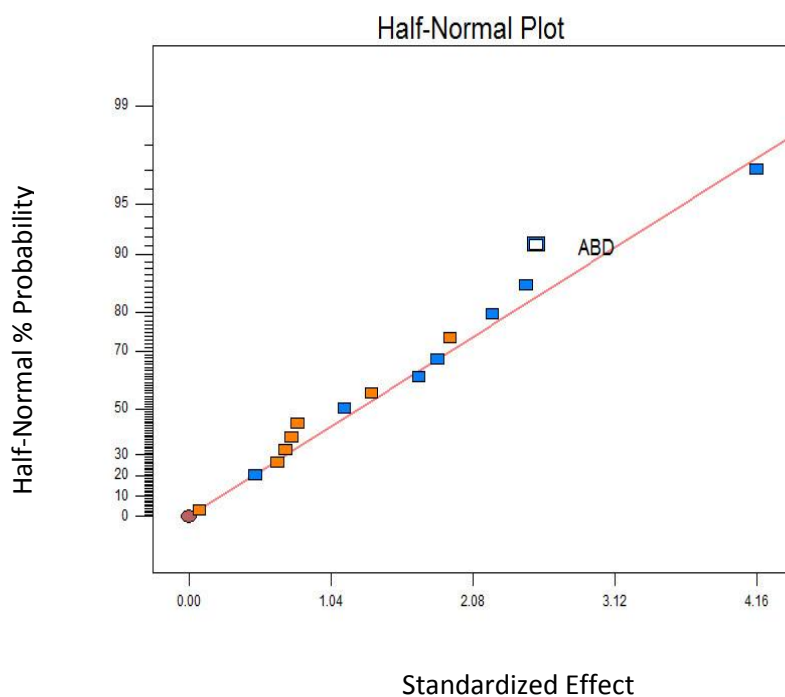
ตารางที่ 4.18 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	509.252	2	254.626	28.895	< 0.0001
A	278.266	1	278.266	31.578	< 0.0001
D	230.986	1	230.986	26.213	0.0001
Pure Error	140.993	16	8.812		
Cor Total	1339.082	18			

4.4.2.2 ร้อยละผลได้ของเนฟทา

ตารางที่ 4.19 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้เนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	31.17
2	450	30	1	1	32.91
3	380	60	1	1	25.11
4	450	60	1	1	26.91
5	380	30	5	1	25.58
6	450	30	5	1	26.10
7	380	60	5	1	24.38
8	450	60	5	1	25.12
9	380	30	1	10	20.47
10	450	30	1	10	26.52
11	380	60	1	10	31.98
12	450	60	1	10	24.92
13	380	30	5	10	27.23
14	450	30	5	10	27.38
15	380	60	5	10	23.96
16	450	60	5	10	21.45
17	415	45	3	5.5	24.73
18	415	45	3	5.5	20.49
19	415	45	3	5.5	20.76



ภาพที่ 4.16 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ข้อมูลตารางที่ 4.19 นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert จากภาพที่ 4.16 พบว่าปัจจัยอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิ, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ABD) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่นมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเป็น ปัจจัยมีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพ บนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี และจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ปัจจัย ABD มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

ตารางที่ 4.20 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	52.822	4	13.206	16.407	< 0.0001
A	2.016	1	2.016	2.504	0.1359
B	19.754	1	19.754	24.542	0.0002
D	5.196	1	5.196	6.455	0.0235

ตารางที่ 4.20(ต่อ) ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
ABD	25.857	1	25.857	32.125	0.0001
Pure Error	11.268	14	0.805		
Cor Total	64.091	18			

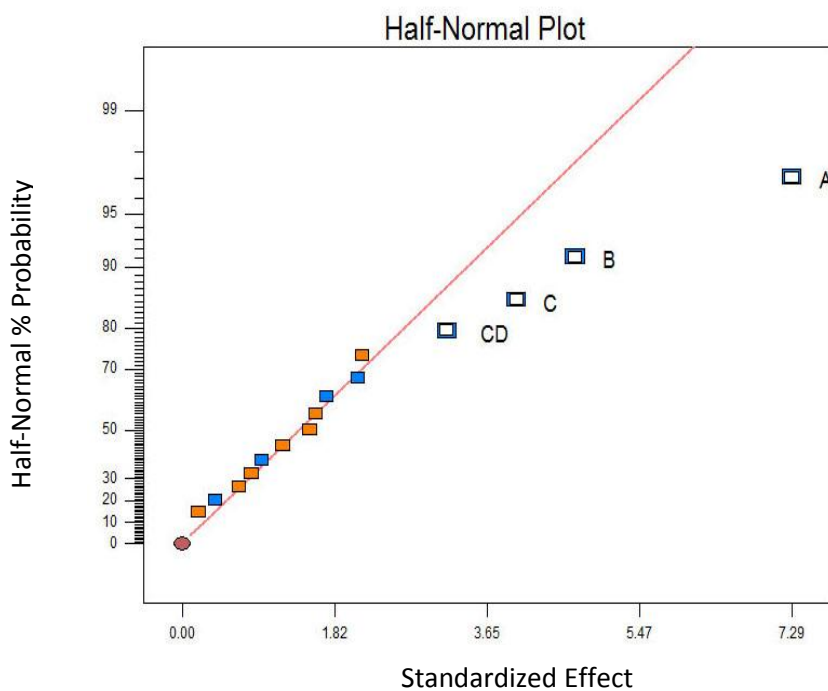
4.4.2.3 ร้อยละผลได้ของดีเซล

ตารางที่ 4.21 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้ดีเซล (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
1	380	30	1	1	23.38
2	450	30	1	1	16.84
3	380	60	1	1	20.49
4	450	60	1	1	12.84
5	380	30	5	1	21.32
6	450	30	5	1	15.53
7	380	60	5	1	21.67
8	450	60	5	1	11.69
9	380	30	1	10	33.44
10	450	30	1	10	17.89
11	380	60	1	10	18.77
12	450	60	1	10	14.54

ตารางที่ 4.21(ต่อ) ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน เมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

การทดลอง	ภาวะที่ใช้ทดลอง				ร้อยละผลได้ดีเซล (%wt)
	อุณหภูมิ (°C), A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min), B	ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar), C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt), D	
13	380	30	5	10	18.59
14	450	30	5	10	13.99
15	380	60	5	10	13.69
16	450	60	5	10	10.21
17	415	45	3	5.5	16.49
18	415	45	3	5.5	16.27
19	415	45	3	5.5	14.02



ภาพที่ 4.17 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

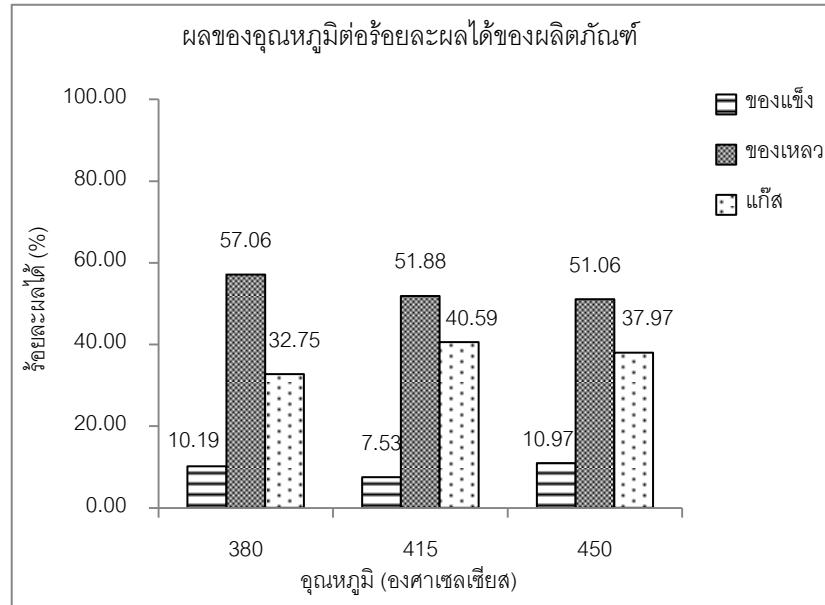
ข้อมูลตารางที่ 4.21 นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert จากภาพที่ 4.17 พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ (A) ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (B) ปัจจัยความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (C) และปัจจัยอันตรกิริยาระหว่างความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (CD) เบี่ยงเบนห่างออกกลุ่มปัจจัยอื่น แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยทั้งสี่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีและจากการคำนวณสามารถยืนยันได้ชัดว่า ทั้งสองปัจจัยมีค่า P- value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลจริง

