

การแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพิตซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว



นางสาวนันท์ชฎาน์ เกตุอุบล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CRACKING OF PALM STEARIN ON SPENT FCC CATALYST TO LIQUID FUEL



Miss Nanchaya Getubol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

นนท์ชญาน์ เกตุอุบล : การแตกตัวของปาล์มสเตอรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว เป็นเชื้อเพลิงเหลว. (CRACKING OF PALM STEARIN ON SPENT FCC CATALYST TO LIQUID FUEL) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 116 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตอรินในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 70 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ 410-450 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30-90 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5-5.0 โดยน้ำหนัก และสารตั้งต้น 20 กรัม โดยออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล 2 เพรดิคต และนำเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา ได้แก่ อุณหภูมิ และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวของปาล์มสเตอริน คือ อุณหภูมิ 444.69 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1.59 บาร์ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3.61 โดยน้ำหนัก ได้เชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 64.14 แนฟทาร้อยละ 32.07 ดีเซลร้อยละ 20.42 และได้ค่าการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 89.96 ตามลำดับ

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต..... นนท์ชญาน์..... เกตุอุบล.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีเชื้อเพลิง..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2552.....

5072320023 : MAJOR FUEL TECHNOLOGY

KEYWORDS : PALM STEARIN / CATALYTIC CRACKING / LIQUID FUEL

NANCHAYA GETUBOL : CRACKING OF PALM STEARIN ON SPENT FCC
CATALYST TO LIQUID FUEL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
THARAPONG VITIDSANT, Ph.D., 116 pp.

The main objective of this research was aimed to study the thermal and catalytic cracking of palm stearin in a microreactor of 70 ml by varying operating conditions at reaction temperature range 410-450 °C, initial hydrogen pressure 1-5 bars, reaction time 30-90 min, containing 0.5-5.0 % w/w of catalyst and weight of raw material is 20 g. The two level factorial experimental design with two replicates was performed to investigate the effect of variables on oil yield and the obtained liquid fuel analyzed by simulated distillation gas chromatograph. From the results, it was found that temperature, reaction time and the interaction between temperature and reaction time significantly affected oil yield; temperature and the interaction between temperature and reaction time significantly affected naphtha yield; temperature and reaction time significantly affected diesel yield and temperature, reaction time and the interaction between temperature and reaction time significantly affected product conversion. The optimum conditions of catalytic cracking of palm stearin were reaction temperature of 444.69 °C, initial hydrogen pressure 1.59 bars, reaction time 30 min, and containing catalyst 3.61 % w/w. The oil product yield was 64.14 % by weight, which consisted of 32.07 % by weight of naphtha and 20.42 % by weight of diesel and the conversion of palm stearin was 89.96 %.

Department : Chemical Technology Student's Signature *Nanchaya Getubol*
Field of Study : Fuel Technology Advisor's Signature *T. Vitidsant*
Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตรานันต์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ให้ข้อชี้แนะ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการ
ดำเนินงานวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชา
เคมีเทคนิค ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิญา ดวงจันทร์ ประธานกรรมการ และ
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำสำหรับการปรับปรุง
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณประจักษ์ ทรัพย์อุดมมาก คุณชนกพร แซ่อึ้ง และเจ้าหน้าที่
ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และ
ให้คำแนะนำสำหรับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และอุปกรณ์ในงานวิจัยต่าง ๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกคน สำหรับความ
ช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้กรุณาให้การอนุเคราะห์ตัวเร่ง
ปฏิกิริยาเอพซีซีให้แล้วเพื่อนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครอบครัว ที่ให้กำลังใจและ
สนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอดจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

คุณยวathyทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 น้ำมันพืช.....	3
2.2 น้ำมันปาล์ม.....	7
2.2.1 ปาล์มน้ำมัน.....	8
2.2.2 อุตสาหกรรมที่มีน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสม.....	9
2.2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.....	10
2.2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	14
2.2.5 ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	15
2.3 สมบัติของไขมัน และน้ำมัน.....	16
2.3.1 สมบัติทางกายภาพ.....	16
2.3.1.1 จุดหลอมเหลว.....	16
2.3.1.2 จุดแข็งตัว.....	19
2.3.1.3 สภาพการละลาย.....	19
2.3.1.4 ความถ่วงจำเพาะ.....	19
2.3.1.5 ดัชนีหักเห.....	19
2.3.1.6 ความหนืด.....	20

บทที่	หน้า
2.3.1.7 จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ.....	20
2.3.1.8 สี.....	22
2.3.1.9 การเกิดผลึกของไขมัน.....	22
2.3.2 สมบัติทางเคมี.....	23
2.3.2.1 การไฮโดรไลซิส.....	23
2.3.2.2 ฮาโลจีเนชัน.....	24
2.3.2.3 ไฮโดรจีเนชัน.....	24
2.3.2.4 การหีน.....	24
2.3.2.5 Reichert Meissl Number.....	25
2.3.2.6 Polenske Number.....	25
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	25
2.4.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	25
2.4.2 ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิส.....	26
2.4.2.1 ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสแบบเอกพันธ์.....	26
2.4.2.2 ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสแบบวิวิธพันธ์.....	26
2.4.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเอนไซม์.....	26
2.5 ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน.....	27
2.5.1 การแตกตัวด้วยความร้อน.....	27
2.5.2 การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
2.5.3 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม.....	30
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
3. เครื่องมือและการดำเนินการทดลอง.....	38
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	38
3.2 วัตถุประสงค์ในการทดลองและสารเคมี.....	40
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
3.4 วิธีการทดลอง.....	45
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	47
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น.....	47
4.1.1 องค์ประกอบของปาล์มสเตียร์น.....	47

บทที่	หน้า
4.1.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี.....	49
4.2 ผลการทดลองจากกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	53
4.2.1 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	53
4.2.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking).....	55
4.2.1.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	57
4.2.1.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	59
4.2.2 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของแนฟทา (naphtha).....	63
4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking).....	65
4.2.2.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา.....	66
4.2.2.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา.....	68
4.2.3 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของดีเซล (diesel).....	71
4.2.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking).....	73
4.2.3.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของดีเซล.....	74
4.2.3.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของ	

ดีเซล.....	76
4.2.4 การศึกษาร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) จากการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	78
4.2.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking).....	81
4.2.4.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน.....	83
4.2.4.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน.....	85
4.3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสม (Optimum condition) ของกระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	89
4.3.1 การหาภาวะที่เหมาะสมและการทดลองเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว, การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ของกระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	89
4.3.2 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	90
4.3.3 การศึกษาร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	94
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	97
5.2 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของพอลิเมอร์สเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือด.....	

บทที่	หน้า
ของแนฟทา (naphtha).....	97
5.3 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของพาล์ม สเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือด ของดีเซล (diesel).....	98
5.4 การศึกษาร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) จากการแตกตัวของพาล์มสเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	98
5.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสม (Optimum condition) ของกระบวนการแตกตัว ของพาล์มสเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว.....	99
5.6 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของพาล์มสเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้ แล้ว.....	99
5.7 การศึกษาร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตาม คาบจุดเดือด ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตก ตัวของพาล์มสเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว.....	100
5.8 ข้อเสนอแนะ.....	100
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง.....	104
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตาม คาบจุดเดือด (Boiling Distribution).....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช.....	3
2.2	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพืช.....	5
2.3	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ.....	6
2.4	องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืชที่มีการนำมา บริโภคในประเทศไทย.....	7
2.5	จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ.....	17
2.6	สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ.....	18
2.7	ความหนืดของไขมันและน้ำมันบางชนิด.....	20
2.8	จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	21
2.9	ความสัมพันธ์ของจุดเกิดควันต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ด ฝ้าย.....	22
2.10	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อจุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ.....	22
3.1	สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	42
3.2	ระดับของตัวแปรในแต่ละการทดลอง.....	42
3.3	ช่วงคาบจุดเดือดสำหรับการวิเคราะห์การกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph).....	44
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของพาล์มสเตียร์นตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph).....	47
4.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของพาล์มสเตียร์น.....	48
4.3	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	49
4.4	ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	50
4.5	ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	52
4.6	ระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	53
4.7	ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพาล์ม สเตียร์น.....	54

ตารางที่	หน้า
4.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 58
4.9	ร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสดเตียริน..... 63
4.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 68
4.11	ร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสดเตียริน..... 71
4.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 75
4.13	ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสดเตียริน..... 79
4.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 84
4.15	ขอบเขตสำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10..... 89
4.16	ภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วที่คำนวณได้โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10..... 90
4.17	ผลการทดลองที่ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง..... 90
4.18	ภาวะต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสดเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 91
5.1	ผลการทดลองที่ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง..... 99
ก1	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง..... 104
ก2	ผลการวิเคราะห์ร้อยละของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น..... 106
ก3	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และของแข็งที่ภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง..... 108

ตารางที่		หน้า
ก4	ข้อมูลจากการทดลองสำหรับลำดับการทดลองที่ 1 ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1.....	110



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของน้ำมันพืช (a) และน้ำมันดีเซล (b).....	4
2.2	ลักษณะของน้ำมันปาล์มจากเปลือกหุ้มภายนอกหรือเนื้อปาล์ม (palm oil) (a) และน้ำมันปาล์มจากเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) (b).....	8
2.3	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.....	13
2.4	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	14
3.1	เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Micro-reactor).....	38
3.2	ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล และเครื่องเขย่า.....	39
3.3	ปาล์มสเตียรีน (palm stearin).....	40
3.4	ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว (Spent FCC Catalyst).....	40
4.1	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว (a) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียส (b) และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ultrastable Y (USY) ซีโอไลต์ (c).....	51
4.2	Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	56
4.3	เรสิดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	56
4.4	Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว.....	58
4.5	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	59
4.6	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	60
4.7	ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	62
4.8	Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของเนฟทา.....	65
4.9	เรสิดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของเนฟทา.....	66

ภาพที่	หน้า
4.10	Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของเนฟทาจากการแตกตัวของ ปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 67
4.11	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ร้อยละผลได้ของเนฟทา..... 69
4.12	ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อ ร้อยละผลได้ของเนฟทา..... 70
4.13	Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของ ดีเซล..... 73
4.14	เรสิดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของ ดีเซล..... 74
4.15	Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวของ ปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว..... 75
4.16	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ร้อยละผลได้ของดีเซล..... 76
4.17	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล..... 77
4.18	Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละการเปลี่ยน ของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน..... 81
4.19	เรสิดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละการเปลี่ยน ของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน..... 82
4.20	Normal probability plot ของร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของ ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้ แล้ว..... 84
4.21	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน.. 85
4.22	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจาย ตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน..... 86
4.23	ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อ ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน..... 88
4.24	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำอีก ครั้งหนึ่ง (B) เปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสม (A)..... 91
4.25	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (C) เปรียบเทียบกับ ภาวะเดียวกันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (A)..... 92

ภาพที่	หน้า	
4.26	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่ไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (D) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (A).....	93
4.27	ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง (B) เปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสม (A).....	94
4.28	ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (C) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (A).....	95
4.29	ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่ไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (D) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (A).....	96
ข1	แสดงโครมาโทแกรมจากการแยกของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	113
ข2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน (%off) กับจุดเดือดของสารจากโปรแกรม Simulated Distillation.....	113
ข3	ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ.....	114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจและการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของประชาชน ดังจะพบจากข้อมูลสถิติพลังงานประเทศไทยปีพุทธศักราช 2552 ว่าประเทศไทยมีอัตราการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศสูงถึงประมาณ 50,000 ล้านลิตรต่อปี ประกอบกับราคาจำหน่ายน้ำมันที่สูงขึ้นและผันผวนตามสภาวะวิกฤติการณ์ทางพลังงานของโลก จึงทำให้แหล่งพลังงานทางเลือกเช่นพลังงานไบโอดีเซลเป็นที่ได้รับความสนใจ อันเนื่องมาจากไบโอดีเซลมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและยังสามารถผลิตขึ้นได้จากผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศ ทำให้สามารถบรรเทาปัญหาความขาดแคลนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการนำปาล์มสเตียรีนมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วไบโอดีเซลภายในประเทศจะผลิตขึ้นจากน้ำมันปาล์มดิบ และปาล์มสเตียรีน โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้นทำให้ผู้ประกอบการประสบปัญหาสำคัญ ได้แก่ การจัดการกับกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ และการบำบัดน้ำทิ้งปริมาณมากซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิต โดยเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากปาล์มสเตียรีนผ่านกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งนับเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วซึ่งได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัทไทยออยล์ จำกัด ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง สามารถทำการแตกสายโซ่ของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้กลายเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติใกล้เคียงผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปิโตรเลียมได้ โดยปัจจัยที่สนใจศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่สนใจการศึกษานี้ ได้แก่ ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว (liquid fuel) ร้อยละผลได้ของแนฟทา (naphtha) ร้อยละผลได้ของดีเซล (diesel) และ ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของปาล์มสเตียรินเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน ผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก อันได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน แก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาแตกตัวของปาล์มสเตียริน ซึ่งให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากปาล์มสเตียริน ผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา
2. ทราบภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว จากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว
3. ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปิโตรเลียม
4. ใช้เป็นข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการขยายผลสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากปาล์มสเตียรินในภาคอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

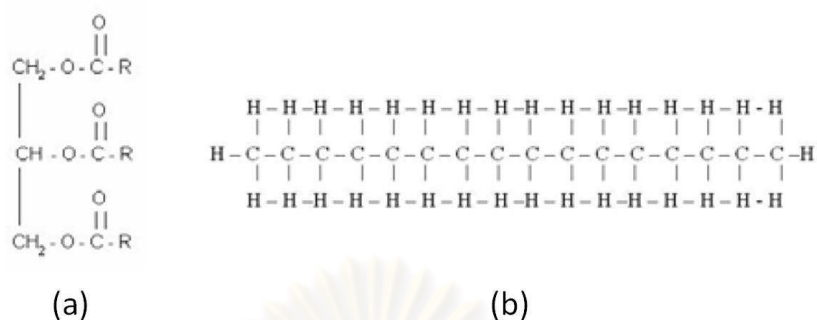
2.1 น้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride = TG) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว สูตรโครงสร้างของน้ำมันพืชเทียบน้ำมันดีเซลแสดงดังรูปที่ 2.1 น้ำมันพืชและสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนัก โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ทำให้สมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพของน้ำมันพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช

Name	Molecular Weight	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Heat of Combustion (kJ/kg)
Caprylic acid ; 8:0	144.22	16.5	239.3	–
Capric acid ; 10:0	172.27	31.5	270	35291.37
Lauric acid ; 12:0	200.32	44	131	36828.26
Myristic acid ; 14:0	228.38	58	250.5	37996.41
Palmitic acid ; 16:0	256.43	63	350	38942.46
Stearic acid ; 18:0	284.48	71	360	39653.28
Oleic acid ; 18:1	282.47	16	286	39361.92
Linoleic acid ; 18:2	280.45	-5	229-230	–
Linolenic acid ; 18:3	278.44	-11	230-232	–
Erucic acid ; 22:1	338.58	33-34	265	–

ที่มา: Fuel and chemical from biomass, 1st ed., Washington: ACS Publication, 1996.



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของน้ำมันพืช (a) และน้ำมันดีเซล (b)

นอกจากกรดไขมันเหล่านี้ ยังมีกรดไขมันอื่น ๆ อีกมากที่พบในน้ำมันพืชและไขสัตว์แต่มีในปริมาณน้อย ซึ่งน้ำมันพืชและไขสัตว์ส่วนใหญ่แล้วมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว น้ำมันพืชและไขสัตว์ที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.2 ดังนั้นสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพืช

Oil or Fat	Fatty Acid Composition (wt.%)							
	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	22:1
Babassu	44-45	15-17	5-9	2-5.5	12-16	1.4-3		
Canola			4-5	1-2	55-63	20-31	9-10	1-2
Coconut	44-51	13-18	7-10	1-3	5-8.2	1-2.6		
Corn			7-13	2-3	30-43	39-52	1	
Cottonseed		0.8-1.5	22-24	2.6-5	19	50-52		
Linseed			6	3-4	13-37	5-23	26-60	
Olive		1.3	7-18.3	1.4-3.3	55-84	4-19		
Palm		0.6-2.4	32-46	4-6.3	37-53	6-12		
Peanut		0.5	6-12.5	2.5-6	37-61	13-41		
Rapeseed		1.5	1-4.7	1-3.5	13-38	9.5-22	1-10	40-64
Safflower			6.4-7	2.4-29	9-13.8	75-80		
Safflower High-oleic			4-8	2.3-8	73-79	11-19		
Sesame			7.2-9.2	5.8-7.7	35-46	35-48		
Soybean			2.3-11	2.4-6	22-30.8	49-53	2-10.5	
Sunflower			3.5-6.5	1.3-5.6	14-43	44-68		
Tallow		3-6	25-37	14-29	26-50	1-2.5		

ที่มา: Fuel and chemical from biomass, 1st ed., Washington: ACS Publication, 1996.