ตารางที่ 4.22 ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

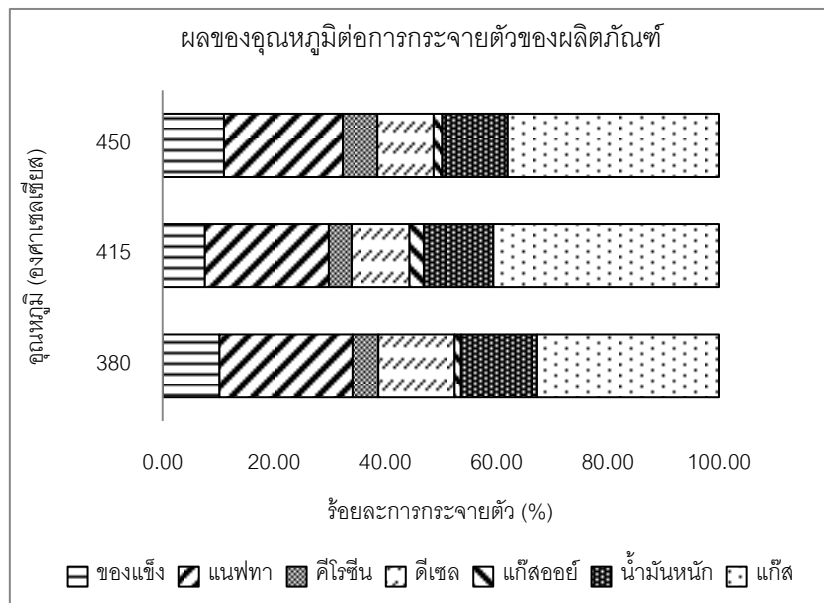
Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Model	405.585	5	81.117	272.966	< 0.0001
A	212.650	1	212.650	715.585	< 0.0001
B	88.308	1	88.308	297.162	< 0.0001
C	63.973	1	63.973	215.276	< 0.0001
D	0.617	1	0.617	2.076	0.1733
CD	40.037	1	40.037	134.729	< 0.0001
Pure error	3.863	13	0.297		
Cor total	409.449	18			

4.4.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ด

ภาพ



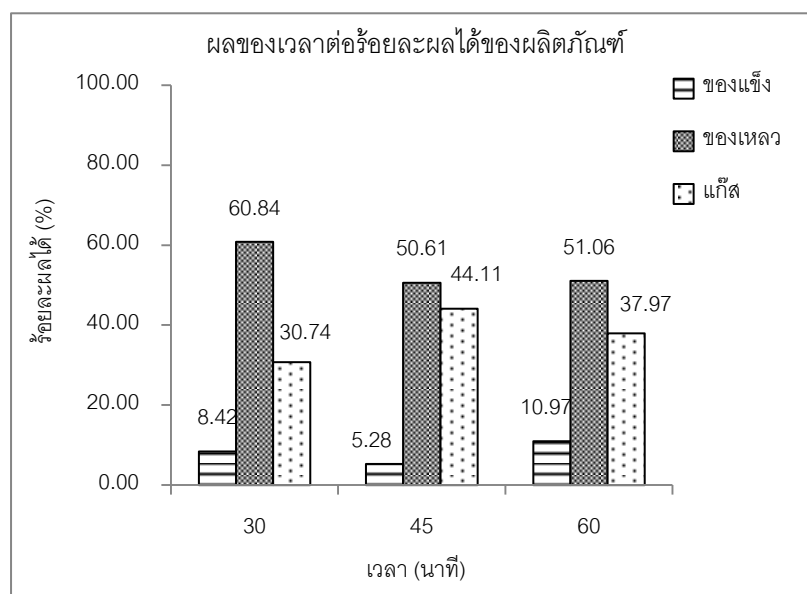
ภาพที่ 4.18 การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส เวลาการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า



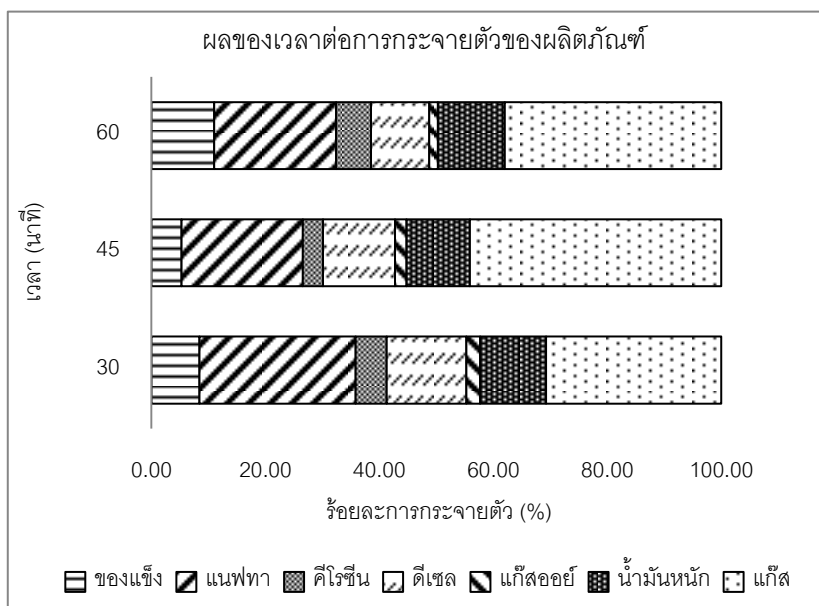
ภาพที่ 4.19 การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

ภาพที่ 4.18 และ 4.19 แสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 380 เป็น 415 และ 450 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 57.06 เป็น 51.88 และ 51.06 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการแตกตัวโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นสายโซ่ที่มีขนาดเล็กได้มากจึงส่งผลให้ได้ร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอน และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เนฟทาลดลงจากร้อยละ 23.96 เป็น 22.31 และ 21.45 ตามลำดับ เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิจะมีผลต่อการแตกตัวอย่างมาก อุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดเป็นเรดิเคิลต่อเนื่องทำให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลง และโมเลกุลขนาดเล็กจะกลายเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน เช่นเดียวกับเมื่อพิจารณาร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงจากร้อยละ 13.69 เป็น 10.38 และ 10.21 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.2.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ



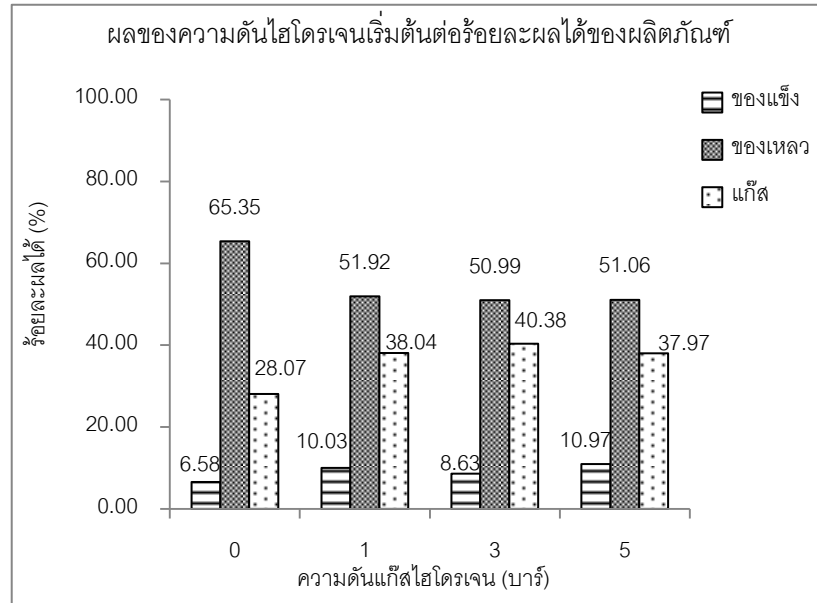
ภาพที่ 4.20 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพในช่วงเวลาดำเนินปฏิกิริยา 30-60 นาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า



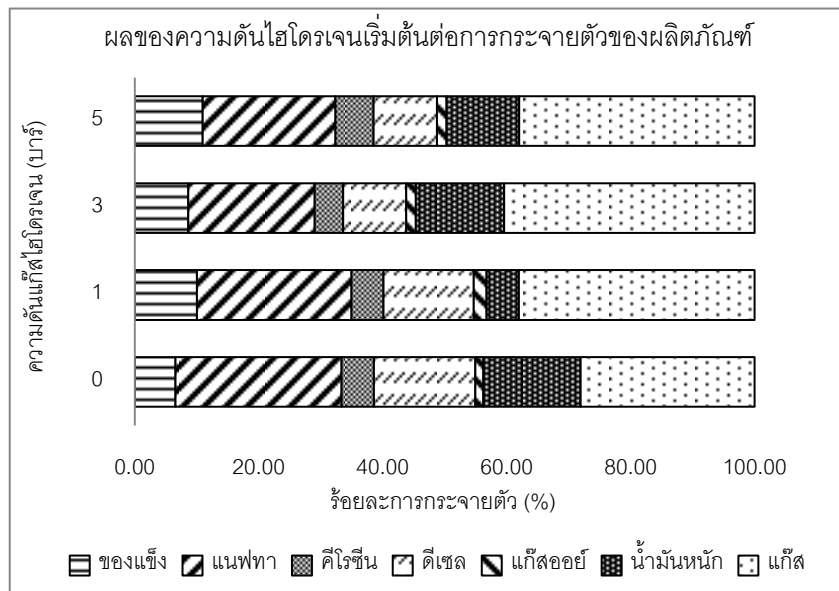
ภาพที่ 4.21 ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมล็ดเรพในช่วงเวลาดำเนินปฏิกิริยา 30-60 นาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำมันน้ำมันป้อนเข้า

ภาพที่ 4.20 และ 4.21 แสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นจาก 30 เป็น 45 และ 60 นาที ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวแนวโน้มลดลงจาก 60.84 เป็น 50.61 และ 51.06 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานานมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลิตภัณฑ์แนฟทาลดลงจนมีแนวโน้มคงที่จากร้อยละ 27.38 เป็น 21.26 และ 21.45 ตามลำดับ เนื่องจากมีเวลามากพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยากาแยกสลายได้อย่างทั่วถึง อุณหภูมิจะมีอิทธิพลอย่างมากทำให้โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะสายโซ่ยาวและซับซ้อนแตกตัวไปเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มลดลงจากร้อยละ 13.99 เป็น 12.65 และ 10.21 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.2.6 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมล็ดเรพ



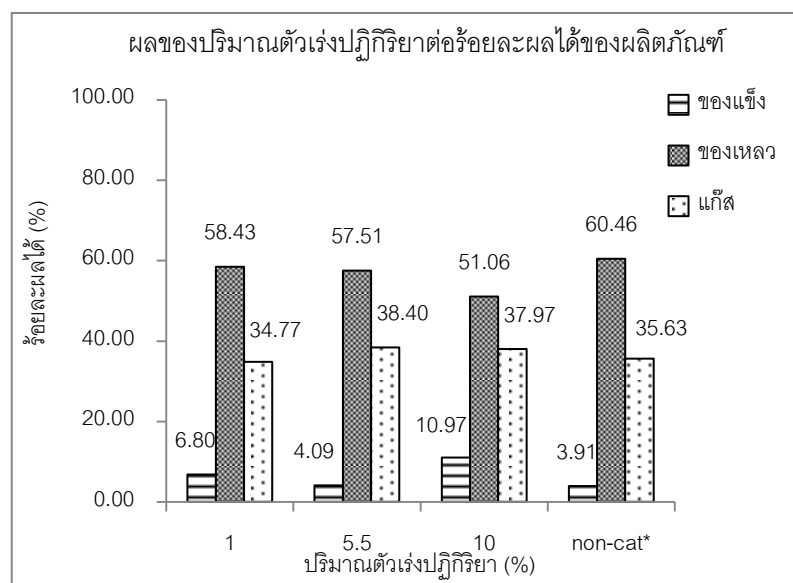
ภาพที่ 4.22 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า



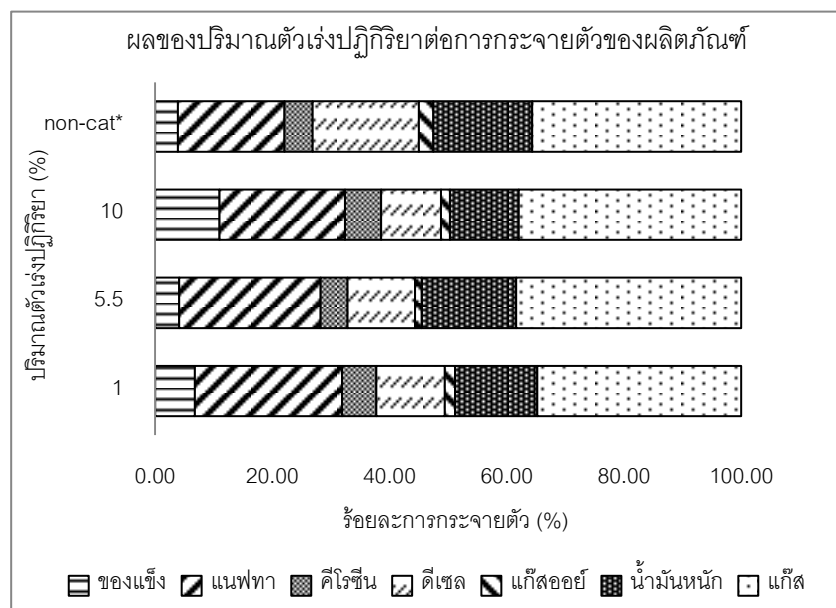
ภาพที่ 4.23 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ช่วง 0-5 บาร์ ต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า