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

Oil or Fat	Iodine Value	Cetane Number	Heat of Combustion (kJ/kg)	Viscosity (mm ² /s) (38°C)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)
Babassu	10-18	38	—	30.3	20	—	150
Castor	82-88	—	39500	29.7	—	-31.7	260
Coconut	6-12	—	—	—	—	—	—
Corn	103-140	37.6	39500	34.9	-1.1	-40.0	277
Cottonseed	90-119	41.8	39468	33.5	1.7	-15.0	234
Crambe	93	44.6	40482	53.6	10.0	-12.2	274
Linseed	168-204	34.6	39307	27.2	1.7	-15.0	241
Olive	75-94	49.3	39700	29.4	—	—	—
Palm	35-61	42	39550	39.6	31	—	267
Peanut	80-106	41.8	39782	39.6	12.8	-6.7	271
Rapeseed	94-120	37.6	39709	37.0	-3.9	-31.7	246
Safflower	126-152	41.3	39519	31.3	18.3	-6.7	260
Safflower High-oleic	90-100	49.1	39516	41.2	-12.2	-20.6	293
Sesame	104-120	40.2	39349	35.5	-3.9	-9.4	260
Sunflower	110-143	37.1	39575	37.1	7.2	-15.0	274
Tallow	35-48	—	40054	51.15	—	—	201
No.2 DF	—	47	45343	2.7	-15.0	-33.0	52

ที่มา: Fuel and chemical from biomass, 1st ed., Washington: ACS Publication, 1996.

องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืช คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) ปริมาณสัดส่วนของกรดทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4 โดยเฉพาะการนำไปบริโภคพบว่า น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว เหมาะสำหรับการทอด จะช่วยให้อาหารไม่เหม็นหืนง่าย อันเนื่องมาจากการมีน้ำมันตกค้างในอาหารหลังจากการทอดและกรอบได้นาน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันรำข้าว และน้ำมันข้าวโพด เหมาะสำหรับ

ประกอบอาหารโดยทั่วไป แต่ไม่ควรใช้อุณหภูมิมากกว่า 180 °C เพื่อป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดมะเร็ง ดังนั้นจึงควรบริโภคน้ำมันพืชทุกชนิด เพื่อให้ร่างกายได้รับองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันพืชแต่ละชนิดเท่าเทียมกัน

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืชที่มีการนำมาบริโภคในประเทศไทย

ชนิดของน้ำมันพืช	ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (%)	ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (%)
น้ำมันถั่วเหลือง	11.33	88.67
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	10.71	89.29
น้ำมันข้าวโพด	13.00	87.00
น้ำมันรำข้าว	21.60	78.40
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	44.91	55.09
น้ำมันปาล์ม	56.98	43.02
น้ำมันมะพร้าว	90.52	9.48

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2.2 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากจะนำมาทำเครื่องบริโภคแล้ว ยังสามารถดัดแปลงให้เป็นส่วนผสมสำหรับทำเป็นเครื่องอุปโภคได้หลายชนิด ซึ่งส่วนต่าง ๆ จากปาล์มสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ทุกส่วน นับว่าเป็นพืชที่มีคุณค่าอย่างแท้จริง ความพิเศษของปาล์มเมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันประกอบอาหาร คือน้ำมันที่ได้นั้นจะไม่มีกลิ่น หรือรสที่ทำให้อาหารเสียรสชาติ จึงนิยมนำมาใช้ประกอบอาหารปรุงสำเร็จทันที เช่น ปาท่องโก๋ ทอดมัน ถั่วทอด ข้าวเกรียบทอด ซึ่งนอกจากนี้ ส่วนอื่น ๆ ของปาล์มก็สามารถทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น กากของเมล็ดในปาล์มเป็นส่วนที่มีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ ทะลายปาล์มเปล้าของปาล์มนั้นนำกลับไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์ม หรือเป็นวัสดุการเพาะเห็ดฟางได้ ส่วนน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้วจะยังคงมีธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์ม และให้ความชื้นแก่ต้นปาล์มได้ นอกจากนี้กะลาเปล้าและไซปาล์มก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานแก่โรงงานได้อีกด้วย

2.2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6-0.8 ตัน/ไร่/ปี และมีราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น น้ำมันปาล์มเกิดขึ้นจากผลปาล์ม 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้แก่ น้ำมันปาล์มจากเปลือกหุ้มภายนอกหรือเนื้อปาล์ม และจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งน้ำมันเมล็ดในปาล์มประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85-90 ทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เครื่องสำอาง ผงซักฟอก และเรซิน เป็นต้น ส่วนน้ำมันจากเปลือกของปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัว (กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก) ร้อยละ 50 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (กรดโอเลอิก) ร้อยละ 40 วิตามินเอ และวิตามินอี ดังนั้นน้ำมันปาล์มดิบจึงมีลักษณะเป็นของเหลวผสมกับของแข็ง ซึ่งการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตไบโอดีเซลจะช่วยลดต้นทุนในการสกัดลงได้ แต่ถ้านำน้ำมันปาล์มดิบมาสกัดแยก ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) ร้อยละ 61 โดยใช้เป็นน้ำมันพืชบริโภคเป็นหลัก อีกส่วนคือปาล์มสเตียริน (palm stearin) ร้อยละ 39 ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม ไขมันผสม และสบู่ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณผลผลิต และสมบัติของน้ำมันพืช น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และปาล์มสเตียรินมีแนวโน้มสูงที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความต้องการเป็นอาหารน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่นและช่วยลดปัญหาการล้นตลาดของปาล์มสเตียรินด้วย



รูปที่ 2.2 ลักษณะของน้ำมันปาล์มจากเปลือกหุ้มภายนอกหรือเนื้อปาล์ม (palm oil) (a) และน้ำมันปาล์มจากเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) (b)

2.2.2 อุตสาหกรรมที่มีน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสม

อุตสาหกรรมที่มีน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อุตสาหกรรมอาหารและน้ำมันสำหรับบริโภค ได้แก่ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อุตสาหกรรมผลิตนมข้นหวาน อุตสาหกรรมการผลิตครีมเทียม อุตสาหกรรมการผลิตเนยขาว อุตสาหกรรมการผลิตขนม (Biscuit) ขนมอบกรอบ (Fashion Foods or Snacks) และเบเกอรี่

2. อุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตสบู่, อุตสาหกรรมออร์โกลิคคอลล ซึ่งอุตสาหกรรมนี้เป็นอุตสาหกรรมการผลิตสารลดแรงตึงผิว ทั้งที่เป็นอาหาร และไม่ใช่อาหาร เช่น สีทาบ้าน และผลิตภัณฑ์จากยาง นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมผลิตสารทดแทนไขมันจากน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมผลิตเมธิลเอสเทอร์ และ อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น

น้ำมันปาล์มนั้นนอกจากจะมีคุณสมบัติดีเด่นด้านอุตสาหกรรมแล้ว ยังเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการดีเด่นอีกด้วย จากการวิจัยคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มพบว่า น้ำมันปาล์มเป็นแหล่งรวมวิตามินอี ในปริมาณสูงสุด เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ วิตามินอีที่เรารู้จักประกอบไปด้วยโทโคฟีรอล(Tocopherol), โทโคไตรนอล (Tocotrienol) และอยู่ในรูปของแอลฟา เบต้าแกมมา และเดลตา ซึ่งโทโคฟีรอลนั้นเป็นสารต้านทานการออกซิไดซ์ตามธรรมชาติ คือ จะทำให้น้ำมันไม่เหม็นหืนง่าย ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ รักษาแผลไฟไหม้ แผลผ่าตัด แผลงูสวัด และทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดพิษในร่างกาย ป้องกันความผิดปกติเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ และการแท้งลูก อีกทั้งยังปรากฏว่าน้ำมันปาล์มดิบมีสารเบต้าแคโรทีน เป็นสารที่ช่วยลดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ป้องกันโรคมะเร็งที่เนื้อเยื่อพีทีเลียล ผนังเยื่อจมูก เนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง ช่วยยืดอายุความเป็นหนุ่มสาว ช่วยชะลอความแก่ชรา ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกอ่อน กระดูกและฟัน แต่สารเบต้าแคโรทีนนี้จะถูกกำจัดไปเมื่อน้ำมันผ่านการผลิตขั้นตอนการกลั่นใส จึงทำให้ประชากรของทวีปแอฟริกาตะวันออก อเมริกาใต้ และบางประเทศออกมาเรียกร้องให้มีการกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยความร้อนต่ำเพื่อ ป้องกันการสูญเสียสารเบต้าแคโรทีน อันมีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างยิ่ง

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อปาล์ม ยังประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในปริมาณที่เท่ากัน มีกรดไขมันเป็นกรดเดี่ยว (Monounsaturated) คือ กรดโอเลอิก 43% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหมู่ (poly-unsaturated) คือ กรดลิโนเลอิก 11 % เป็นกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย โดยที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ ซึ่งผลจากการวิจัยรายงานว่ากรดไขมันที่เป็นกรดเดี่ยวคือกรดโอเลอิก นั้นสามารถลดโคเลสเตอรอลในเลือดได้ด้วย

2.2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

1. การนำส่งทะเลลายปาล์มสด

ควรนำผลปาล์มสดเข้ากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบให้เร็วที่สุด เนื่องจากผลปาล์มสดมีเอนไซม์อยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มในผลปาล์มสดเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA) ซึ่งในน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ไม่ควรจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากเกินไป เพราะมีผลต่อคุณภาพและราคาของน้ำมันปาล์มดิบที่จะจำหน่ายต่อไป

2. การนึ่งปาล์ม (Sterilization)

การนึ่งผลปาล์มสดในแต่ละครั้งจะทำ การบรรจุผลปาล์มสดในหม้อนึ่งความดัน (หม้ออบ) โดยการนึ่งจะใช้ไอน้ำโดยมีสภาวะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ	130 - 150	องศาเซลเซียส
ความดัน	3	บาร์
ระยะเวลาในการนึ่ง (ต่อรอบ)	2	ชั่วโมง
ระยะเวลาที่ใช้หนึ่ง	65 - 75	นาที

การนึ่งผลปาล์มสดมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเปิดกรดไขมันอิสระ อันเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน นอกจากนี้การนึ่งผลปาล์มสดยังทำให้ซั้วผลปาล์มนิ่มซึ่งจะทำให้ผลปาล์มหลุดร่วงจากทะเลลายปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มเปื่อยยุ่ยง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน

ในขั้นตอนการนึ่งจะมีน้ำที่ก่เกิดขึ้นในหม้อนึ่ง ซึ่งเกิดจากไอน้ำกลั่นตัว และไอน้ำของน้ำมันปาล์มปนอยู่ น้ำที่นี้มีสารแขวนลอยปนอยู่น้อยมาก ดังนั้นการสกัดแยกน้ำมันและน้ำออกจากกันจะทำได้ง่าย จึงควรนำน้ำทิ้งจากหม้อนึ่งไปทำการแยกน้ำมันและน้ำออกจากกันก่อน โดยไม่นำน้ำทิ้งนี้ไปรวมกับน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เพราะน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดจะมีสารแขวนลอยปนอยู่สูง ทำให้การแยกน้ำมันออกมาทำได้ยากกว่า แล้วนำน้ำที่ได้จากการแยกนี้กลับไปเข้าเครื่องบีบน้ำมันต่อไป ซึ่งจะช่วยลดการใช้ไฟที่ต้องเติมลงไป ในขั้นตอนดังกล่าวได้

3. การแยกผลปาล์ม (Bunch Stripping)

ผลปาล์มสดที่หนึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์ม เพื่อแยกผลปาล์มและทะลายปาล์มเปล่าออกจากกัน (rotary drum thresher) ในอดีตทะลายปาล์มเปล่าจะถูกแยกเก็บแล้วนำไปเผาเพื่อลดปริมาณทะลายปาล์ม แต่ปัจจุบันได้มีการนำมากมดินในสวนปาล์มหรือนำไปใช้ในการเพาะเห็ด

4. การย่อยผลปาล์ม (Digestion)

ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยหรือหม้อกวน (Digesters) ซึ่งมีใบกวนเพื่อกวนผลปาล์มให้ย่อย ในหม้อกวนจะใช้อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส และกวนไว้ประมาณ 15 นาที แล้วจึงป้อนไปยังขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป

5. การสกัดน้ำมัน และการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง

ทำการสกัดน้ำมันจากเนื้อปาล์มด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด (Screw Press) ส่วนที่เป็นของแข็ง (Pressed Cake) ซึ่งประกอบด้วยเมล็ด (Nut) และเส้นใย (Fiber) จะถูกแยกออกจากกันโดยใช้ระบบไซโคลนซึ่งเป็นระบบแยกด้วยลม หลังจากนั้นนำเมล็ดปาล์มที่แยกได้ไปเข้าเครื่องกะเทาะ เพื่อให้เมล็ดแตกเป็นเมล็ดใน (Kernel) และกะลา (Shell) แล้วนำเมล็ดในและกะลาไปเข้าระบบแยกด้วยลม และความถ่วงจำเพาะ (Clay Bath) เพื่อแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกัน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่จะขายเมล็ดในให้โรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดใน (Crude Palm Kernel Oil : CPKO) แล้วนำเส้นใยไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงาน ส่วนกะลาจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำหรือขายให้กับผู้รับซื้อ

6. การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ การกรองกาก และการกำจัดความชื้น

6.1 การกรองน้ำมันดิบ: เป็นการนำน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ไปผ่านตะแกรงสั่น (Vibrating Screen) เพื่อแยกกากเส้นใย และของแข็งขนาดเล็ก เช่น เศษทราย ออกจากน้ำมันดิบ

6.2 การแยกน้ำมันในถังตกจม: เป็นการแยกน้ำมัน และส่วนปนเปื้อนออกจากกัน (น้ำและอนุภาคของแข็งที่ยังเหลืออยู่) โดยใช้ถังตกจม (Settling Tank) และให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรงหรืออาจจะให้ความร้อนผ่านท่อปิดก็ได้ การแยกน้ำมันและน้ำออกจากกันจะอาศัยแรงโน้มถ่วงในการแยก โดยน้ำและอนุภาคของแข็งจะจมอยู่ด้านล่างของถังตกจม ส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ด้านบนของถังจะนำไปผ่านกรวยดักเก็บ (Skimmer) เพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป เนื่องจากน้ำที่แยกได้จากถังตกจมยังมีน้ำมันและอนุภาคของแข็งเจือปนอยู่ (เรียกส่วนผสมนี้ว่าน้ำสลัดจ์) และต้อง

นำไปผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก 3 เฟส (Decanter) ซึ่งสามารถแยกเอาน้ำ น้ำมัน และกากของแข็ง (Decanter Cake) ออกจากกันได้ น้ำมันที่ได้จะนำไปรวมกับน้ำมันที่ได้จากถังตกจมแล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์ต่อไป ส่วนน้ำที่ได้จะนำไปแยกน้ำอีกครั้ง โดยใช้บ่อซึ่งมีการพ่นไอน้ำผสมลงไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้งให้สูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันแยกตัวจากน้ำได้ดีขึ้น น้ำมันที่ได้จากบ่อนี้จะนำกลับไปรวมกับน้ำมันที่ได้จากถังตกจม ส่วนน้ำที่เหลืออยู่ในบ่อจะส่งไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

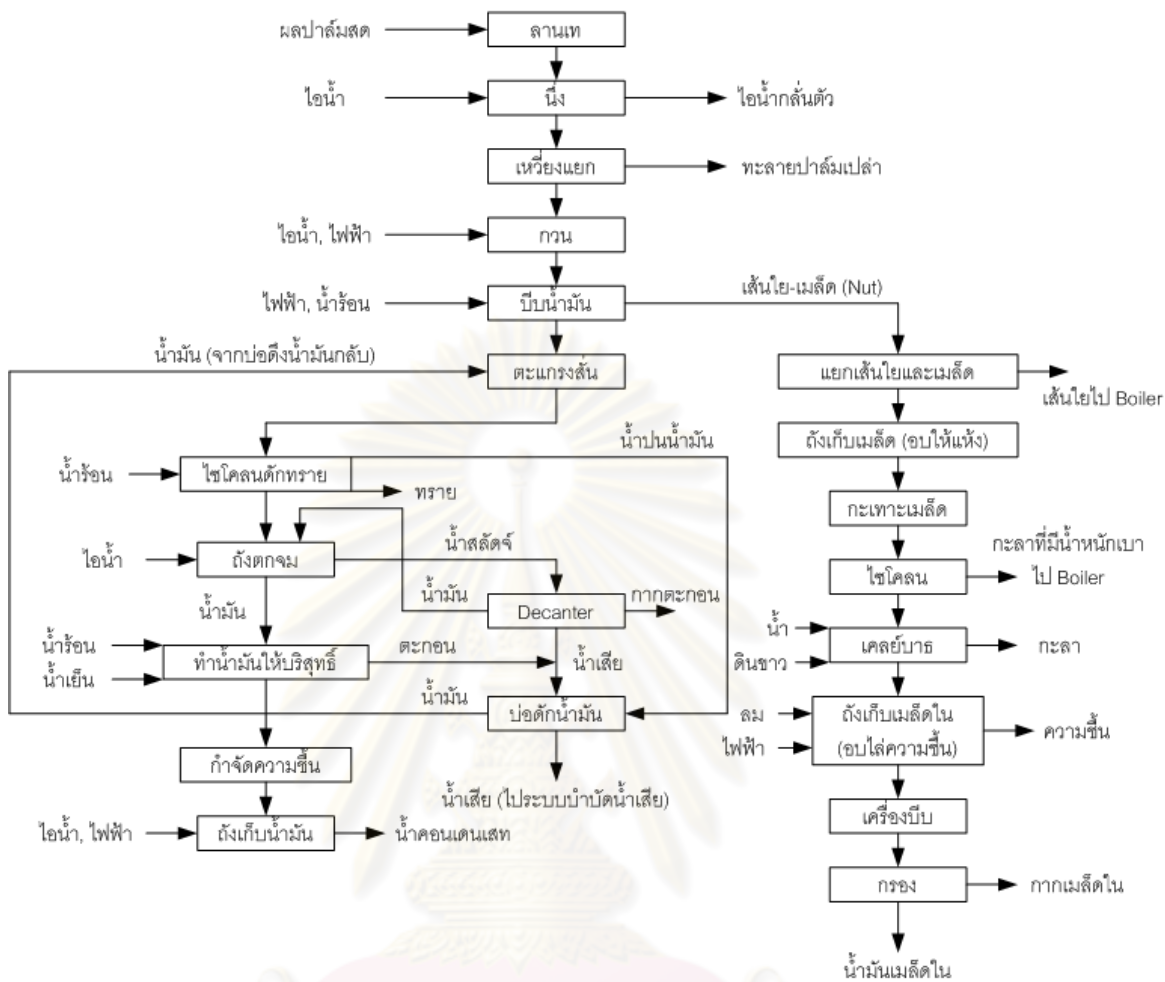
6.3 การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์: น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการแยกจะมีความชื้น และสิ่งเจือปนต่าง ๆ อยู่จึงต้องนำน้ำมันปาล์มดิบนี้ผ่านเข้าเครื่องทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Purifier) เพื่อเหวี่ยงแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

6.4 การกำจัดความชื้น: น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ยังคงมีน้ำเจือปนอยู่เล็กน้อย การกำจัดน้ำออกทำได้โดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum) โดยจะควบคุมค่าความชื้นและสิ่งสกปรกในน้ำมันปาล์มดิบให้มีค่ารวมกันไม่เกินร้อยละ 0.5 น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะนำไปเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อส่งขายไปยังโรงกลั่นน้ำมันพืชต่อไป

7. การบีบน้ำมันเมล็ดใน

เป็นการนำเมล็ดที่ได้จากการกะเทาะไปทำการบีบเอาน้ำมันเมล็ดในออกมา โดยจะมีกากเมล็ดในเกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนเมล็ดในที่ได้จะนำไปขายต่อซึ่งราคาของน้ำมันเมล็ดในจะมีราคาสูงกว่าราคาของน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

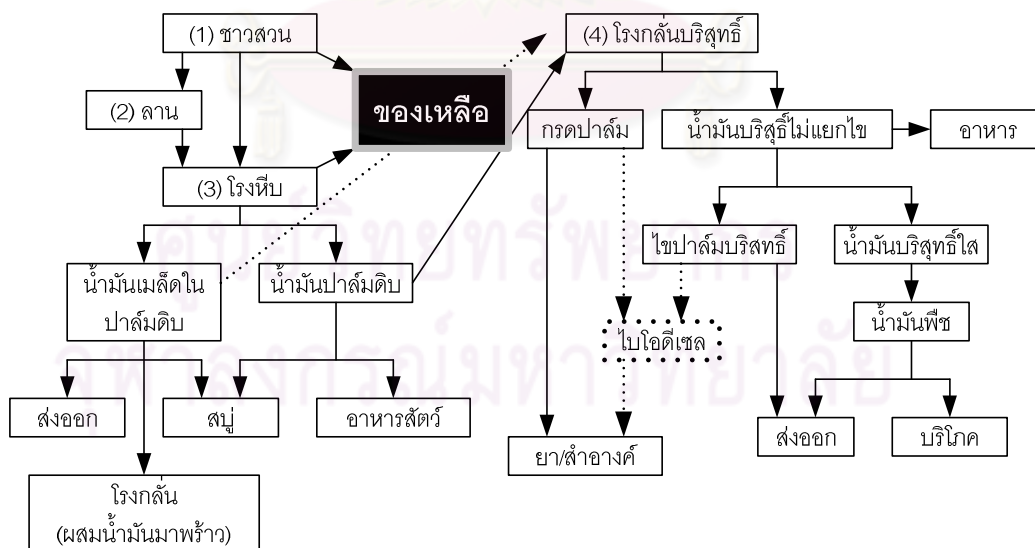


รูปที่ 2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

2.2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

1. การรับซื้อผลปาล์มจากชาวสวนจะมีการควบคุมให้นำผลปาล์มเข้าสู่โรงงานไม่เกิน 2 วัน เนื่องจากผลปาล์มสดมีเอนไซม์อยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มในผลปาล์มสดเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระมากเกินไป
2. นำผลปาล์มเข้าสู่ลานเทเพื่อทำการแยกผลปาล์มสดออกจากทะลายปาล์มโดยใช้เครื่องฉีกทะลาย
3. นำผลปาล์มเข้าสู่โรงหีบ ทำการบีบน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์มสดโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน จะได้น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มดิบ
4. นำส่วนของน้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อแยกเลซิติน จากนั้นนำน้ำมันมาทำให้เป็นกลาง แยกไขมันออก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดปาล์มและน้ำมันบริสุทธิ์ไม่แยกไข
5. นำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่แยกไขมาทำการแยกได้ผลิตภัณฑ์เป็นไขปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันบริสุทธิ์ เติมไฮโดรเจน ฟอกสีและกำจัดกลิ่น จากนั้นนำน้ำมันพืชที่ได้เข้าสู่กระบวนการบรรจุใส่ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ตัวอย่างวิถีตลาดปาล์มน้ำมันไทย



รูปที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

2.2.5 ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

1. CPO: Crude Palm Oil

น้ำมันปาล์มดิบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดผลปาล์มสด (fresh fruit bunch) มีลักษณะขุ่น สีส้มขุ่น ณ อุณหภูมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

2. RPO: Refined Bleached Deodorized Palm Oil

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน ณ อุณหภูมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมผลิตขนมปังสำเร็จรูป เนยเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน สบู่ เป็นต้น

3. ROL: Refined Bleached Deodorized Palm Olein

น้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) มีลักษณะใส สีเหลือง ณ อุณหภูมิปกติ และไม่มีสิ่งเจือปน ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป เป็นต้น รวมถึงการนำไปใช้ในการประกอบอาหารบริโภคภายในครัวเรือนอีกด้วย

4. RHST: Refined Bleached Deodorized Palm Stearin

ไขปาล์มบริสุทธิ์ หรือปาล์มสเตียริน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ณ อุณหภูมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เนยเทียม เนยขาว ครีมฉาบหน้าขนม เป็นต้น รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตสบู่ และอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอลด้วย

5. PFAD: Palm Fatty Acid Distillate

กรดไขมันปาล์ม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาลอ่อน ณ อุณหภูมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ผลิตภัณฑ์วิตามินอี อุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอลรวมถึงอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลด้วย

6. KO: Crude Palm Kernel Oil

น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดเมล็ดในปาล์ม (kernel) มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอมน้ำตาล หน อุดหนุมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

7. RKO: Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil

น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (KO) มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน หน อุดหนุมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ และอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมข้นหวาน ไอศกรีม เนยขาว เป็นต้น

8. KFAD: Palm Kernel Fatty Acid Distillate

กรดไขมันเมล็ดในปาล์ม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (KO) มีลักษณะใส สีเหลือง หน อุดหนุมิปกติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอลรวมถึงอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลด้วย

9. KM: Kernel Meal

กากเมล็ดในปาล์ม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดในปาล์ม (Kernel) มีลักษณะเป็นเกล็ดละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์ใหญ่

2.3 สมบัติของไขมัน และน้ำมัน

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นไขมันและน้ำมันนั้น ๆ ได้แก่

2.3.1.1 จุดหลอมเหลว (melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลวจนหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นช่วงกว้างหรือแคบ ขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของ

ไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

กรดไขมัน		จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว			
C 4:0	กรดบิวทีริก	-5.3	164
C 6:0	กรดคาไพโรอิก	-3.2	206
C 8:0	กรดคาไพโรลิก	16.5	240
C 10:0	กรดคาพริก	31.6	271
C 12:0	กรดลอริก	44.8	130
C 14:0	กรดไมริสติก	54.4	149
C 16:0	กรดปาล์มิติก	62.9	67
C 18:0	กรดสเตียริก	70.1	184
C 20:0	กรดอะราคิติก	76.1	204
C 22:0	กรดบีฮีนิก	79.9	-
C 24:0	กรดลิกโนเซริก	84.2	-
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว			
C 16:1	กรดปาล์มิโตเลอิก	0.5	-
C 18:1	กรดโอเลอิก	16.3	-
C 22:1	กรดอีรูซิก	33.7	-
C 18:2	กรดลิโนเลอิก	-0.5	-
C 18:3	กรดลิโนเลนิก	-11.0	-
C 20:4	กรดอะราคิโดนิก	-49.5	-

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

เมื่อนำไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ไขมันจะค่อย ๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดของไขมัน และน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	T _{iter} (°C)	ความถ่วงจำเพาะ	การหักเหของ แสง
ไขมัน	44-51	43-48	0.857-0.860	1.454-1.458
ไขวัว	40-48	40-47	0.860-0.870	1.454-1.458
เนย	28-36	33-38	0.865-0.870	1.453-1.456
โคคาบัตเตอร์	28-36	45-50	0.990-0.998	1.450-1.458
น้ำมันมะพร้าว	23-28	20-24	0.917-0.919	1.448-1.450
น้ำมันข้าวโพด	-10 ถึง -12	14-20	0.922-0.926	1.470-1.474
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-2 ถึง +2	31-37	0.916-0.980	1.463-1.470
น้ำมันหมู	33-46	34-42	0.858-0.864	1.459-1.461
น้ำมันลินสีด	-16 ถึง -25	19-21	0.931-0.938	1.477-1.482
น้ำมันมะกอก	-3 ถึง 0	17-26	0.909-0.915	1.466-1.468
น้ำมันปาล์มเคอนล	24-28	20-28	0.860-0.873	1.449-1.452
น้ำมันปาล์ม	27-50	40-47	0.921-0.925	1.453-1.456
น้ำมันถั่วลิสง	-2	26-32	0.917-0.921	1.467-1.470
น้ำมันงา	-4 ถึง 0	20-25	0.920-0.926	1.470-1.474
น้ำมันถั่วเหลือง	-20 ถึง -23	20-21	0.924-0.928	1.474-1.476
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	-16 ถึง -18	16-20	0.922-0.926	1.472-1.474
น้ำมันปลาวาฬ	-	22-24	0.917-0.927	1.470-1.477

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

2.3.1.2 **จุดแข็งตัว (solidifying point)** คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งเรียกว่า เกิด solidification และเรียกจุดนี้ว่า solidifying point อุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลาย ๆ ชนิดผสมกัน จุดแข็งตัวจะเป็นช่วงกว้าง เมื่อนำไขมันหรือน้ำมันมาทำการไฮโดรไลซิสด้วยต่างจนได้เป็นกรดไขมันเมื่อปล่อยให้เย็นลง อุณหภูมิที่กรดไขมันเริ่มแข็งตัวเป็นผลึกเรียกว่า T_{iter} ไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดมี T_{iter} แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6

2.3.1.3 **สภาพการละลาย (solubility)** ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม อะซิโตน เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไซโคลเฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ พวกที่เป็น unsymmetrical mixed triglycerides ละลายได้ดีกว่าพวกที่เป็น symmetrical triglycerides การละลายของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้การละลายของกรดไขมันในตัวทำละลายชนิดไฮโดรโฟบิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อโมเลกุลของกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่การละลายของกรดไขมันจะลดลงในตัวทำละลายชนิดไฮโดรฟิลิก

2.3.1.4 **ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)** ความถ่วงจำเพาะของไขมันหรือน้ำมันนิยามวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็ง และมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.6

2.3.1.5 **ดัชนีหักเห (Refractive index)** เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะเลน้ำมันตัวอย่าง จะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจชนิดคุณภาพและความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยามวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะทำให้

ไขมันและน้ำมันที่มีการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้จำนวนของพันธะคู่และจะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง นอกจากนี้ค่าการหักเหของแสง ยังใช้ติดตามปฏิกิริยาในกระบวนการเติมไฮโดรเจนว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ค่าการหักเหของแสงวัดได้โดยใช้เครื่องมือ Refractometer เช่น Adde Refractometer ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.6

2.3.1.6 ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของไขมันและน้ำมันที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความหนืดของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ชนิดของน้ำมัน	ความหนืด (เซนติพอยส์)		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	38	50	99	100
น้ำมันหมู	44	25	9	-
ไขวัว	-	34	-	10
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	36	-	8	-
น้ำมันถั่วเหลือง	29	-	8	-
น้ำมันมะพร้าว	30	-	6	-
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	33	-	8	-

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

2.3.1.7 จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ

— จุดเกิดควัน (Smoke point) คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น เป็นสมบัติที่สำคัญของไขมันและน้ำมันในการจะนำไปใช้ทอดอาหาร น้ำมันหรือไขมันสำหรับใช้ทอดอาหารที่ดีต้องทนต่อความร้อนไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดควัน

ขณะทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย จุดที่เป็นควันของน้ำมันและไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน เวลาที่ใช้ทอดผิวหน้าของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสผิวกากอากาศขณะทอดและเศษผงหรือสารอื่นๆ ที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน

— จุดวาบไฟ (Flash point) คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดติดไฟ

— จุดติดไฟ (Fire point) คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟของน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 จุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	จุดเกิดควัน		จุดวาบไฟ		จุดติดไฟ	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
น้ำมันละหุ่ง (refined)	392	200	568	298	635	335
น้ำมันละหุ่ง (dehydrated)	348	176	570	299	638	337
น้ำมันข้าวโพด (crude)	352	178	562	294	655	346
น้ำมันข้าวโพด (refined)	440	227	618	26	678	359
น้ำมันลินสีด (raw)	325	163	540	287	667	353
น้ำมันลินสีด (refined)	320	160	588	309	680	360
น้ำมันมะกอก (virgin)	391	199	610	321	682	361
น้ำมันถั่วเหลือง (expeller, crude)	357	181	564	296	664	351
น้ำมันถั่วเหลือง (extract, crude)	410	210	603	317	670	354
น้ำมันถั่วเหลือง (refined)	492	256	618	326	673	356

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน มีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นค่า Smoke point จะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.9 รวมทั้งจุดวาบไฟและจุดติดไฟด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของจุดเกิดควันต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดฝ้าย

กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	จุดเกิดควัน (องศาฟาเรนไฮต์)
0.01	450
1.00	320
10.00	260
100.00	200

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

ตารางที่ 2.10 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อจุดเกิดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	จุดเกิดควัน (องศาฟาเรนไฮต์)	จุดวาบไฟ (องศาฟาเรนไฮต์)	จุดติดไฟ (องศาฟาเรนไฮต์)
0.04	425	620	690
1.00	320	585	680

ที่มา: เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

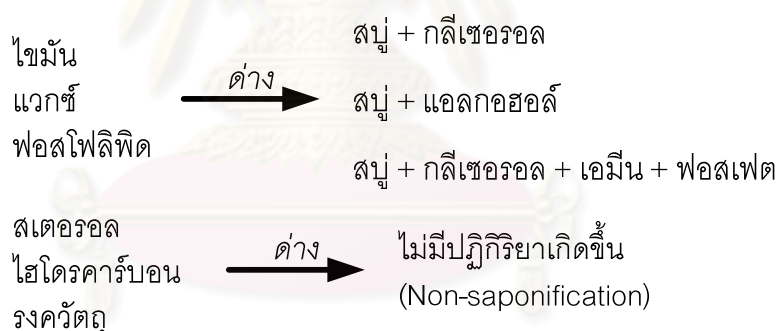
2.3.1.8 สี (Color) สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาสกัดเป็นน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม หากรงควัตถุตามธรรมชาติของน้ำมันเป็นสารแคโรทีน ไม่ควรกำจัดออกเพราะจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับน้ำมัน

2.3.1.9 การเกิดผลึกของไขมัน ไขมันต่างจากน้ำมัน คือ ไขมันเป็นของแข็งและน้ำมันเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิห้องไขมันที่เป็นของแข็งจะมีลักษณะเป็นผลึก ขนาดและจำนวนผลึกที่เกิดขึ้นจะผันแปรตามชนิดของไขมัน และอุณหภูมิขณะเกิดผลึก ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของผลึกจะอยู่ในช่วง 0.1-0.5 ไมโครเมตร บางครั้งผลึกอาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 50-100 ไมโครเมตร ทำให้มองเห็นเป็นเม็ดๆ เมื่อดูด้วยตาเปล่าหรือสัมผัสได้ด้วยลิ้น การเกิดผลึกของไขมันเป็นแบบตาข่าย 3 มิติ (three-dimensional network) จำนวนและขนาดของผลึกจะเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกายภาพด้วย เช่น มีผลต่อความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของไขมัน รวมทั้งความแข็งแรงของโครงสร้างแบบตาข่าย ผลึกของไขมันจะเกาะตัวกันด้วยแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นพันธะที่มีแรงยึดเพียงเล็กน้อย (weak bond) ดังนั้นระหว่างการนวดแป้งที่มีไขมันผสมอยู่ด้วย

พันธะระหว่างผลึกของไขมันจะแยกออกจากกันได้ง่าย พันธะบางส่วนอาจจะกลับมาจับกันใหม่ได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของผลึกที่เป็นแบบตาข่ายในผลิตภัณฑ์จะถูกทำลายไปบางส่วนเรียกว่าธิโซโทรปิก (Thixotropic) โครงสร้างแบบตาข่ายของผลึกไขมันสังเกตได้โดยใช้กล้องไมโครสโคปชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscopy)

2.3.2 สมบัติทางเคมี

2.3.2.1 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ไขมันและน้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ด่างและเอนไซม์ การไฮโดรไลซิสด้วยด่างเรียกว่าแซพอนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ลิพิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเรียกว่า แซพอนิฟิเคชันแมทเทอร์ (saponifiable matter) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิดและซีมีง ส่วนลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า อันแซพอนิฟิเคชันแมทเทอร์ (unsaponifiable matter) หรือ นอนแซพอนิฟิเคเบิลแมทเทอร์ (non-saponifiable matter) เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล ปฏิกริยาการไฮโดรไลซิสลิพิดชนิดต่างๆ ด้วยด่างสรุปได้ดังนี้



ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิดมักมีไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันจำนวนหนึ่งจะมีค่าแน่นอนและเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดได้เรียกค่านี้ว่าเลขแซพอนิฟิเคชัน (Saponification Number (S.N.)) หรือค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification Value (S.V.))

เลขแซพอนิฟิเคชัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่หรือกลีเซอรอล ค่า S.N. ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวน

มาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกันถ้าค่า S.N. ต่ำแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสน้อย

2.3.2.2 ฮาโลจิเนชัน (Halogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิพิด ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวชี้บ่งปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวคือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่าเลขไอโอดีน (Iodine Number (I.N.)) หรือค่าไอโอดีน (Iodine Value)

เลขไอโอดีน คือจำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม ถ้าเลขไอโอดีนสูง เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าเลขไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมาก และจะเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (oxidative rancidity) ได้ง่ายด้วย

น้ำมันที่มีเลขไอโอดีนสูง ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณมากนั้นจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงด้วย เพราะน้ำมันที่มีเลขไอโอดีนสูงจะมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายอยู่มาก

2.3.2.3 ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมัน โดยใช้ให้เกิดเป็นตัวแรงแจกเรียกปฏิกิริยานี้ว่า การแข็งตัว (hardening) การทำไฮโดรจิเนชันจะทำให้ไขมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนเป็นของแข็งและมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ระหว่างกระบวนการทำให้ไฮโดรจิเนชันบางส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่ในรูป ซิสไอโซเมอร์ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป ทรานส์ไอโซเมอร์ ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันและความดันโลหิตสูง

2.3.2.4 การหืน (Rancidity) การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันทำให้มีกลิ่นผิดปกติ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

1. การสลายไขมัน (Lipolysis) เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเตอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ต่างและความชื้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตาม การเกิดลิพอไลซิสจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นขณะทอดอาหารที่มีน้ำหรือความชื้น

สูงและใช้อุณหภูมิสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไลโปไลซิส ยังมีผลทำให้ อุณหภูมิที่เกิดควันและแรงตึงผิวของน้ำมันลดต่ำลงด้วย น้ำมันจะเกิดควันได้ง่ายขณะทอดอาหาร

2. การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเดชันใน อากาศ เกิดลักษณะการเชื่อมตัวกับเพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสม อยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดง และตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลเร่งปฏิกิริยา ออกซิเดชันด้วย

3. การหืนแบบคีโตนิก (Ketonic rancidity) เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ (enzymatic oxidation) ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน

2.3.2.5 Reichert Meissl Number (R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหย ได้และละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4-6 อะตอม คือ กรดบิวทีริก และกรดคาโปรอิก ตามลำดับ

2.3.2.6 Polenske Number (P.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และไม่ ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 8-14 อะตอม ได้แก่ กรดคาพริลิก คา พริลลอริก และไม่ริสติก ตามลำดับ

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสารที่เติมลงไปในปฏิกิริยาในจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น แล้วทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นโดยที่ตัวสารเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากปฏิกิริยา เสร็จสิ้น โดยสมมูลของปฏิกิริยาไม่เปลี่ยน

2.4.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ไม่รบกวนสมมูลของปฏิกิริยา
2. ช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (Ea)
3. ต้องเป็นสสารเสมอ

2.4.2 ปฏิริยาอะตะไลซิส (Catalysis หรือ Catalytic reaction) แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.4.2.1 ปฏิริยาอะตะไลซิสแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalytic Reaction) เป็นปฏิริยาที่ทั้งตัวเร่งปฏิริยาและสารตั้งต้นอยู่ในสถานะเดียวกัน เช่น การสังเคราะห์ CH_3COOH จาก CH_3OH และ CO โดยใช้ rhodium complex

ประเภทของปฏิริยาอะตะไลซิสแบบเอกพันธ์

1.1 ตัวเร่งปฏิริยาที่เป็นแก๊ส ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ในปฏิริยาออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตกรดซัลฟูริก

1.2 สภาพที่เป็นของเหลว เช่น การใช้กรดและเบสในกระบวนการไฮโดรลิซิสของพอลิเอสเตอร์

2.4.2.2 ปฏิริยาอะตะไลซิสแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalytic Reaction) เป็นปฏิริยาที่สารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิริยามีสถานที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น ปฏิริยาดีไฮโดรจิเนชันของโพรเพน

2.4.2.3 ตัวเร่งปฏิริยาเป็นเอนไซม์ (Enzymatic Catalysis) มีทั้งแบบเอกพันธ์และแบบวิวิธพันธ์ ส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นแบบเอกพันธ์ (เอนไซม์เป็น mobilized enzyme) แต่ได้มีการพัฒนา immobilized enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิริยาแบบวิวิธพันธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

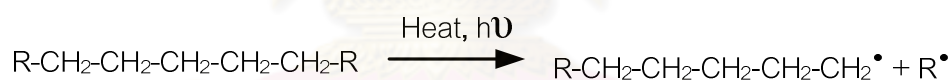
2.5 ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน

2.5.1 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking)

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลที่เล็กลงโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจะเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ C1-C4 ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาโดยเฉพาะส่วนที่มีแซนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation step) เป็นขั้นตอนในการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดจากความร้อนไปทำให้สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขาดออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะ去做ปฏิกิริยาในขั้นต่อไป

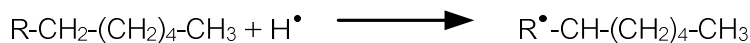


2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง การแตกตัวจะเริ่มจากอนุมูลอิสระเข้าไปยังพันธะคาร์บอนที่ตำแหน่ง □ เกิดอนุมูลอิสระใหม่ขึ้น (□-scission) ซึ่งทำให้ภายในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเกิดความไม่เสถียรส่งผลให้เกิดขั้นตอนการถ่ายทอดไฮโดรเจน (chain transfer) เพื่อทำให้โมเลกุลเกิดความเสถียร จึงเกิดเป็นสารต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจากพอลิเมอร์เดิม พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น เพื่อเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

□-scission



Chain transfer



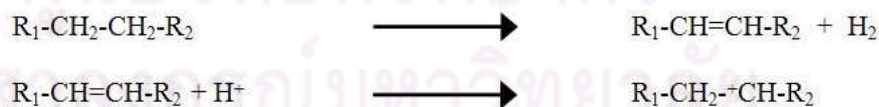
3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่องโดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยว หรือ เกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล



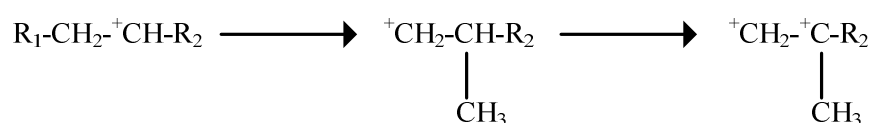
2.5.2 การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)

การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้ขนาดเล็กลง ให้ได้โครงสร้างที่เหมาะสม คุณภาพพอเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย

1. การเกิดดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนียมไอออน (Carbonium ion) ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรดีไอออนที่มีประจุลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์บอนเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยคาร์บอนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะมีเสถียรภาพแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน โดย tertiary ion จะมีเสถียรภาพมากกว่า secondary ion และ primary ion ตามลำดับ



2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลของคาร์บอนเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์บอนเนียมไอออนมีเสถียรภาพแตกต่างกัน



และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเนียมไอออนกับโมเลกุลของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน



สำหรับคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา β -scission ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง



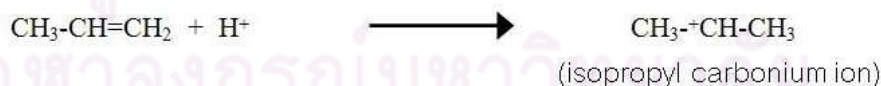
ในบางกรณีคาร์บอนเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion



ถ้า $R_1 = H$ การเกิด β -scission จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ

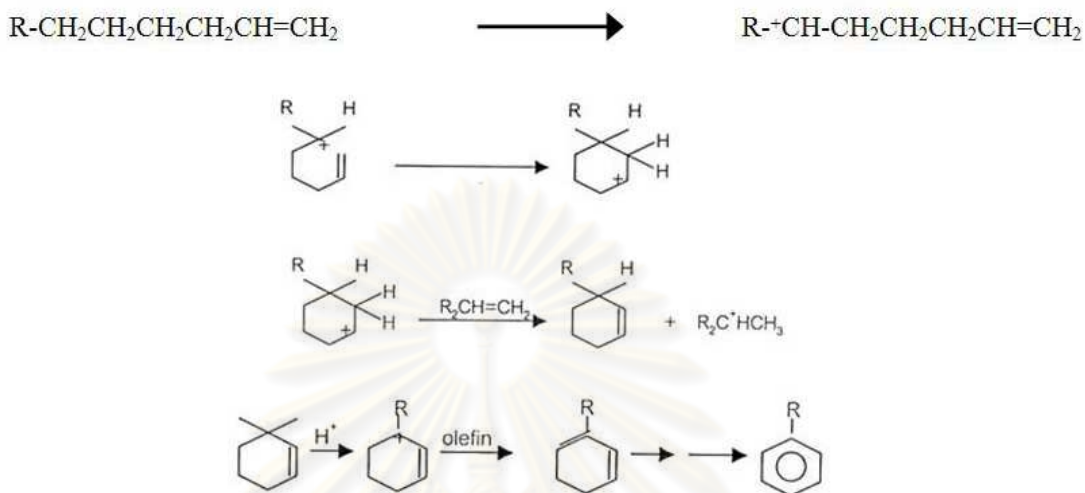


โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์บอนเนียมไอออนซึ่งจะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพน หรือ อาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีนในการเกิดวงแหวนแอโรแมติกจากปฏิกิริยาดีไฮโดรไซคลิกเซชัน (dehydrocyclization) โดยโอเลฟินเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefin carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟินเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allylic

carbonium ion ที่มีเสถียรภาพและเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadine ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอโรแมติก



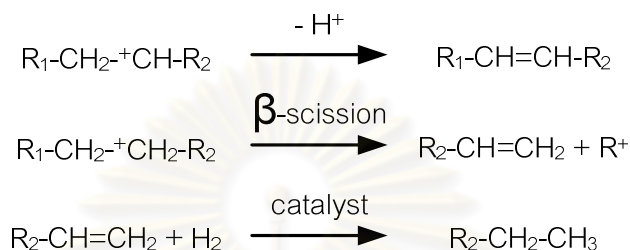
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยก๊าซที่มีโอเลฟินสูง องค์ประกอบของเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงเนื่องจากมีสารจำพวกแอโรแมติกและโอเลฟินมาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้ก(coke) ที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้พื้นที่ผิวรูพรุนและความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.5.3 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)

การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนและช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซัลโฟนา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อมๆ กับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



คาร์บอนเนียมไอออนอาจมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยการกำจัดโปรตอนออกจากโอเลฟินหรือเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนตัวใหม่ จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนและการดึงไฮโดรเจน โอเลฟินที่ผ่านการเติมไฮโดรเจนจะกลายเป็นสารประกอบประเภทพาราฟิน



หากปฏิกิริยาเกิดในภาวะที่อุณหภูมิ 400-480 องศาเซลเซียส ความดัน 35-170 บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบที่อิมตัวค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้แก๊สโซลีนที่ได้จากกระบวนการนี้มีค่าออกเทนที่ต่ำกว่ากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบแอมโรแมติกน้อย เพราะเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนมากกว่าสารที่ได้จึงมักนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องบิน (jet fuel) รวมทั้งยังได้สารประกอบประเภท LPG ซึ่งใช้เป็นสารป้อนในกระบวนการปิโตรเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tamunaidu et al. (2007) ศึกษากระบวนการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด REY ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องภายใต้ความดันบรรยากาศ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (400-500 องศาเซลเซียส) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่า CTO ที่ 5-10) และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (10-30 วินาที) ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่า CTO เท่ากับ 5 และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 20 วินาที ซึ่งทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เป็น 75.8 เป็นเชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 53.5 ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันแก๊สโซลีนถึงร้อยละ 33.5 ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้

Twaiq et al. (2003) ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 450 องศาเซลเซียส และทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 มีรูพรุนขนาดกลาง ด้วยสัดส่วน Si/Al เท่ากับ 50 โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งมีพื้นที่ผิวระหว่าง 550-1200 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.8-2.8 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่า MCM-41 มีความไวต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม โดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Palm Kernel Oil) ไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวในสัดส่วนที่สูงกว่าการเปลี่ยนแปลงจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Palm Olein Oil) และตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 เลือกทำปฏิกิริยาเฉพาะอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน โดยขึ้นกับชนิดของน้ำมันปาล์มที่ใช้ โดยเฉพาะ C_{12} เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และ C_{16} เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และพบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลงเมื่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา มีการเลือกเกิดแก๊สโซลีน เครอซีน หรือดีเซล โดยขึ้นกับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

Adjaye et al. (1996) ได้ศึกษาการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากไม้เมเปิลไปเป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม (Hybrid Catalysts) ระหว่างซิลิกา-อะลูมินา และ HZSM-5 ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดันบรรยากาศ อัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้นในเทอมของน้ำหนักของสารป้อนที่ไหลผ่าน 1 หน่วยปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ 1 หน่วยเวลา (Weight Hour Space Velocity, WHSV) ในช่วง 1.8-7.2 ต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 330-410 องศาเซลเซียส ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างซิลิกา-อะลูมินา และ HZSM-5 ที่มีต่อผลได้และการเลือกทำปฏิกิริยา (Selectivity) เกิดเป็นไฮโดรคาร์บอนเหลว โดยนำไม้เมเปิลไปผ่าน

กระบวนการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส ให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวในรูปสารอินทรีย์ (Organic Liquid Product, OLP) และสารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดเป็นที่น่าพอใจ และศึกษาร้อยละของ HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม (H_1) ระหว่าง 0-40 โดยน้ำหนักของสารป้อนเข้า พบว่าเมื่อเพิ่มร้อยละของ HZSM-5 จะทำให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวรูปสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 13-27 โดยน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพป้อนเข้า และส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็นแอมโรเมติกไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น ช่วยลดการเกิดโค้ก เพิ่มร้อยละผลได้ของการเกิดแก๊ส เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซิลิกา-อะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ (ปริมาณของ HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม (H_1) อัตราเร็วการป้อนสารตั้งต้น อุณหภูมิ และอันตรกิริยาต่างๆ) ที่มีต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวในรูปสารอินทรีย์ พบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวในรูปสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ

Twaiq et al. (1999) ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดันบรรยากาศ ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 350-450 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วการป้อนน้ำมันปาล์ม (WHSV) ในช่วง 1-4 ต่อชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซีโอไลต์ β และ Ultrastable Y (USY) ซีโอไลต์ซึ่งมีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน และพิจารณาผลได้ของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดของแก๊โซลีน ตลอดจนการศึกษาค่าอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-USY และ HZSM-5-ซีโอไลต์ β ในสัดส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก HZSM-5 และศึกษาผลความเป็นกรด (Acidity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ K-HZSM-5

ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ของเหลวในรูปสารอินทรีย์ แก๊สไฮโดรคาร์บอน และน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ให้ผลการทดลองดีที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส อัตราเร็วการป้อนน้ำมันปาล์มเท่ากับ 1 ต่อชั่วโมง ให้ร้อยละผลได้ของแก๊โซลีนเท่ากับ 28 โดยน้ำหนักนอกจากนี้ยังพบว่าผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-USY ให้ผลได้ของแก๊โซลีนสูงกว่าการใช้ USY ซีโอไลต์ชนิดเดียว การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-ซีโอไลต์ β ไม่ช่วยส่งเสริมสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์ม และพบว่าร้อยละผลได้ของการเลือกทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแก๊โซลีนลดลงจาก 45 ถึง 10 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมจาก 0 ถึง 1.5 โดยน้ำหนัก

อิทธิพลของอุณหภูมิ และ WHSV

- HZSM-5 มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 0.54-0.56 นาโนเมตร พบว่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 350-450 องศาเซลเซียส ที่ WHSV ต่ำสุด และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ WHSV เพิ่มขึ้น

- ซีโอไลต์ β มีขนาดรูพรุน 0.56-0.74 นาโนเมตร จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ WHSV เพิ่มขึ้น

- USY ซีโอไลต์ มีขนาดรูพรุน 0.8 นาโนเมตร พบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมะหว่าง 400-450 องศาเซลเซียส และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ WHSV เพิ่มขึ้น

- ผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ WHSV เพิ่มขึ้น

อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิด HZSM-5 ซีโอไลต์ β และ USY ซีโอไลต์

- ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ให้ผลการทดลองดีที่สุดในเทอมของสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงผลได้แก๊ส การเลือกเกิดสารแอมติกไฮโดรคาร์บอน และให้ผลได้การเกิดโค้กต่ำสุด

- ตัวเร่งปฏิกิริยา USY และ ซีโอไลต์ β มีการเลือกเกิดสารไฮโดรคาร์บอนในช่วงจุดเดือดของดีเซลสูงกว่า HZSM-5 และเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า HZSM-5

- K-HZSM-5 พบว่าผลได้ของการเลือกเกิดปฏิกิริยาเกิดเป็นแก๊สลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียม มีการเลือกเกิดสารแอมติกไฮโดรคาร์บอนในสัดส่วนที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

- ผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้น เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-USY

- การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-ซีโอไลต์ β ไม่ช่วยส่งเสริมสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์ม และผลได้ของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน

มารีนา มงคล (2546) ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45-60 นาที และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีตัวแปรคือ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5-2.0 กรัม ภายใต้

ความดันบรรยากาศ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10-30 บาร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 น้ำหนัก 0.05-2.0 กรัม ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10-20 บาร์ กรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และน้ำหนักของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC Simulated Distillation) พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณ แนฟทาสูงสุดคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 79.74 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณร้อยละผลได้ของ แนฟทา 28.14 เคโรซีน 16.56 แก๊สออยล์เบา 21.86 แก๊สออยล์ 3.26 และกากน้ำมันหนัก 9.91 กรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ โดยภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และ HZSM-5 น้ำหนัก 0.05 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 83.60 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของแนฟทา 26.75 เคโรซีน 13.79 แก๊สออยล์เบา 22.99 แก๊สออยล์ 3.76 และกากน้ำมันหนัก 16.30 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (3000MicroGC) พบว่าประกอบด้วย ร้อยละผลได้โดยโมลของมีเทนอยู่ในช่วง 13-22 อีเทน 12-16 โพรเพน 6-8 บิวเทน 1-3 และคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงร้อยละ 54-65

นิตา วิสุทธิรังสีอุไร (2549) ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิซิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 350-600 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิซิสไตรีนเป็น 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลเข้า 4.14, 9.04, และ 15.49 กรัม ต่อนาที และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ทำให้เกิดปริมาณร้อยละแนฟทามากที่สุดคือ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณผลได้ของแนฟทาร้อยละ 41.15 เคโรซีนร้อยละ 8.72 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 28.26 แก๊สออยล์หนักร้อยละ 9.92 และกากน้ำมันร้อยละ 11.12 และพบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิซิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่ทำให้เกิดปริมาณร้อยละแนฟทามากที่สุดคือ อัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิซิสไตรีนเป็น 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณผลได้ของแนฟทาร้อยละ 70.38 เคโรซีนร้อยละ

ละ 6.26 แก๊สออกไซด์เบาร้อยละ 14.49 แก๊สออกไซด์หนักร้อยละ 3.33 และกากน้ำมันร้อยละ 3.43 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลผลิตก๊าซน้ำมันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็น แอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหมู่ฟังก์ชันหลักในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 แล้วพบว่ามีหมู่แอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่คล้ายคลึงกัน

Fangrui et al. (1990) ศึกษากระบวนการผลิต Biodiesel 4 วิธี ได้แก่ blending, microemulsion, thermal cracking (pyrolysis) and transesterification และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันพืชแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวระหว่าง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน และน้ำมันดีเซล ศึกษาผลผลิตก๊าซที่ได้จากกระบวนการแตกตัวที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีกรดไขมัน Oleic, Linoleic, Lonolenic ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากกว่า Lauric, Myristic, Palmitic, Stearic ที่เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว และพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนมีสมบัติ (ความหนืด, เลขซีเทน) ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน

ประชารัตน์ แต่มักดี (2547) ศึกษาถึงกระบวนการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ขนาด 70 มิลลิลิตร ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ อัตราส่วนพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีน อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติก อุณหภูมิ 390-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45-105 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-10 บาร์ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.1 -1.5 กรัม โดยกำหนดปริมาณสารตั้งต้นรวมจำนวน 15 กรัม เพื่อให้ได้ผลผลิตก๊าซน้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด โดยภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นดังนี้ เปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ คือ 5 % อัตราส่วนพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีน คือ 70:30 อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติก คือ 60:40 อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 75 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8 กรัม ซึ่งในภาวะการทดลองข้างต้นจะได้ผลผลิตก๊าซน้ำมัน 75.65 % ผลผลิตก๊าซแก๊ส 17.37 % และของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยา 6.98 % เมื่อนำผลผลิตก๊าซน้ำมันมาวิเคราะห์หาการกระจายตัวของผลผลิตก๊าซ พบว่ามีปริมาณของแก๊สโซลีน 61.25 % เคโรซีน 13.25 % แก๊สออกไซด์เบา 15.84 % แก๊สออกไซด์ 3.65 %

และกากน้ำมันหนัก 6.01 % และพบว่ามีความหนืดหลักเป็น แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับความหนืดหลักในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 แล้วพบว่ามีความหนืดแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนคล้ายกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ni - Mo/Al₂O₃ และ HZSM-5 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Fe/Activated carbon ให้ผลของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

วิชากร จารุศิริ (2551) ศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารป้อนเข้าได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.7 ต่อ 0.1 ต่อ 0.2 ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิเมตรต่อวินาที อัตราการไหลของสารป้อนเข้า 1.23 กรัมต่อวินาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ความร้อนของแก๊สไฮโดรเจนสูงสุด โดยได้แก๊สไฮโดรเจนร้อยละ 50.95 เคนซีนร้อยละ 10.38 แก๊สออกซิลร้อยละ 21.68 และกากน้ำมันร้อยละ 16.99 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไปกลั่นลำดับส่วนในช่วงการกลั่นตามคาบจุดเดือดของแก๊สไฮโดรเจน (ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น ถึง 200 องศาเซลเซียส) บนเครื่องกลั่นขนาดกำลังการกลั่น 1 ลิตรต่อชั่วโมง โดยนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนบรรจุในเครื่องกลั่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันแก๊สไฮโดรเจนสังเคราะห์ เมื่อวิเคราะห์สมบัติกายภาพ เช่น สี อัตราการไหล ความดันไอ มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเบนซิน และการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 จากนั้นนำน้ำมันแก๊สไฮโดรเจนสังเคราะห์ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมันแก๊สไฮโดรเจนสังเคราะห์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินได้ โดยมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เล็กน้อย

บทที่ 3

เครื่องมือและการดำเนินการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Micro-reactor) รูปทรงกระบอก ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 ด้านบนของเครื่องมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลส ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊ส และวาล์วนิรภัย สามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล โดยในการทดลองจะต้องต่อเทอร์โมคัปเปิลทางด้านบนสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.1



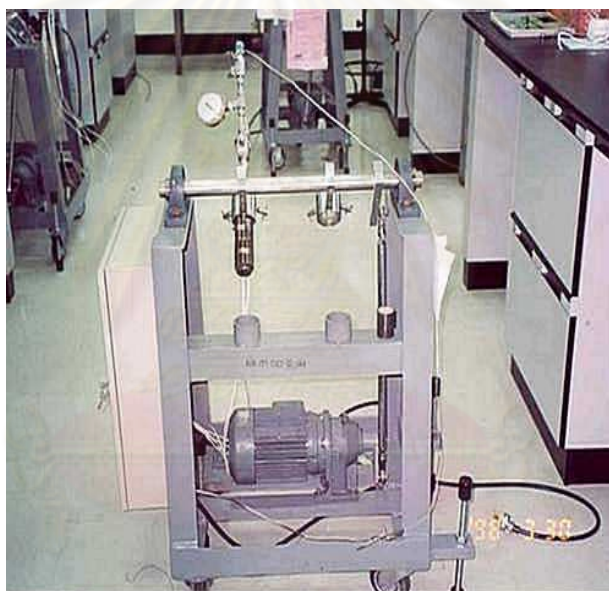
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Micro-reactor)

3.1.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature controller) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนและตัวจ่ายกระแส เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3.1.3 ขดลวดความร้อนแบบ Injection แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 400 วัตต์ ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ โดยในการทดลองจะต้องสวมขดลวดความร้อนรอบเครื่องปฏิกรณ์และทำการยึดให้แน่นเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิขณะทดลอง

3.1.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นแบบเค (K-type) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งจะต้องติดตั้งไว้ทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์

3.1.5 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนแกนหมุนให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการแกว่ง สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้จากชุดควบคุมความเร็วดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล และเครื่องเขย่า

3.1.6 ชุดกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศ สำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็ง โดยผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.8 นาฬิกาจับเวลา

3.1.9 ตู้อบ

3.1.10 ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)

3.1.12 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) Varian CP-3800 พร้อมเครื่องตรวจวิเคราะห์แบบ FID และคอลัมน์ CP-SIL 5 CP สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887

3.2 วัตถุดิบในการทดลองและสารเคมี

3.2.1 ปาล์มสเตียรีน จากบริษัทน้ำมันพืชปทุม จำกัด ลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ปาล์มสเตียรีน (palm stearin)

3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว (Spent FCC Catalyst) ซึ่งผ่านการใช้ในกระบวนการแตกตัวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม จากบริษัทไทยออยล์ จำกัด ลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว (Spent FCC Catalyst)

3.2.3 แก๊สไฮโดรเจน 99.99% จากบริษัท TIG Trading จำกัด

3.2.4 แก๊สไนโตรเจน จากบริษัท TIG Trading จำกัด

3.2.5 Toluene (Commercial grade: ความบริสุทธิ์ 80% minimum)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น

ปาล์มสเตียร์น

- วิเคราะห์องค์ประกอบของปาล์มสเตียร์นโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph)
- วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของปาล์มสเตียร์น

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี

- เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วโดยการแคลไซน์ (Calcination) ที่ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- วิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว (Spent FCC Catalyst) ด้วยเครื่อง XRF (X-ray fluorescence spectrometer) เพื่อหาธาตุองค์ประกอบบนตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์สมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) เพื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา และวิเคราะห์สมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง BET Surface Area เพื่อพิจารณาพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแตกตัวของปาล์มสเตียร์นด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนการทดลองดังนี้

1. การทดลองการแตกตัวปาล์มสเตียร์นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว ออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับ 4 ตัวแปร (2^4 Factorial experimental designs) โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เพื่อช่วยในการประมวลผลการทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ระดับ	
	ต่ำ	สูง
A: อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	410	450
B: ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
C: ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	90
D: ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.1	1.0

จากการออกแบบการทดลองสองระดับ 4 ตัวแปร และทำการทดลอง 2 เรพลีเคต รวมทั้งทำการทดลองที่ค่ากลาง 3 การทดลอง จะทำให้ได้การทดลองทั้งสิ้น 35 การทดลอง แสดงค่าของตัวแปรในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระดับของตัวแปรในแต่ละการทดลอง

No.	A Temperature ($^{\circ}$ C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)
1	410	1	30	0.1
2				
3	450	1	30	0.1
4				
5	410	5	30	0.1
6				
7	450	5	30	0.1
8				

No.	A Temperature ($^{\circ}$ C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)
9	410	1	90	0.1
10				
11	450	1	90	0.1
12				
13	410	5	90	0.1
14				
15	450	5	90	0.1
16				
17	410	1	30	1
18				
19	450	1	30	1
20				
21	410	5	30	1
22				
23	450	5	30	1
24				
25	410	1	90	1
26				
27	450	1	90	1
28				
29	410	5	90	1
30				

No.	A Temperature (□C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)
31	450	5	90	1
32				
33	430	3	60	0.55
34				
35				

2. วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือดตาม ASTM D2887 โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) จะวิเคราะห์แยกได้เป็นแก๊สไลน์ (Gasoline) เคโรซีน (Kerosene) แก๊สออยล์เบา (Light gas oil) แก๊สออยล์ (Gas oil) และกากน้ำมันหนัก (Long residue) โดยช่วงคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3.3 ช่วงคาบจุดเดือดสำหรับการวิเคราะห์การกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph)

จุดเดือด (□C)	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
IBP – 200	gasoline
200 – 250	kerosene
250 – 350	light gas oil
350 – 370	gas oil
370 – FBP	long residue

3. การศึกษาภาวะที่เหมาะสม (Optimum condition) ของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเทียบกับภาวะต่าง ๆ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 นำปาล์มสเตียรีนใส่ในเครื่องปฏิกรณ์รวม 20 กรัม และใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีตามที่ ต้องการทดลอง แล้วประกอบเครื่องปฏิกรณ์เข้ากับส่วนประกอบต่าง ๆ จากนั้นนำเครื่องปฏิกรณ์ไปชั่ง น้ำหนัก

3.4.2 นำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่อากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไนโตรเจน จากนั้นอัดแก๊ส ไฮโดรเจนจนได้ความดันที่ต้องการ ทำการตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สด้วยน้ำสบู่ตามข้อต่อของเครื่อง ปฏิกรณ์

3.4.3 นำเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เทอร์โมคัปเปิลและอุปกรณ์ชด ลอดความร้อน จากนั้นหุ้มด้วยฉนวน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างการทดลอง

3.4.4 ทำการทดลองตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วนำฉนวน และชด ลอดความร้อนออก ใช้พัดลมเป่าเครื่องปฏิกรณ์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง จากนั้นปล่อยแก๊ส ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ แล้วนำเครื่องปฏิกรณ์ไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อหาผลได้ของผลิตภัณฑ์ส่วนที่ เป็นแก๊ส ดังสมการ

$$\% \text{Yield}_{\text{gas}} = \frac{\text{weight of reactor}_{\text{before cracking}} - \text{weight of reactor}_{\text{after cracking}}}{\text{weight of initial palm stearin}} \times 100$$

3.4.5 แยกผลิตภัณฑ์น้ำมันออกจากกากของแข็งด้วยการกรองแบบสุญญากาศ

3.4.6 นำกากของแข็งที่ได้ไปอบข้ามคืน และชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลได้ของผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็น ของแข็ง ดังสมการ

$$\% \text{Yield}_{\text{solid}} = \frac{\text{weight of solid product}}{\text{weight of initial palm stearin}} \times 100$$

3.4.6 คำนวณหาผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ดังสมการ

$$\% \text{Yield}_{\text{liquid fuel}} = 100 - \% \text{Yield}_{\text{gas}} - \% \text{Yield}_{\text{solid}}$$

3.4.7 นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) เพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายขององค์ประกอบ ผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

3.4.8 นำผลการวิเคราะห์การกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันมาคำนวณเพื่อหาร้อยละผลได้ของเนฟทา ร้อยละผลได้ของดีเซล และร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) ตามลำดับ ดังสมการ

$$\% \text{ Yield}_{\text{naphtha}} = \% \text{ Yield}_{\text{liquid fuel}} \times \% \text{ Yield}_{\text{naphtha (from DGC)}}$$

$$\% \text{ Yield}_{\text{diesel}} = \% \text{ Yield}_{\text{liquid fuel}} \times \% \text{ Yield}_{\text{diesel (from DGC)}}$$

$$\% \text{ Conversion} = \frac{\text{weight}_{\text{initial long residue}} - \text{weight}_{\text{final long residue}}}{\text{weight}_{\text{initial long residue}}} \times 100$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลวซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ โดยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนเป็นน้ำมันทั้งในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพ ตลอดจนทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 องค์ประกอบของปาล์มสเตียรีน

เมื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของปาล์มสเตียรีนตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) พบว่าปาล์มสเตียรีนมีสัดส่วนขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันของผลิตภัณฑ์น้ำมันดังแสดงในตารางที่ 4.1 และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของปาล์มสเตียรีน พบว่ามีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของปาล์มสเตียรีนตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph)