ภาพที่ 4.22 และ 4.23 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมดิคเรฟที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้า พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 เป็น 3 และ 5 บาร์ ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ 51.92 เป็น 50.99 และ 51.06 โดยน้ำหนัก เทียบกับการทดลองที่ไม่เติมความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จะพบความต่างชัดเจนขึ้นโดยพบร้อยละของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 65.35 การเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพื่อช่วยปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนส่งเสริมการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน(hydrocracking) และปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) เกิดความอิ่มตัวของแอมโมเนีย การเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปจนถึง 5 บาร์ จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมาก เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว พบว่าเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ร้อยละผลิตภัณฑ์แนฟทาแนวโน้มลดลงจาก 24.92 เป็น 20.40 และ 21.45 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มลดลงจากร้อยละ 14.54 เป็น 10.20 และ 10.21 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

4.4.2.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมดิคเรฟ



ภาพที่ 4.24 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมดิคเรฟที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



ภาพที่ 4.25 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาช่วงร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักน้ำมันป้อนเข้าต่อร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมลดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์และเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (*)

ภาพที่ 4.24 และ 4.25 แสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมลดเรพที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา จากร้อยละ 1 เป็น 5.5 และ 10 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ลดลงจาก 58.43 เป็น 57.51 และ 51.06 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยจะมีร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สจะเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะพบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด โดยการทดลองที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวสูงถึง 60.46 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้ดี นอกจากนี้เมื่อพิจารณา ร้อยละผลได้ของแข็งที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 10 % จะพบว่ามีปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากจะทำให้พื้นที่ผิวรูพรุนในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น และทำการทดลองที่ อุณหภูมิสูงจึงมีโอกาสเกิดไค้กมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันเมลดเรพ พบว่าเมื่อเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละผลิตภัณฑ์แนฟทามี แนวโน้มลดลงจาก 24.12 เป็น 24.15 และ 21.45 โดยน้ำหนักตามลำดับ เช่นเดียวกันกับร้อยละ

ผลิตภัณฑ์ดีเซลพบว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงจากร้อยละ 11.69 เป็น 11.50 และ 10.21 โดยน้ำหนักตามลำดับ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละของน้ำมันหนักที่พบในเชื้อเพลิงเหลวลดลงอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์เนฟทาและดีเซลจะไม่ขึ้นกับปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่าใดนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสมจะมีพื้นที่ผิวหรือบริเวณเร่งปฏิกิริยาที่เพียงพอสำหรับน้ำมันตั้งต้นแล้ว ดังนั้นการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์

4.5 การหาภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี จากโปรแกรม Design-Expert

4.5.1 ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.23 ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรมของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature	is in range	380	450	°C
Time	is in range	30	60	Minute
Pressure	is in range	1	5	Bar
Catalyst	is in range	1	10	%wt
Yield Liquid	maximize	44.77	69.51	%wt
Yield Naphtha	maximize	14.33	31.22	%wt
Yield Diesel	maximize	13.43	21.06	%wt

หาสภาวะที่เหมาะสมจากการใช้โปรแกรม Design-Expert โดยพิจารณาค่าตอบสนองเพียง 3 ค่า คือ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้ของเนฟทาและร้อยละผลได้ของดีเซล พิจารณาให้ค่าตอบสนองทั้ง 3 ให้มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4.24 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	60
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	4.1
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	63.85
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	21.52
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	20.54

หลังจากได้ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมแล้วจึงนำมาทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380	380
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	60	60
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	4.10	4.11
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	63.85	65.19
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	21.52	16.30
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	20.54	20.21

จากโปรแกรมจะได้ภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.24 ดังนี้ คือ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส, เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 4.1 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า จะให้ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 63.85 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของแนฟทา 21.52 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ดีเซล 20.54 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้เมื่อทำการ

เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง จะพบว่าที่ภาวะเดียวกันนั้นจะให้ค่าตอบสนองใกล้เคียงกับที่คำนวณได้จากโปรแกรม คือ ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 65.19 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ของดีเซล 20.21 โดยน้ำหนัก แต่ในส่วนของร้อยละผลได้ของแนฟทาจะแตกต่างกัน คือจะได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์แนฟทา 16.30 โดยน้ำหนัก

4.5.2 ภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ตารางที่ 4.26 ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรมของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature	is in range	380	450	°C
Time	is in range	30	60	Minute
Pressure	is in range	1	5	Bar
Catalyst	is in range	1	10	%wt
Yield Liquid	maximize	51.06	77.94	%wt
Yield Naphtha	maximize	20.47	32.91	%wt
Yield Diesel	maximize	10.21	33.44	%wt

หาสภาวะที่เหมาะสมจากการใช้โปรแกรมโดยพิจารณาค่าตอบสนอง 3 ค่า คือ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้ของแนฟทาและร้อยละผลได้ของดีเซล พิจารณาให้ค่าตอบสนองทั้ง 3 ให้มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4.27 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	1
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	72.61
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	27.86
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	24.19

หลังจากได้ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมแล้วจึงนำมาทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

ตัวแปร	ภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380	380
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	30
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	1.00	1.04
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	72.61	68.84
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	27.86	23.41
ร้อยละผลได้ดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	24.19	21.34

การคำนวณโดยโปรแกรมจะได้ภาวะที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 4.27 ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า ให้ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 72.61 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของแนฟทา 27.86 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ดีเซล 24.19 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง จะพบว่าที่ภาวะเดียวกันนั้นจะให้ค่าตอบสนองใกล้เคียงกับที่คำนวณได้จากโปรแกรม คือ ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 65.19 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ของแนฟทาและดีเซล 23.41 และ 21.34 ตามลำดับ

4.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวน้ำมัน เมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.29 ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดน้ำมัน	ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม)
- น้ำมันเมล็ดเรพตั้งต้นก่อนการทดลอง	5.1
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงตัวเร่งของ น้ำมันเมล็ดเรพบน MgO	1.4
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงตัวเร่งของ น้ำมันเมล็ดเรพบน FCC	10.9

ตาราง 4.29 แสดงค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวบนตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เมื่อใช้แมกนีเซียมออกไซด์ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันต่ำกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี คือ 1.4 และ 10.9 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เนื่องจากเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งเบสเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่กรดไขมันในน้ำมัน ทำให้เกิดเป็นเกลือโลหะเกิดขึ้นค่าความเป็นกรดจึงต่ำ ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรดจะเกิดปฏิกิริยาผ่านคาร์บอนเนียมไอออนและมีอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนส่วนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ก่อนและเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี จุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อการเกิดร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวและศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่เกิดขึ้น โดยให้ความสนใจกับภาวะที่ทำให้เกิดร้อยละผลได้ของแนฟทาและดีเซลมากที่สุด การทดลองจะเป็นแบบแฟกทอเรียลสองระดับ โดยมีตัวแปรที่ต้องการศึกษาร่วมกัน 4 ตัวแปร คือ

- อุณหภูมิช่วง 380-450 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-60 นาที
- ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์
- ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนักของน้ำมันป้อนเข้า

1. ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าภาวะที่ให้ค่าการตอบสนองของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มากที่สุดคือ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 4.1 โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการทดลองจริงในภาวะดังกล่าวจะได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 65.19 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาและดีเซล 16.30 และ 20.21 โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าภาวะที่ให้ค่าการตอบสนองของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีมากที่สุดคือ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการทดลองจริงในภาวะดังกล่าวจะได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 68.84 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาและดีเซล 23.41 และ 21.34 โดยน้ำหนักตามลำดับ การทดลองทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นมีผลน้อยมากต่อการเกิดผลิตภัณฑ์จึงอาจไม่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการทดลองมีความเชื่อมโยงกันต่อการเกิดผลิตภัณฑ์น้ำมัน เช่น อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลอง (AB) อาจอธิบายได้ว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน คือ บางภาวะเมื่อใช้อุณหภูมิในการทดลองสูงอาจสามารถใช้เวลาในการทดลองที่สั้นลงได้ และยังคงให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ต้องการมีปริมาณและองค์ประกอบใกล้เคียงกัน เป็นต้น

2. การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพพบว่าน้ำมันเมล็ดเรพสามารถนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้ทั้งการใช้กับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (แมกนีเซียมออกไซด์) และชนิดกรด (เอพซีซี) จากการทดลองพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีค่าความเป็นกรดน้อยกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีทำให้ได้ร้อยละผลได้เนฟทาสูงกว่า

3. ข้อดี-ข้อเสียของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด

แมกนีเซียมออกไซด์

- ราคาถูก
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าความเป็นกรดต่ำ
- ไม่จำเป็นในการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์

เอพซีซี

- ราคาแพง
- ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าความเป็นกรดสูง
- จำเพาะในการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์เนฟทา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเรพตั้งต้น และการทดลองที่ภาวะเติมความดันแก๊สไฮโดรเจนและไม่เติมความดันแก๊สไฮโดรเจนเปรียบเทียบกัน โดยเทคนิค GC-MS

2. ศึกษาผลของอัตราการปฏิกิริยาของตัวแปรต่างๆในการทดลองเพิ่มเติม

3. ศึกษาการนำน้ำมันเมล็ดเรพไปใช้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

4. ศึกษากระบวนการนำตัวเร่งปฏิกิริยานั้นนำกลับมาใช้ใหม่ได้

5. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตของน้ำมันเมล็ดเรพเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น

6. ศึกษาการนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์

รายการอ้างอิง

- [1] Eduzones. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: <http://blog.eduzones.com/tenny/3670> [29 กันยายน 2555]
- [2] พิษณุตม์. สารชีวโมเลกุลและกรดไขมัน [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: <http://vichakarn.triamudom.ac.th/comtech/studentproject/sci/bio2/lipid.html> [1 ตุลาคม 2555]
- [3] Oknation. รูปแบบการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: www.oknation.net/blog/print.php?id=710474 [1 ตุลาคม 2555]
- [4] วิชาการ จารุศิริ. กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์บนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [5] รวีวรรณ สวัสดิ์รักษา. การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันสนูปด้าเป็นเชื้อเพลิงเหลวบน HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [6] นายบุญยวัศ วุฒิศรรม. การแตกตัวของพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสในกระบวนการแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาปิโตรเคมีและเคมีของไฮโดรคาร์บอน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
- [7] พนิดา จิรัญฐิติกาล. การแตกโมเลกุลของนอร์มัลออกเทนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [8] Subuh, A.M.H., and others. Toxic moieties in ruminal and duodenal digesta and in milk, and hepatic integrity in cattle given diets based on rapeseed meal of different glucosinolate contents either untreated or treated with heat or formaldehyde. Animal Feed Science and Technology 52 (July 1994) : 51-61.
- [9] Ma, F., and Hanna M.A.. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70 (February 1999) : 1-15.
- [10] Srivastava, A., and Pasad, R.. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (July 1999) : 111-133.

- [11] Demirbas, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other method: a survey. Energy Conversion and Management 44 (September 2002) : 2093-2109.
- [12] Harold H. Schobert. The Chemistry of Hydrocarbon fuel. London: Butterworth-Heinemann, 1990.
- [13] Haruki, T., and others. Development of Direct Production Process of Diesel Fuel from Vegetable Oils. Journal of the Japan Institute of Energy 90 (November 2010) : 466-470.
- [14] Cinara, M.R., and others. Production and characterization of the biofuels obtained by thermal cracking and thermal catalytic cracking of vegetable oils. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 86 (November 2009) : 338-347.
- [15] Buzetzi, E., and others. Effect of oil type on products obtained by cracking of oils and fats. Fuel Processing Technology 92 (October 2011) : 2041-2047.
- [16] Junming, X., and others. Liquid hydrocarbon fuels obtained by the pyrolysis of soybean oils. Bioresource Technology 100 (October 2009) : 4867-4870.
- [17] Junming, X., and others. Production of hydrocarbon fuels from pyrolysis of soybean oils using a basic catalyst. Bioresource Technology 101 (December 2010) : 9803-9806.
- [18] Ersan Putun. Catalytic pyrolysis of biomass: Effects of pyrolysis temperature, sweeping gas flow rate and MgO catalyst. Energy 35 (July 2010) : 2761-2766.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ก1 ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)	
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Diesel yield (%wt)
1	380	30	1	1	63.71	7.09	29.19	31.22	14.02
2	450	30	1	1	57.85	5.86	36.30	18.80	16.78
3	380	60	1	1	61.95	7.20	30.85	20.44	20.44
4	450	60	1	1	52.15	7.36	40.49	17.47	14.08
5	380	30	5	1	69.51	6.85	23.65	22.94	19.11
6	450	30	5	1	56.52	5.44	38.04	18.65	16.39
7	380	60	5	1	62.03	8.17	29.81	21.71	16.75
8	450	60	5	1	56.79	2.73	40.47	21.58	15.90
9	380	30	1	10	60.51	9.78	29.71	22.99	15.73
10	450	30	1	10	58.15	7.82	34.03	20.35	15.12

ตาราง ก1(ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)	
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Diesel yield (%wt)
11	380	60	1	10	65.81	10.63	23.56	19.09	21.06
12	450	60	1	10	52.92	14.00	33.08	18.52	16.40
13	380	30	5	10	60.42	9.21	30.36	19.34	18.13
14	450	30	5	10	53.56	8.26	38.18	18.21	16.07
15	380	60	5	10	66.85	7.99	25.15	23.40	18.72
16	450	60	5	10	44.77	11.03	44.20	14.33	13.43
17	415	45	3	5.5	61.96	8.09	29.94	26.64	15.49
18	415	45	3	5.5	58.27	7.73	34.00	23.89	16.90
19	415	45	3	5.5	56.73	5.47	37.81	20.42	17.59

ตาราง ก2 ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)	
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Diesel yield (%wt)
1	380	30	1	1	77.94	6.93	15.13	31.17	23.38
2	450	30	1	1	76.53	5.96	17.50	32.91	16.84
3	380	60	1	1	66.09	7.32	26.59	25.11	20.49
4	450	60	1	1	61.16	7.52	31.31	26.91	12.84
5	380	30	5	1	77.53	7.05	15.42	25.58	21.32
6	450	30	5	1	62.13	5.41	32.46	26.10	15.53
7	380	60	5	1	67.72	8.06	24.23	24.38	21.67
8	450	60	5	1	58.43	6.80	34.77	25.12	11.69
9	380	30	1	10	68.24	9.82	21.94	20.47	33.44
10	450	30	1	10	61.68	7.90	30.42	26.52	17.89

ตาราง ก2(ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)	
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Diesel yield (%wt)
11	380	60	1	10	69.53	10.47	20.00	31.98	18.77
12	450	60	1	10	51.92	10.03	38.04	24.92	14.54
13	380	30	5	10	66.41	9.37	24.22	27.23	18.59
14	450	30	5	10	60.84	8.42	30.74	27.38	13.99
15	380	60	5	10	57.06	10.19	32.75	23.96	13.69
16	450	60	5	10	51.06	10.97	37.97	21.45	10.21
17	415	45	3	5.5	68.70	8.18	23.12	24.73	16.49
18	415	45	3	5.5	60.27	7.73	32.00	20.49	16.27
19	415	45	3	5.5	51.91	7.92	40.17	20.76	14.02