องค์ประกอบ	% SELECTIVITY
naphtha	0.01
kerosene	0.14
light gas oil	2.02
gas oil	6.63
long residue	91.20

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของพาล์มสเตียรีนตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าพาล์มสเตียรีนมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกากน้ำมันหนัก (long residue) มากถึง 91.20 % ซึ่งจะเห็นว่าพาล์มสเตียรีนประกอบด้วยสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ปริมาณมาก และพบเนฟทาซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการสังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้ในปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของพาล์มสเตียรีน, กรัม/100 มิลลิลิตร

ชนิดของกรดไขมัน		องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)
C10:0	Capric acid	0.02
C12:0	Lauric acid	0.28
C14:0	Myristic acid	1.36
C15:0	Pentadecanoic acid	0.07
C16:0	Palmitic acid	59.02
C17:0	Heptadecanoic acid	0.13
C18:0	Stearic acid	4.62
C20:0	Arachidic acid	0.31
C22:0	Behenic acid	0.05
C24:0	Lignoceric acid	0.04
Total saturated fatty acid		65.90
C16:1	Palmitoleic acid	0.10
C18:1	Oleic acid	27.89
C18:2	Linoleic acid	5.77
C18:3	Linolenic acid	0.13
C20:1	Eicosenoic acid	0.08
Total unsaturated fatty acid		33.97

วิเคราะห์โดย: ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันจากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าพอลิเมสเดี่ยรินประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 65.9 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 33.97 ซึ่งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโดยมากอยู่ในรูปกรดพาล์มิติก เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 16 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโดยมากอยู่ในรูปของกรดโอเลอิก เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 18

4.1.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี

จากการตรวจวัดพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ด้วยเครื่อง Surface area and porosity analyzer พบว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วมาผ่านกระบวนการแคลไซน์จะมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาได้มากขึ้น ในขณะที่ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรรูพรุนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

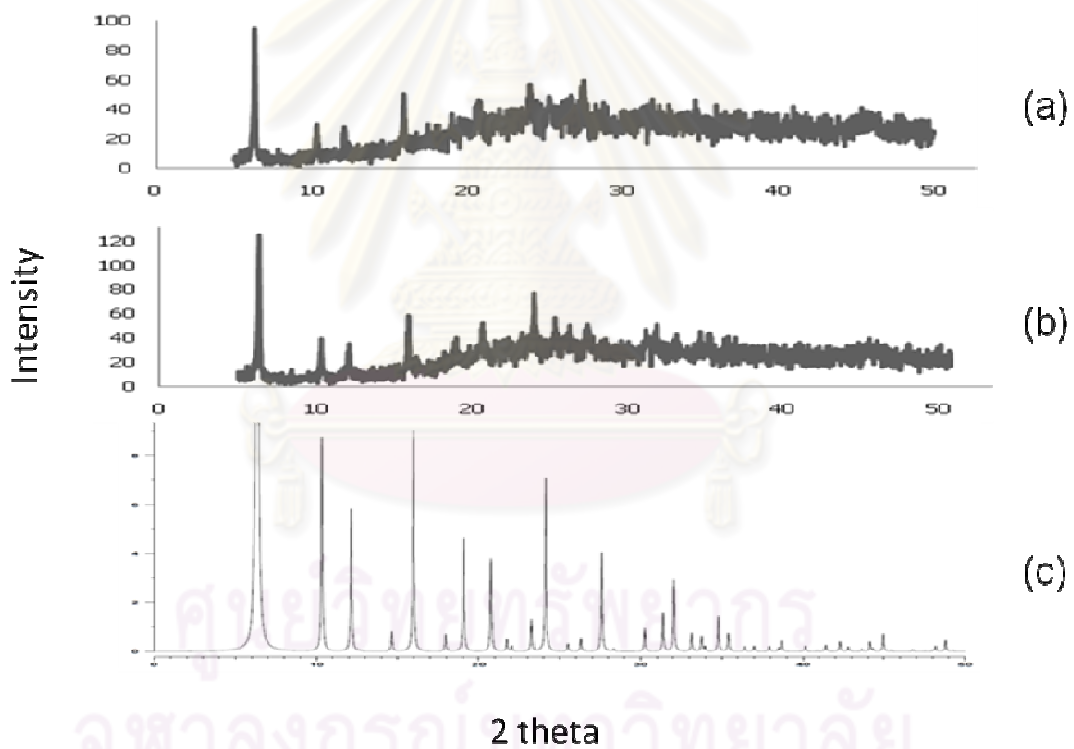
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average pore size) (นาโนเมตร)	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	พื้นที่ผิว BET (S_{BET}) (ตารางเมตร/กรัม)
Spent FCC Catalyst	6.92	0.138	79.85
Spent FCC Catalyst (Calcined)	6.77	0.143	89.46

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี ได้แก่ ซิลิกา และอลูมินา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว และตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีที่ผ่านการแคลไซน์แล้วมีสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา 0.78 และ 0.85 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	
	Spent FCC Catalyst	Spent FCC Catalyst (Calcined)
Fe	0.788	0.827
Si	10.090	12.650
Na	0.149	0.166
Al	12.880	14.900
P	0.028	0.033
S	0.078	0.085
K	0.086	0.089
Ca	0.111	0.113
Ti	0.769	0.821
V	0.056	0.064
Mn	0.051	0.054
Ni	0.396	0.384
Ga	0.016	—
Sr	0.057	0.056
Y	0.020	—
Zr	0.016	0.026
La	3.540	3.390
Ce	0.295	0.300
Sm	0.007	—

รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้ว (a) และตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียส (b) ค่าความเข้ม (intensity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ผ่านการแคลไซน์แล้วจะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากการแคลไซน์ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความบริสุทธิ์สูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะพีค (peak) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีและตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ultrastable Y (USY) ซีโอไลต์ (c) แล้ว พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีพีคที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่มีซีโอไลต์ชนิด USY เป็นองค์ประกอบหลัก



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้ว (a) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียส (b) และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ultrastable Y (USY) ซีโอไลต์ (c)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด (acidity) ของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีผ่านการแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียสแล้วจะมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของปาล์มสเตียรินเกิดได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเป็นกรด (mmol H ⁺ /g)
Spent FCC Catalyst	0.23
Spent FCC Catalyst (Calcined)	0.35

4.2 ผลการทดลองจากกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีไอแล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล (2^k experimental design) 2 เพลกเคต โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เพื่อช่วยในการประมวลผลการทดลอง โดยปัจจัยที่ศึกษามีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยแทนด้วยตัวแปร A, B, C และ D และมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 4.6 ตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่สนใจในการทดลอง มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ชนิด ได้แก่ ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว (liquid fuel) ร้อยละผลได้ของเนฟทา (naphtha) ร้อยละผลได้ของดีเซล (diesel) และ ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion)

ตารางที่ 4.6 ระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา

Factors	Levels		Unit
	(-)	(+)	
A: temperature	410	450	□C
B: pressure	1	5	Bar
C: time	30	90	Minute
D: catalyst	0.1	1.0	wt %

4.2.1 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีไอแล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรินเป็นเชื้อเพลิงเหลว ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 2 เพลกเคต ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วง 36.10 - 83.12 โดยน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้นี้จะถูกนำมาประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ กันดังแสดงตามหัวข้อในลำดับถัดไป

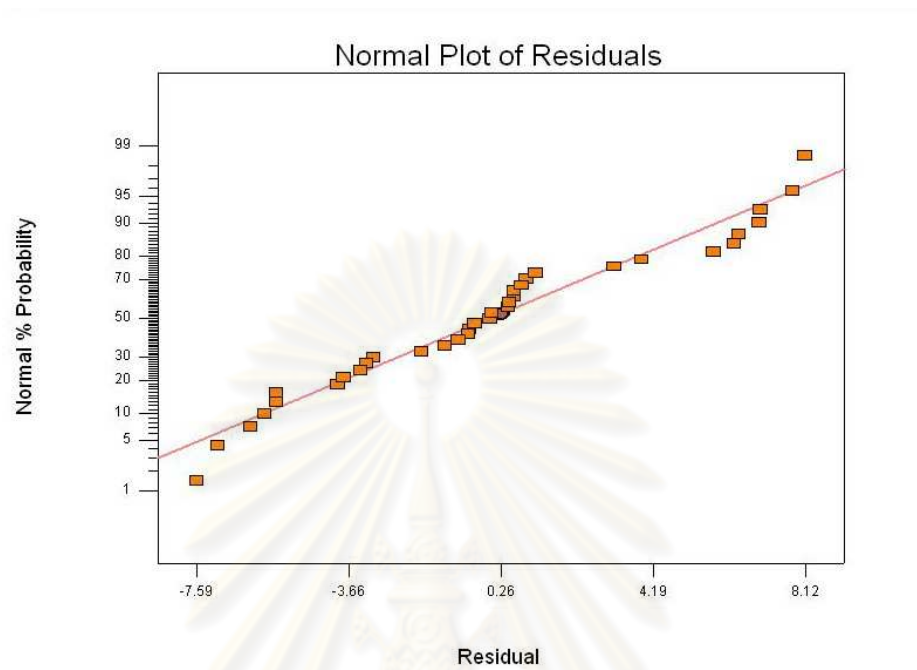
ตารางที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสดเดี่ยว

No.	A Temperature (°C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of liquid fuel (wt%)
1	410	1	30	0.1	78.90
2					69.47
3	450	1	30	0.1	66.90
4					71.74
5	410	5	30	0.1	73.21
6					71.98
7	450	5	30	0.1	72.94
8					72.39
9	410	1	90	0.1	81.75
10					80.60
11	450	1	90	0.1	40.49
12					46.87
13	410	5	90	0.1	81.60
14					81.63
15	450	5	90	0.1	50.63
16					49.98
17	410	1	30	1	71.06
18					69.47
19	450	1	30	1	58.93
20					62.62
21	410	5	30	1	82.80
22					83.12

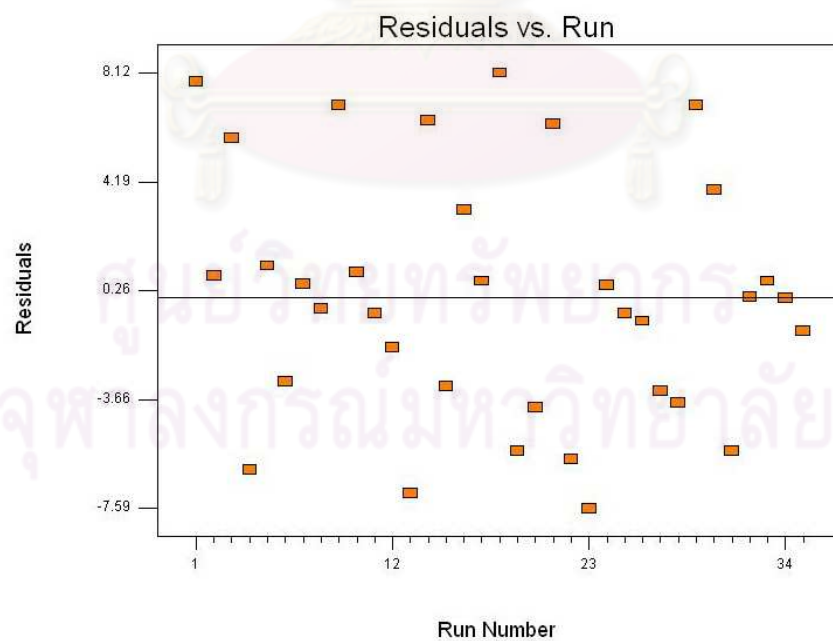
No.	A Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of liquid fuel (wt%)
23	450	5	30	1	62.18
24					60.14
25	410	1	90	1	81.13
26					81.75
27	450	1	90	1	36.10
28					37.49
29	410	5	90	1	80.74
30					79.96
31	450	5	90	1	44.85
32					43.12
33	430	3	60	0.55	80.22
34					78.58
35					79.45

4.2.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เมื่อทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้วก็จะต้องนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลในการทดลองมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ กล่าวคือเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้ รูปที่ 4.2 แสดง Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าเรสิดวลสำหรับร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจริง



รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot ของเรสิดิวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว



รูปที่ 4.3 เรสิดิวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว

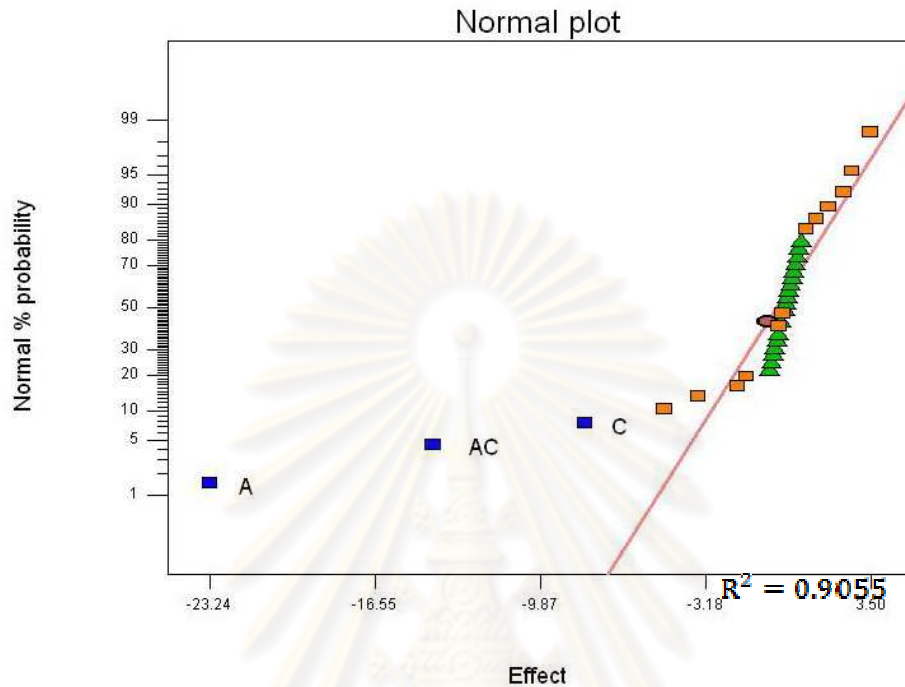
จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าเรสิดวอลกับลำดับในการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเป็นอิสระ (independent) ของผลการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสิดวอล ที่สัมพันธ์ลำดับของการทำการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด พบว่าเป็นการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการทำการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำให้ค่าผิดพลาด (error) ต่าง ๆ ที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้กระจายตัวเข้าถึงทุกหน่วยของการทดลองอย่างเท่าเทียมกัน

4.2.1.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว

เมื่อนำค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมาประมวลผลในรูปแบบของ Normal probability plot ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าปัจจัยที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง คือ อุณหภูมิ (A) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (C) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (AC) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว และนอกจากนี้เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ก็พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.0001 ซึ่งเป็นการยืนยันในอีกทางหนึ่งได้ว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว นอกจากนี้ยังสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวกับปัจจัยดังกล่าว เพื่อใช้ในการทำนายค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวได้อีกด้วย ดังนี้

$$\% \text{ yield liquid fuel} = 18.68063 + 0.12987T + 4.95961t - 0.011847Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)



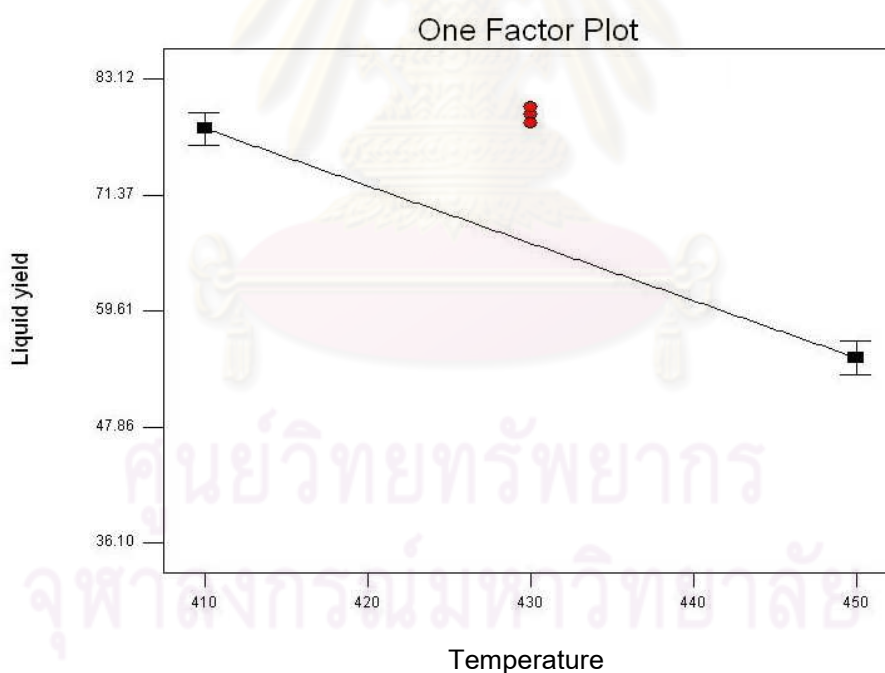
รูปที่ 4.4 Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวของปาล์มสเดียนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวของปาล์มสเดียนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ANOVA for Selected Factorial Model					
Analysis of variance table [Partial sum of squares]					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	6457.99	3	2152.66	95.78	< 0.0001
A	4319.85	1	4319.85	192.20	< 0.0001
C	521.32	1	521.32	23.19	< 0.0001
AC	1616.81	1	1616.81	71.94	< 0.0001
Curvature	460.86	1	460.86	20.50	< 0.0001
Residual	674.27	30	22.48		
Lack of Fit	581.45	12	48.45	9.40	< 0.0001
Pure Error	92.82	18	5.16		
Cor Total	7593.12	34			