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เชิงสถิติและตัวอย่างการคำนวณ

การทดลองในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัย (factor) จำนวนตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป กรณีนี้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (factorial design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (level) ของปัจจัยทั้งหมดในการทดลอง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล มีประโยชน์หลายประการ แต่ประโยชน์ที่สำคัญมากที่สุด คือ เราสามารถใช้จำนวนการทดลองที่น้อยกว่า ในขณะที่สามารถสกัดข้อมูลออกมาได้มากเทียบเท่ากับการทดลองแบบที่ละปัจจัย เมื่อเทียบที่จำนวนผลการทดลองเท่าๆ กัน

1. สัญลักษณ์ของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

1.1 k หมายถึง จำนวนตัวแปรหรือปัจจัยที่ทำการศึกษา

1.2 n หมายถึง จำนวนการทดลองที่ภาวะการทดลองเดียวกัน

1.3 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A, B, C, D) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทดลอง ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น

1.4 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เขียนติดกัน (combination) เช่น AB AC ABC หมายถึง อันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (interaction)

1.5 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเขียนติดกัน เช่น ab ac abc หมายถึง การทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ เรียกว่า treatment combination โดยการทดลองที่แต่ละปัจจัยจะมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น -1 ที่ระดับต่ำและ $+1$ ที่ระดับสูง

ในงานวิจัยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ร้อยละผลได้เนฟทาและร้อยละผลได้ดีเซล จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาน้ำมันเมล็ดเรพบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และเอพซีซี โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^k แฟกทอเรียล โดยมีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวแปร กำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปร ดังนี้

ตาราง ข1 ตัวอย่างสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ระดับ	
	(-1) ต่ำ	(+) สูง
A = อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	380	450
B = เวลาในการทำปฏิกิริยา, นาที	30	60
C = ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น, บาร์	1	5
D = ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	1	10

2. ความหมายของคำสำคัญ

อิทธิพลหลัก (main effect) หมายถึง อิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษา

อันตรกิริยา (interaction) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่างๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

อิทธิพลแฟกทอเรียล (factorial effect) หมายถึง อิทธิพลต่างๆ ทั้งที่เป็นอิทธิพลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมดในการทดลองซึ่งมีเท่ากัน

3. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลนิยมใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งต้องการศึกษาผลรวมที่มีต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ แต่ละระดับเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ หรือเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้ และในสองระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ และเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

4. สูตรการคำนวณ

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

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

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

Total of sum of squares :

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

Mean of Square Error : SSE = SST – sum Squares of Main Effect

Mean of Square : MS = Sum of Square/Degree of Freedom

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

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

5. การใช้ P- Value ในการทดสอบสมมติฐาน

วิธีรายงานผลของการทดสอบสมมติฐานอีกวิธีการหนึ่ง คือ การแสดงว่าสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ค่า α หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด ซึ่งส่วนมากโดยทั่วไปค่านี้จะถูกกำหนดให้มีค่า 0.05 หรือมีค่าความเชื่อมั่นประมาณ 95 % โดยนิยามของค่า P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง นอกจากนี้เรายังสามารถนิยาม P-Value ว่าเป็นเหมือนกับค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ก็ได้ ปกติแล้วเรานิยามที่จะบอกว่าค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อสมมติฐานหลัก H_0 ถูกปฏิเสธ ดังนั้นเราอาจจะพิจารณาค่า P- Value ว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุดซึ่งทำให้ข้อมูลมีนัยสำคัญ โดยเมื่อรู้ค่า P-Value แล้ว ผู้ตัดสินใจก็จะทราบว่าคุณข้อมูลมีนัยสำคัญอย่างไร โดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีการกำหนดนัยสำคัญไว้ก่อนได้

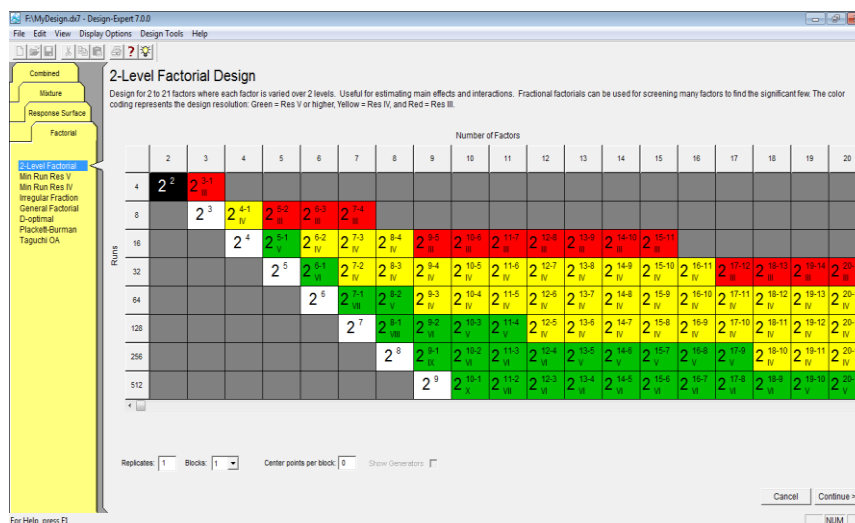
ตัวอย่างงานวิจัย การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล โดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรดังนี้

ตาราง ข2 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

	ตัวแปร	ระดับ	
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380	450
B	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	60
C	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
D	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	1	10

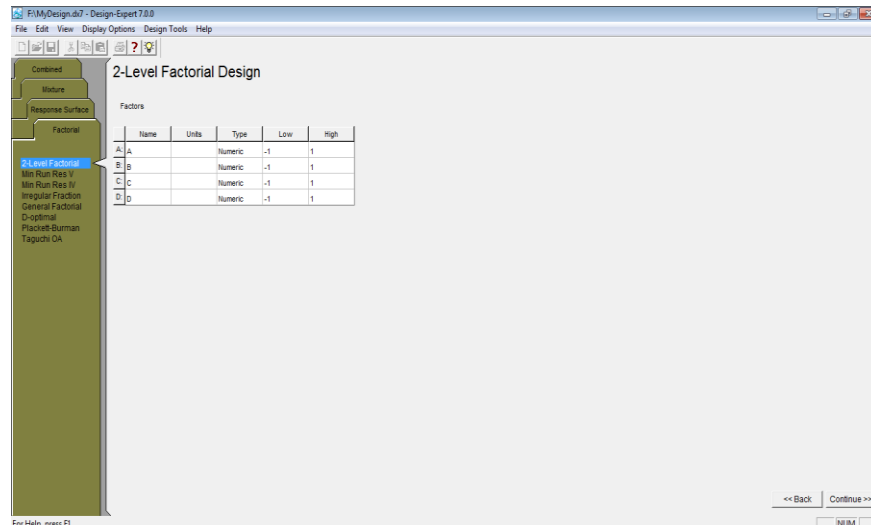
การใช้โปรแกรม Design-Expert ในการคำนวณ

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรม คลิกไปที่ file ----> New Design