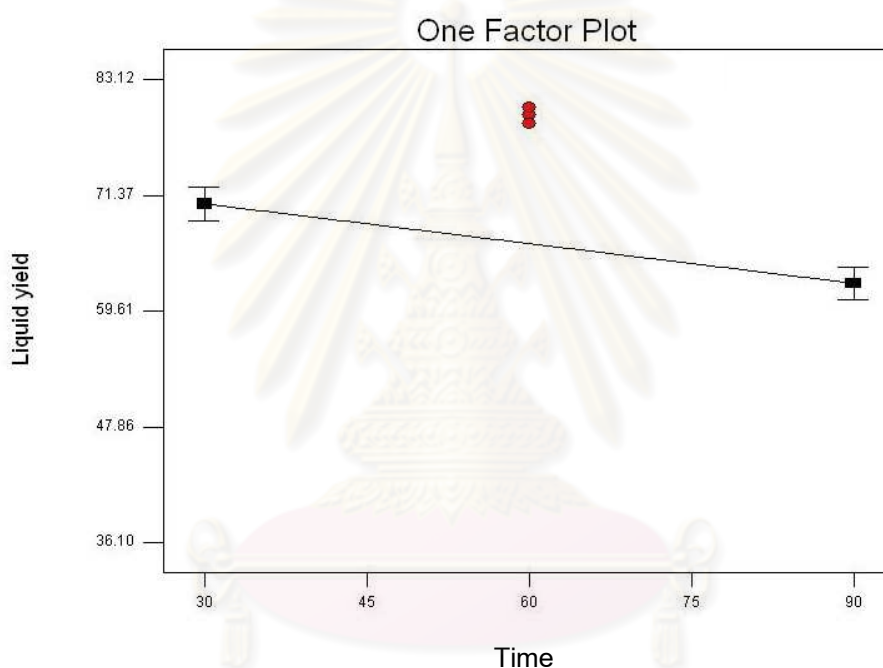
4.2.1.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ 3 บาร์ 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้อัตราผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าลดลงจาก 78.07 เป็น 54.84 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อน โดยทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ กลายเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว โดยการแตกตัวของผลิตภัณฑ์จากโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือโมเลกุลของแข็งจะเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลของเหลวได้ดีขึ้น และเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นอีกจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวแตกตัวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวในการทดลองนี้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที จนถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าลดลงจาก 70.49 เป็น 62.42 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวแตกตัวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าลดลง

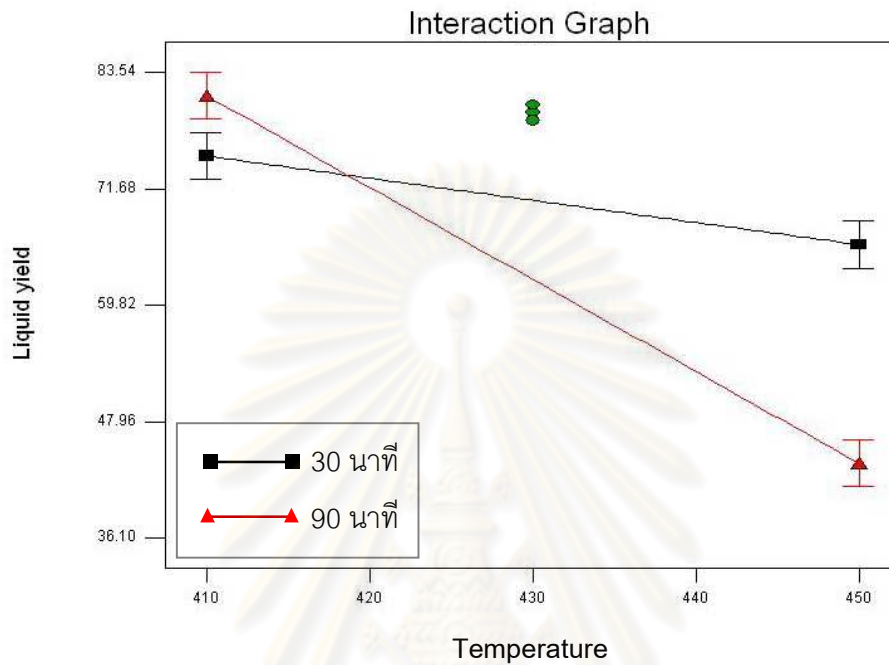


รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

การศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าลดลงจาก 75.00 เป็น 65.98 โดยน้ำหนัก และที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

90 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าลดลงจาก 81.15 เป็น 43.69 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวแตกตัวกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวในการทดลองนี้มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสูงดังกล่าว จะพบว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำนั้นที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวสูงกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงจะทำให้ปาล์มสเตียรีนเกิดการแตกตัวได้อย่างทั่วถึงจึงทำให้มีค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวสูง ในขณะที่ในช่วงอุณหภูมิสูงนั้นที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที กลับให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากในภาวะอุณหภูมิสูง การแตกตัวของปาล์มสเตียรีนจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ทำให้ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจึงแตกตัวกลายเป็นแก๊สได้มากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวลดต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีไอแล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของแนฟทา (naphtha)

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรินเป็นเชื้อเพลิงเหลว ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 2 เรพลิเคต ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วง 36.10 - 83.12 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) หาร้อยละผลได้ของแนฟทาได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าร้อยละผลได้ของแนฟทาอยู่ในช่วง 8.13 - 37.20 โดยน้ำหนักซึ่งค่าที่ได้ก็นำมาประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ กันดังแสดงตามหัวข้อในลำดับถัดไป

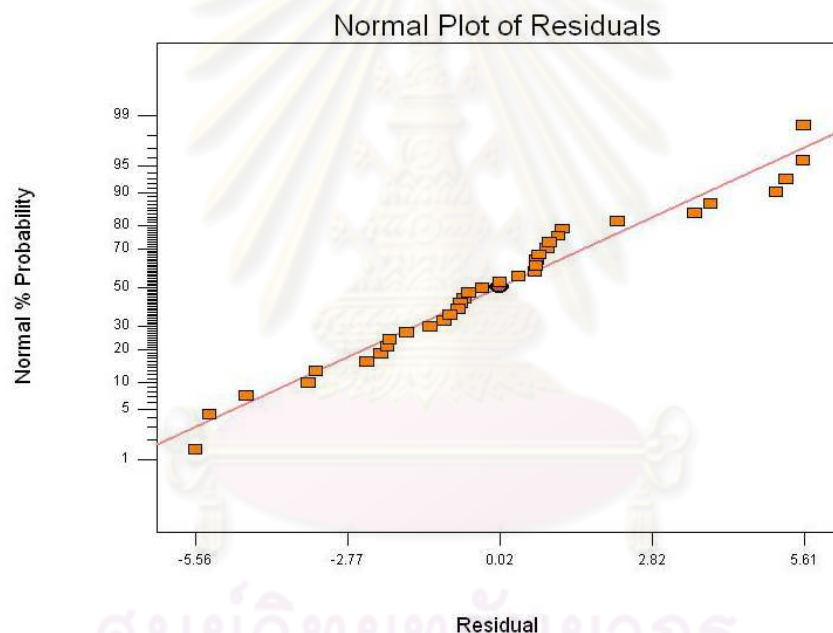
ตารางที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียริน

No.	A Temperature (°C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of naphtha (wt%)
1	410	1	30	0.1	10.65
2					8.13
3	450	1	30	0.1	29.57
4					28.12
5	410	5	30	0.1	10.98
6					9.29
7	450	5	30	0.1	37.20
8					36.70
9	410	1	90	0.1	20.52
10					20.23
11	450	1	90	0.1	21.78
12					23.15

No.	A Temperature (□C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of naphtha (wt%)
13	410	5	90	0.1	21.38
14					22.04
15	450	5	90	0.1	29.06
16					29.39
17	410	1	30	1	9.59
18					11.46
19	450	1	30	1	26.05
20					30.87
21	410	5	30	1	11.18
22					10.97
23	450	5	30	1	32.71
24					31.63
25	410	1	90	1	15.74
26					15.37
27	450	1	90	1	18.48
28					19.16
29	410	5	90	1	17.44
30					15.51
31	450	5	90	1	25.97
32					23.24
33	430	3	60	0.55	28.32
34					25.70
35					28.13

4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

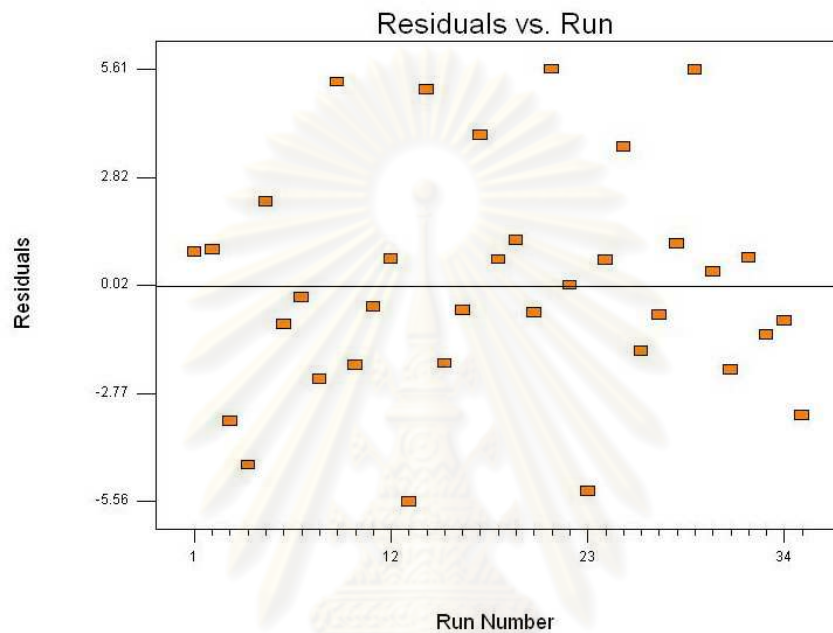
เมื่อทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้วก็ต้องนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลในการทดลองมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ กล่าวคือเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้ รูปที่ 4.8 แสดง Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าเรสิดวลสำหรับร้อยละผลได้ของแนฟทามีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจริง



รูปที่ 4.8 Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของแนฟทา

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าเรสิดวลกับลำดับในการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเป็นอิสระ (independent) ของผลการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสิดวลที่สัมพันธ์ลำดับของการทำการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด พบว่าเป็นการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการทำการ

ทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำให้ค่าผิดพลาด (error) ต่าง ๆ ที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ กระจายตัวเข้าถึงทุกหน่วยของการทดลองอย่างเท่าเทียมกัน



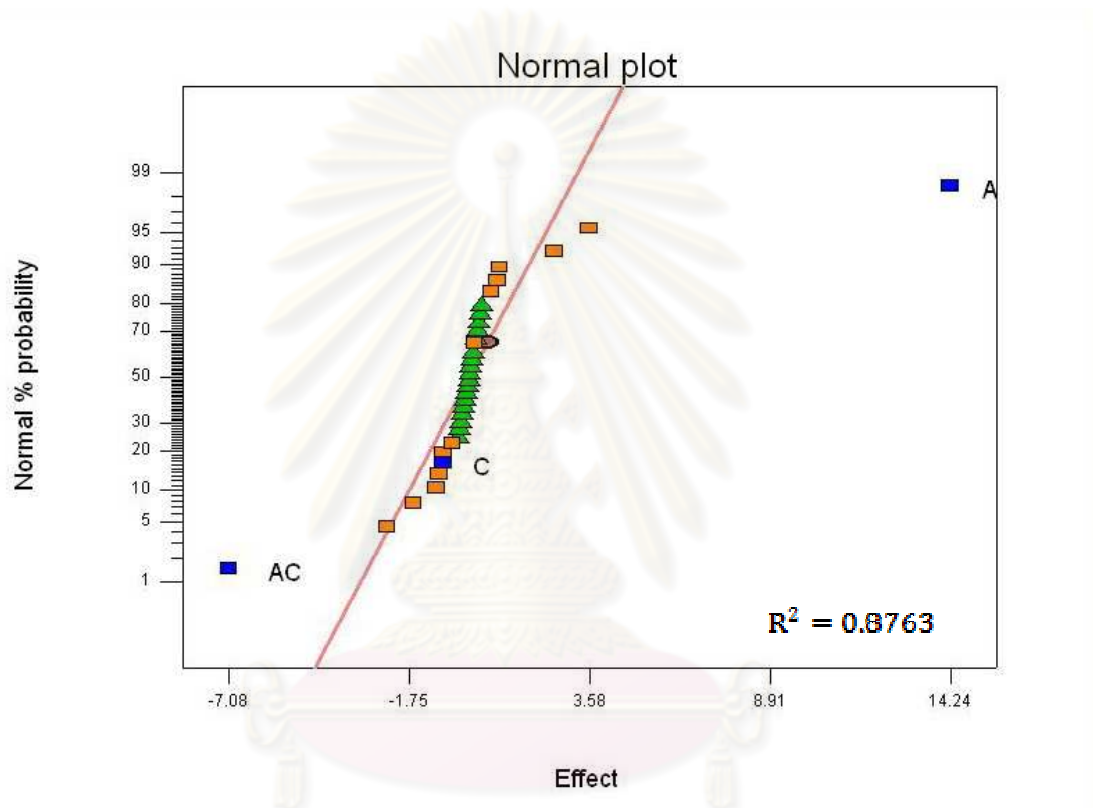
รูปที่ 4.9 เเรสิดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของแนฟทา

4.2.2.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา

เมื่อนำค่าร้อยละผลได้ของแนฟทามาประมวลผลในรูปแบบของ Normal probability plot ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าปัจจัยที่เบี่ยงเบนออกจกแนวเส้นตรง คือ อุณหภูมิ (A) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (AC) ซึ่งแสดงในเห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา และนอกจากนี้เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ก็พบว่า อุณหภูมิ และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.0001 ซึ่งเป็นการยืนยันในอีกทางหนึ่งได้ว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา นอกจากนี้ยังสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของแนฟทา กับปัจจัยดังกล่าว เพื่อใช้ในการทำนายค่าร้อยละผลได้ของแนฟทาได้อีกด้วย ดังนี้

$$\% \text{ yield naphtha} = -284.07359 + 0.71021T + 2.52579t - 0.00590Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)



รูปที่ 4.10 Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการแตกตัวของปาล์ม สเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

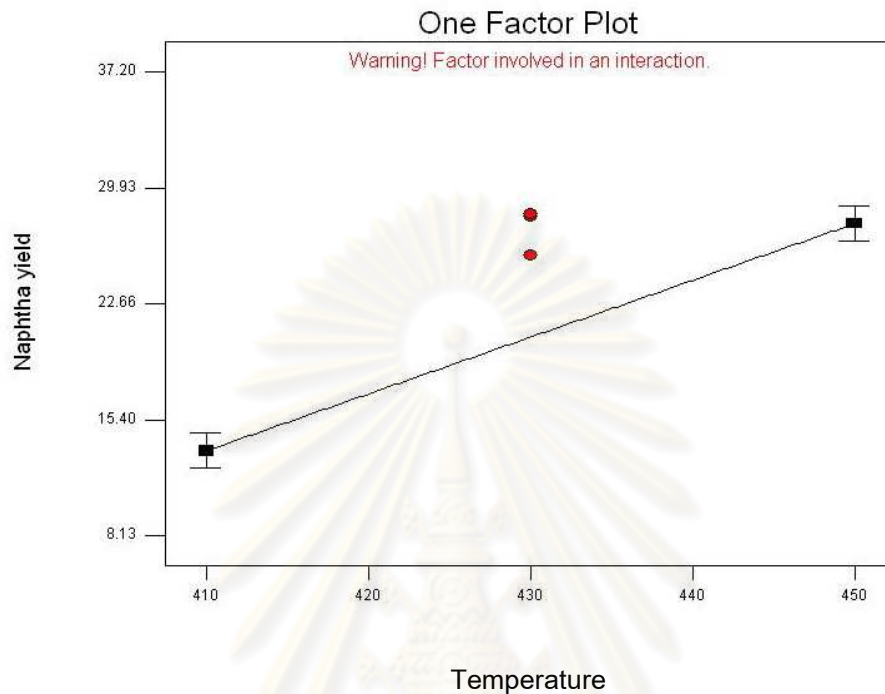
ANOVA for Selected Factorial Model
Analysis of variance table [Partial sum of squares]

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	2028.42	3	676.14	70.87	< 0.0001
A	1622.60	1	1622.60	170.08	< 0.0001
C	4.43	1	4.43	0.46	0.5010
AC	401.39	1	401.39	42.07	< 0.0001
Curvature	127.11	1	127.11	13.32	0.0010
Residual	286.21	30	9.54		
Lack of Fit	256.19	12	21.35	12.80	< 0.0001
Pure Error	30.01	18	1.67		
Cor Total	2441.73	34			