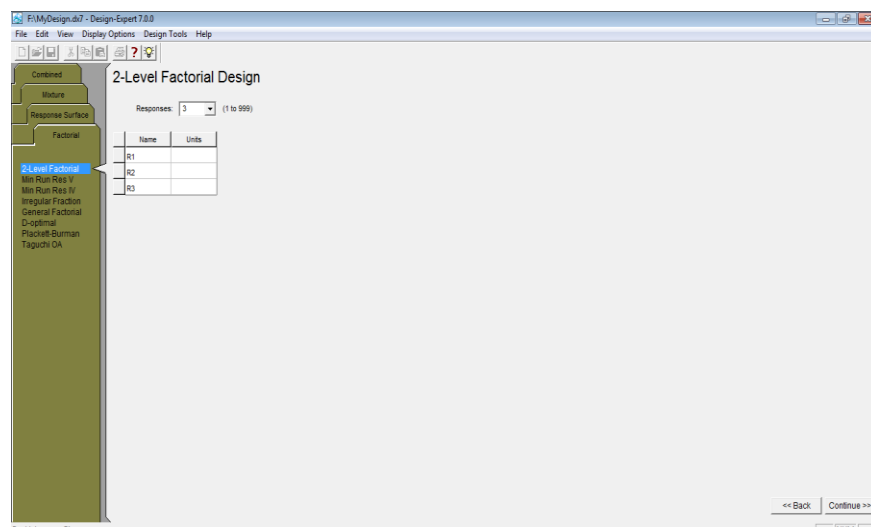
ภาพ ข1 ตาราง 2 level factorial design

2. เลือกจำนวนตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ 4 เนื่องจากมีตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 4 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา, ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เลือกที่ Full ของช่อง 2^4 กรอกจำนวนที่ทำการทดลองซ้ำ ในช่อง Replicates และกรอกค่าทำซ้ำที่ค่ากลาง ช่อง Center point per block เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue



ภาพ ข2 ตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง

3. กรอกชื่อตัวแปร, หน่วยของตัวแปร, และช่วงขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการศึกษาให้ครบ จากนั้นคลิกที่ Continue จะปรากฏดังภาพ ข3



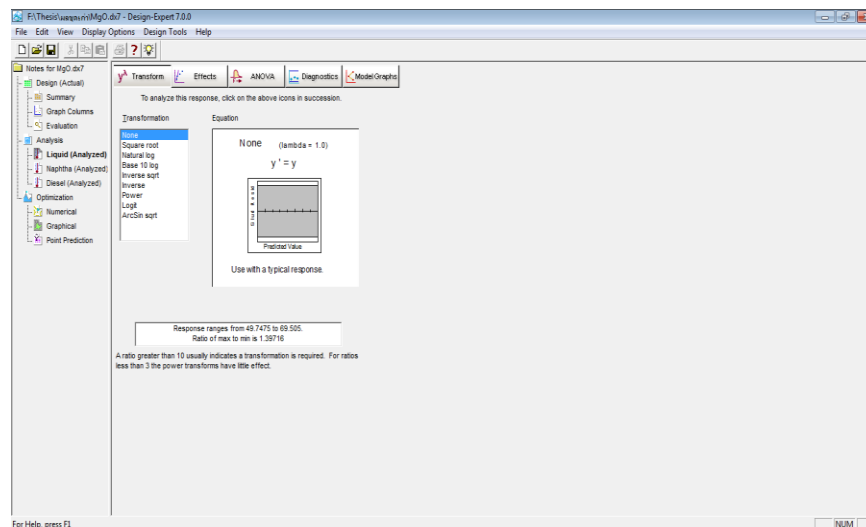
ภาพ ข3 Response และหน่วยที่ทำการทดลอง

4. กรอกชื่อและหน่วยของ Response ที่ต้องการศึกษาทั้งหมด คลิกที่ Continue จะพบปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด เช่น การทดลองมีทั้งหมด 16 การทดลอง ค่ากลาง 3 การทดลอง ทำซ้ำ 1 ครั้ง รวมการทดลอง 19 การทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองกรอกลงไปในแต่ละช่องของ Response

Std	Run	Block	Factor 1 A.Temperature C	Factor 2 B.Time min	Factor 3 C.Initial hydrogen bar	Factor 4 D.Weight of oil gram	Response 1 Liquid %	Response 2 Naphtha %	Response 3 Diesel %
1	1	Block 1	300.00	30.00	1.00	0.20	63.7132	31.2194	14.9199
2	2	Block 1	450.00	30.00	1.00	0.20	57.8487	18.8008	16.7781
3	3	Block 1	300.00	60.00	1.00	0.20	61.9517	20.4441	20.4441
4	4	Block 1	450.00	60.00	1.00	0.20	52.1513	17.4707	14.0800
5	5	Block 1	300.00	30.00	5.00	0.20	66.5205	22.9307	19.1139
6	6	Block 1	450.00	30.00	5.00	0.20	56.5232	16.6527	16.3917
7	7	Block 1	300.00	60.00	5.00	0.20	62.0268	21.7094	16.7472
8	8	Block 1	450.00	60.00	5.00	0.20	56.7918	19.1771	14.106
9	9	Block 1	300.00	30.00	1.00	2.00	60.5113	22.9843	15.7329
10	10	Block 1	450.00	30.00	1.00	2.00	58.1485	20.3513	15.1181
11	11	Block 1	300.00	60.00	1.00	2.00	65.8117	19.0854	21.0587
12	12	Block 1	450.00	60.00	1.00	2.00	52.9185	19.5215	16.4047
13	13	Block 1	300.00	30.00	5.00	2.00	60.4246	19.3359	18.1274
14	14	Block 1	450.00	30.00	5.00	2.00	53.5577	18.2096	14.9962
15	15	Block 1	300.00	60.00	5.00	2.00	66.854	23.3989	18.7191
16	16	Block 1	450.00	60.00	5.00	2.00	49.7475	15.9192	14.9243
17	17	Block 1	415.00	45.00	3.00	1.10	61.9622	26.6438	15.4908
18	18	Block 1	415.00	45.00	3.00	1.10	58.2716	23.8914	16.8688
19	19	Block 1	415.00	45.00	3.00	1.10	56.7268	20.4217	17.5853

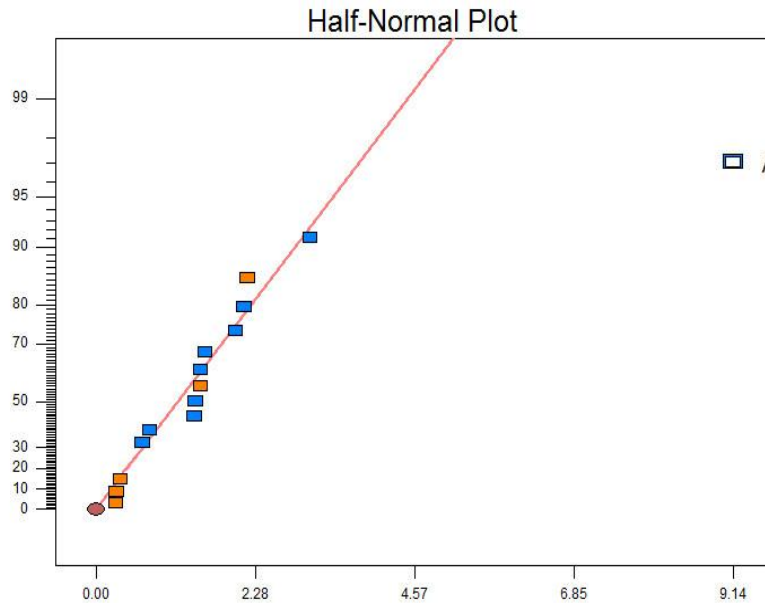
ภาพ ข4 ตารางการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองที่ภาวะต่างๆ

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยโปรแกรม เช่น วิเคราะห์หรือย่อยผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยกดที่เชื้อเพลิงเหลว จากนั้นคลิกที่ Effect



ภาพ ข5 แถบของ Liquid, Naphtha, Diesel

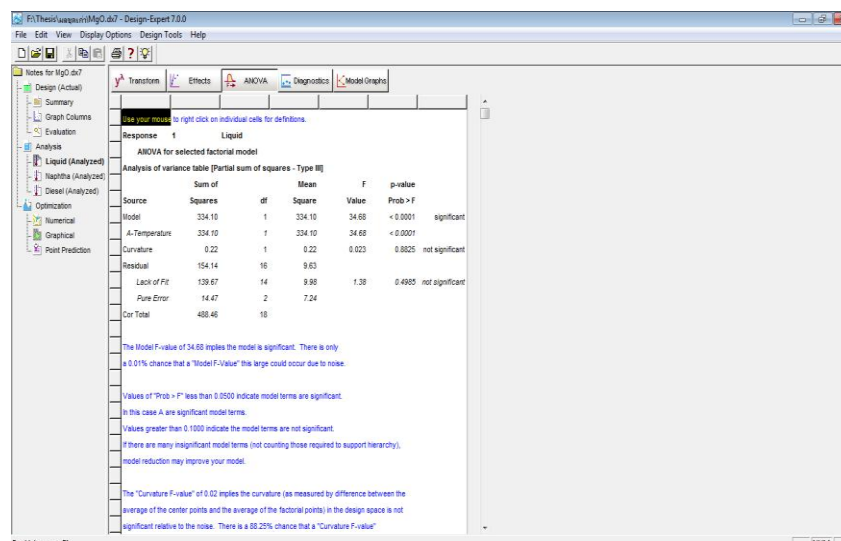
6. เมื่อคลิก Effect จากนั้นทำการเลือกจุดในกราฟ Half Normal %Probability เพื่อให้แนวโน้มเป็นเส้นตรง



ภาพ ๗6 Half-Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ดเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ภาพบ่งบอกว่าปัจจัยที่เบี่ยงออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (A) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง

7. กดที่คำว่า ANOVA เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณและเป็นการยืนยันผลของ Normal probability

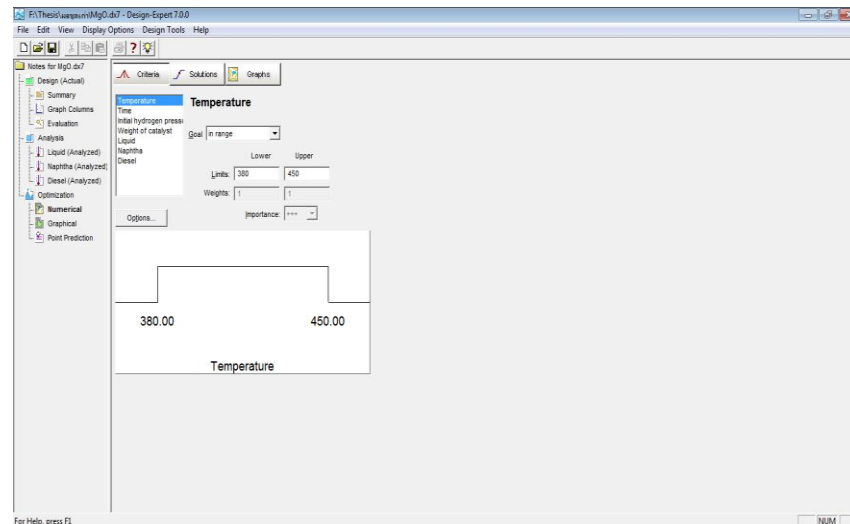


ภาพ ๗7 การคำนวณผลของ ANOVA

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ซึ่งบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ของปัจจัยนั้น

8. จากนั้นวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ตามข้อ 5-7

9. หาภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง กัดที่ Numerical ---> พร้อมกรอกรอบขอบเขตที่ต้องการในช่อง Limit



ภาพ ข8 ขอบเขตที่ต้องการในการทดลอง

10. กัดที่ Solution จะได้สภาวะที่เหมาะสม

The screenshot shows the 'Solutions' table with 23 rows. The columns are: Number, Temperature, Time, initial hydroge, Weight of catal, Liquid, Naphtha, Diesel, and Desirability. Solution 1 is selected.

Number	Temperature	Time	initial hydroge	Weight of catal	Liquid	Naphtha	Diesel	Desirability
1	380.00	60.00	1.00	0.87	63.8498	21.5209	20.5395	0.623
2	380.00	60.00	1.00	0.73	63.8498	21.5209	20.5395	0.623
3	380.00	60.00	1.00	1.49	63.8498	21.5211	20.5392	0.623
4	380.00	60.00	1.00	0.50	63.8498	21.5208	20.5394	0.623
5	380.00	60.00	1.02	1.17	63.8498	21.5309	20.5244	0.623
6	380.04	60.00	1.00	0.32	63.844	21.5183	20.5588	0.623
7	380.00	59.85	1.00	1.35	63.8498	21.5319	20.5146	0.623
8	380.06	60.00	1.00	1.32	63.8417	21.5173	20.5442	0.623
9	380.01	60.00	1.16	0.20	63.849	21.6128	20.4001	0.622
10	380.00	60.00	1.40	0.74	63.8498	21.748	20.1995	0.620
11	380.00	59.99	1.48	0.20	63.8498	21.7929	20.128	0.620
12	380.00	60.00	1.52	2.00	63.8498	21.8148	20.0396	0.619
13	380.00	59.91	1.51	0.20	63.8497	21.8115	20.0952	0.619
14	380.05	60.00	1.57	2.00	63.8435	21.8345	20.0579	0.618
15	380.00	59.96	1.64	2.00	63.8498	21.8798	19.9953	0.618
16	380.00	60.00	2.44	2.00	63.8498	22.3291	19.3188	0.608
17	380.02	59.76	2.54	0.20	63.8476	22.3839	19.2196	0.606
18	380.00	60.00	2.94	0.20	63.8498	22.6077	18.898	0.600
19	380.00	60.00	3.10	2.00	63.8498	22.6954	18.7855	0.597
20	380.00	52.11	1.61	1.65	63.8498	22.2711	19.3677	0.592
21	380.00	59.98	3.48	2.00	63.8498	22.9098	18.4488	0.590
22	380.11	60.00	3.93	0.20	63.8553	23.1535	18.0585	0.578
23	380.08	58.60	4.16	1.07	63.8488	21.9261	18.5148	0.564

ภาพ ข9 แสดงภาวะที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด

(Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatography จะวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดของแต่ละสารดังต่อไปนี้

IBP–200 °C = Naphtha

200 °C – 250 °C = Kerosene

250 °C – 350 °C = Light Gas Oil

350 °C – 370 °C = Gas Oil

370 °C – FBP = Long residue

การวิเคราะห์เริ่มจากการเตรียมสารตัวอย่างโดยนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวไปละลายในตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมดีเทคเตอร์แบบ FID ใช้ซอฟต์แวร์ simulated distillation คอลัมน์ที่ใช้เป็น capillary column มี stationary phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน สภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิหัวฉีด (injector temperature) 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ (column temperature or oven temperature) 30 - 320 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (detector temperature) 320 องศาเซลเซียส โดยมีแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพาที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาทีด้วย split ratio 2

ภาคผนวก ง

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบด้วยเทคนิค GC-MS

ตาราง ง1 ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบกับแมสสเปกโตรมิเตอร์

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปรีชญา แก้วชิงดวง เกิดวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ 2530 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษา ในปีการศึกษา 2555