4.2.2.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13.45 เป็น 27.69 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กากน้ำมันหนักเกิดการแตกโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้ร้อยละผลได้ของแนฟทามีค่าเพิ่มขึ้น

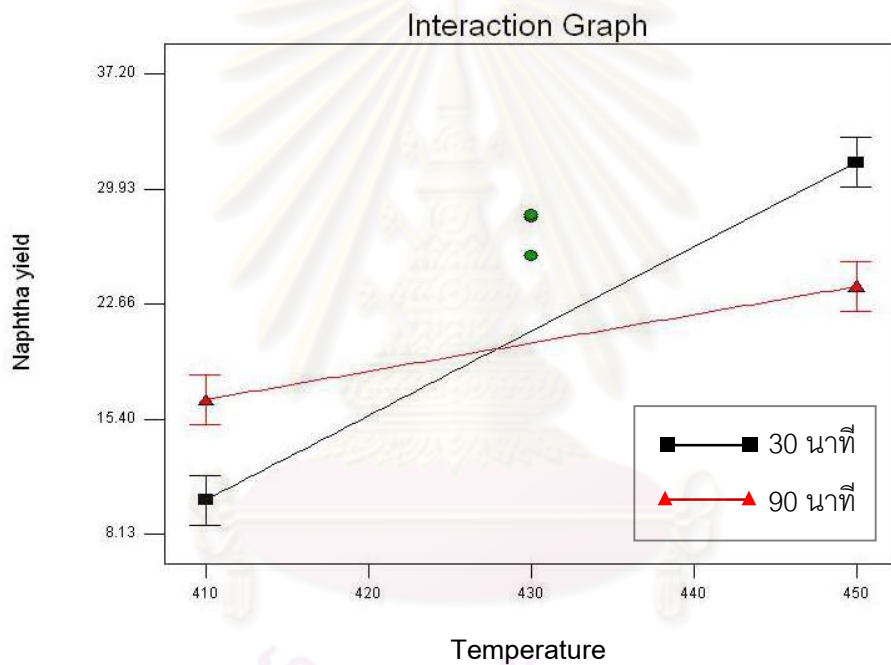
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

การศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของแนฟทามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10.28 เป็น 31.61 โดยน้ำหนัก และที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของแนฟทามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.62 เป็น 23.78 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการแตกสายโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้มีขนาดเล็กลงทำให้ร้อยละผลได้ของแนฟทามีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิต่ำ (410-428 องศาเซลเซียส) เปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิสูง (428-450 องศาเซลเซียส) ดังกราฟจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำนั้นที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาสูงกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงจะทำให้

ให้ปาล์มสเตียรินเกิดการแตกตัวได้อย่างทั่วถึงจึงทำให้มีค่าร้อยละผลได้ของแนฟทาสูง ในขณะที่ในช่วงอุณหภูมิสูงนั้นที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที กลับให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาต่ำกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาวะอุณหภูมิสูงการแตกตัวของปาล์มสเตียรินจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ทำให้ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูง แนฟทาเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สได้มากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาลดต่ำกว่าร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่ำ



รูปที่ 4.12 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

4.2.3 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของดีเซล (diesel)

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรีนเป็นเชื้อเพลิงเหลว ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 2 เรพลิเคต ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วง 36.10 - 83.12 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) หาสัดส่วนของดีเซลได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าร้อยละผลได้ของดีเซลอยู่ในช่วง 9.80 - 45.80 โดยน้ำหนักซึ่งค่าที่ได้ก็นำมาประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ กันดังแสดงตามหัวข้อในลำดับถัดไป

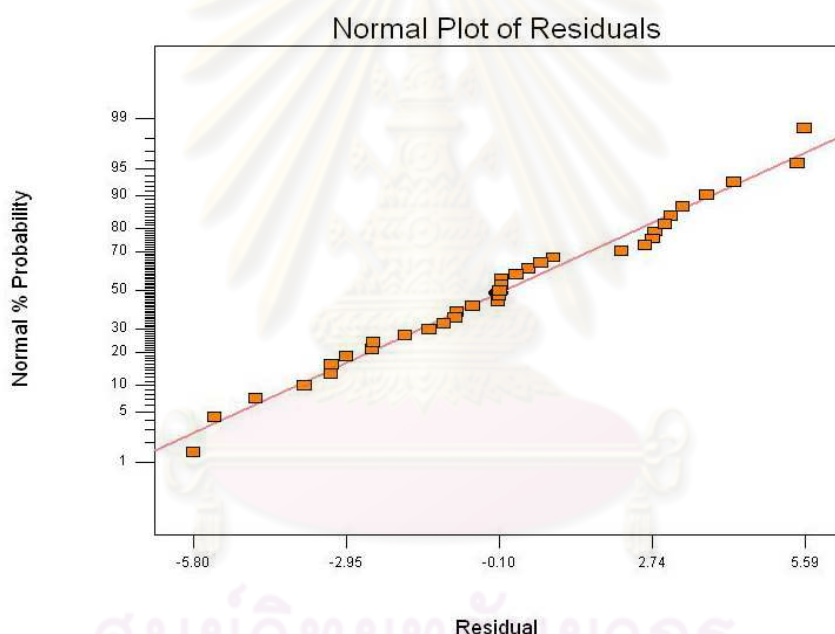
ตารางที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรีน

No.	A Temperature (°C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of diesel (wt%)
1	410	1	30	0.1	40.63
2					36.12
3	450	1	30	0.1	22.55
4					25.04
5	410	5	30	0.1	35.73
6					38.29
7	450	5	30	0.1	22.25
8					24.90
9	410	1	90	0.1	36.05
10					35.54
11	450	1	90	0.1	9.80
12					13.40

No.	A Temperature (°C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Yield of diesel (wt%)
13	410	5	90	0.1	37.78
14					38.37
15	450	5	90	0.1	12.61
16					12.40
17	410	1	30	1	38.30
18					36.89
19	450	1	30	1	19.39
20					19.35
21	410	5	30	1	45.29
22					45.80
23	450	5	30	1	17.60
24					19.67
25	410	1	90	1	36.51
26					38.59
27	450	1	90	1	10.58
28					11.06
29	410	5	90	1	38.92
30					38.22
31	450	5	90	1	11.08
32					12.12
33	430	3	60	0.55	30.32
34					31.59
35					30.83

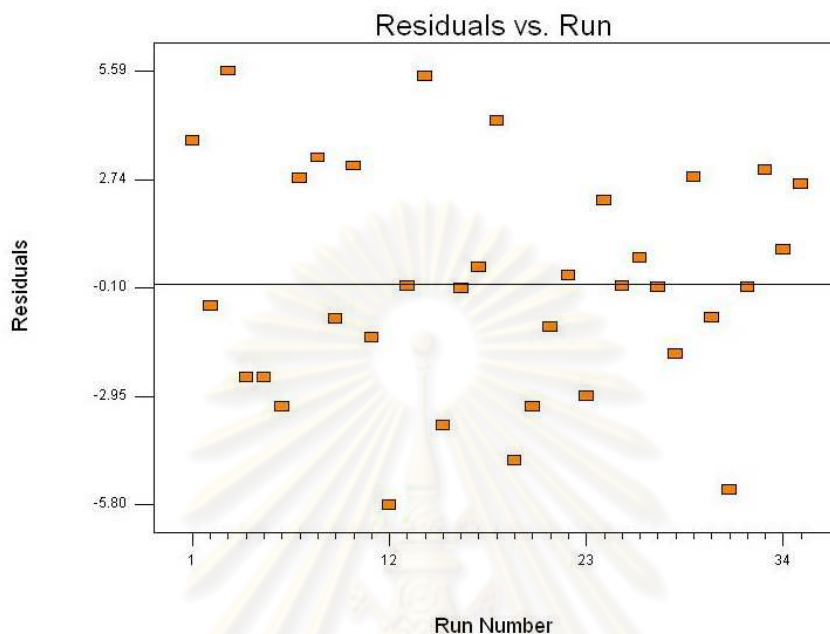
4.2.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เมื่อทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้วก็ต้องนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลในการทดลองมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ กล่าวคือเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้ รูปที่ 4.13 แสดง Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าเรสิดวลสำหรับร้อยละผลได้ของดีเซลมีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจริง



รูปที่ 4.13 Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละผลได้ของดีเซล

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าเรสิดวลกับลำดับในการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเป็นอิสระ (independent) ของผลการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสิดวลที่สัมพันธ์ลำดับของการทำการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด พบว่าเป็นการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการทำการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำให้ค่าผิดพลาด (error) ต่าง ๆ ที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้กระจายตัวเข้าถึงทุกหน่วยของการทดลองอย่างเท่าเทียมกัน



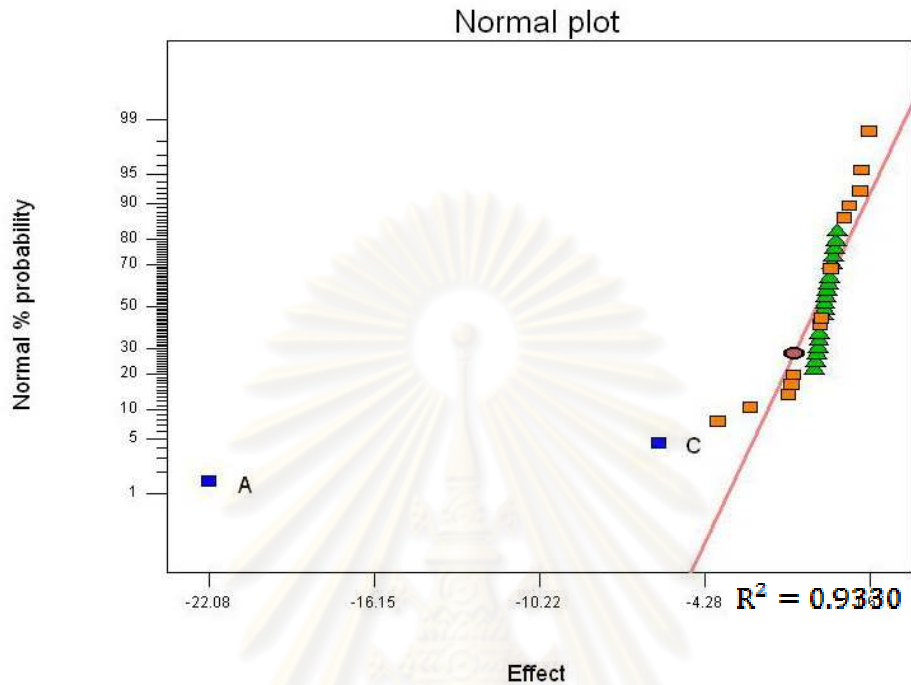
รูปที่ 4.14 เเร็ดิวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละผลได้ของดีเซล

4.2.3.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของดีเซล

เมื่อนำค่าร้อยละผลได้ของดีเซลมาประมวลผลในรูปแบบของ Normal probability plot ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าปัจจัยที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง คือ อุณหภูมิ (A) และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (C) ซึ่งแสดงในเห็นว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของดีเซล และนอกจากนี้เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.12 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ก็พบว่า อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.0001 ซึ่งเป็นการยืนยันในอีกทางหนึ่งได้ว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของดีเซล นอกจากนี้ยังสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของดีเซลกับปัจจัยดังกล่าว เพื่อใช้ในการทำนายค่าร้อยละผลได้ของดีเซลได้อีกด้วย ดังนี้

$$\% \text{ yield diesel} = 270.80249 - 0.55199T - 0.098727t$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)



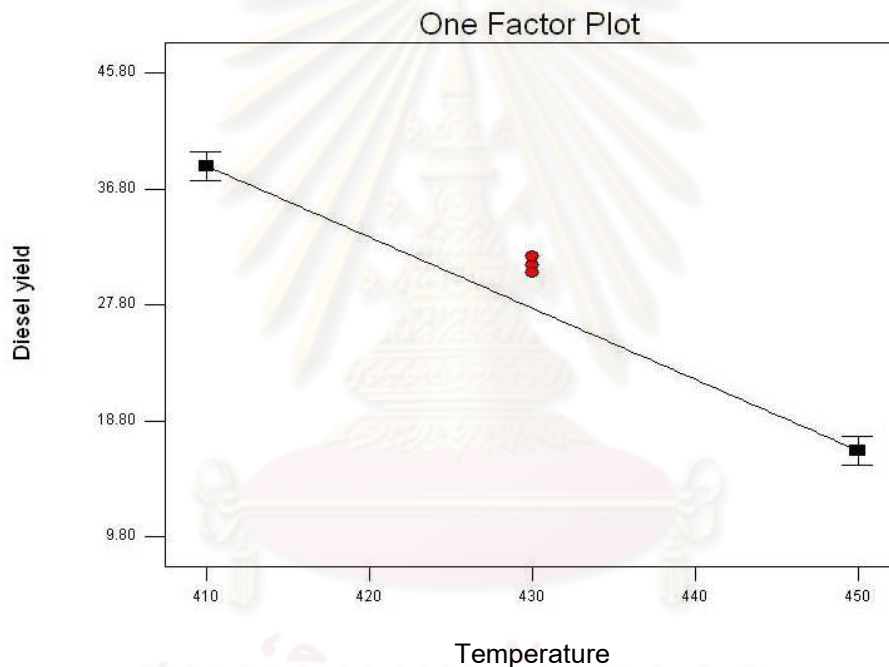
รูปที่ 4.15 Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวของปาล์มสเดียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของดีเซลจากการแตกตัวของปาล์มสเดียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ANOVA for Selected Factorial Model					
Analysis of variance table [Partial sum of squares]					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	4180.72	2	2090.36	215.99	< 0.0001
A	3900.00	1	3900.00	402.98	< 0.0001
C	280.71	1	280.71	29.01	< 0.0001
Curvature	31.48	1	31.48	3.25	0.0810
Residual	300.02	31	9.68		
Lack of Fit	265.97	13	20.46	10.82	< 0.0001
Pure Error	34.04	18	1.89		
Cor Total	4512.22	34			

4.2.3.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของดีเซล

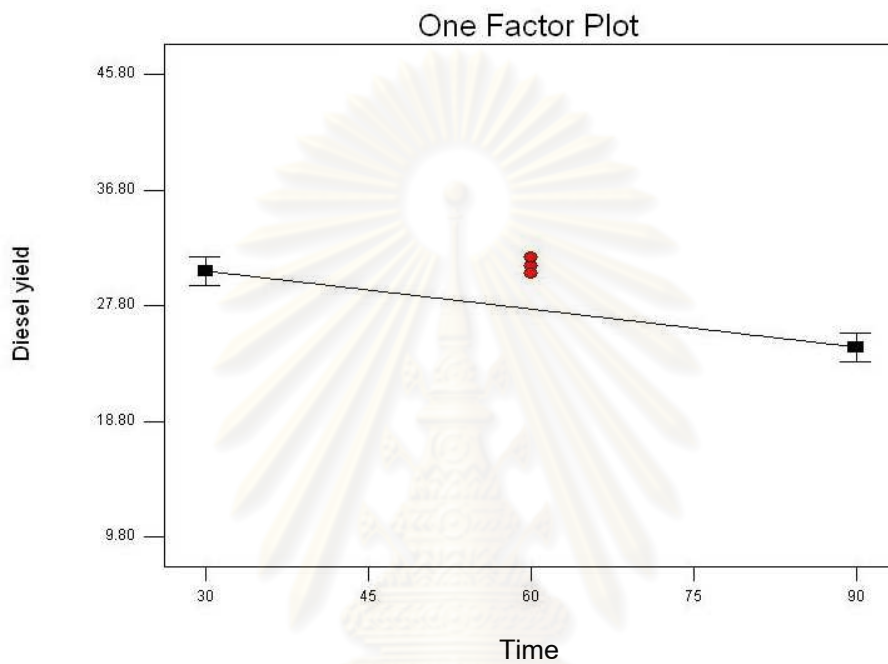
การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซล จากรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะทำให้ร้อยละผลได้ของดีเซลมีค่าลดลง จาก 38.56 เป็น 16.49 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้กากน้ำมันหนักเกิดการแตกโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้ร้อยละผลได้ของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าดีเซลเช่น แนฟทาหรือเคโรซีนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ร้อยละผลได้ของดีเซลในการทดลองนี้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซล (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที จนถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของดีเซลมีค่าลดลงจาก 30.49 เป็น 24.56 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กากน้ำมันหนักเกิดการแตก

โมเลกุลให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้ร้อยละผลได้ของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าดีเซลเช่นแนฟทาหรือเคโรซีนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ร้อยละผลได้ของดีเซลในการทดลองนี้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 การศึกษาร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) จากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรีนเป็นเชื้อเพลิงเหลว ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 2 เรพลิเคต ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วง 36.10 - 83.12 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) จะหาค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) ได้จากสมการ

$$\%conversion = \frac{\text{long residue}_{\text{palmstearin}} - \text{long residue}_{\text{liquid fuel}}}{\text{long residue}_{\text{palmstearin}}} \times 100$$

ซึ่งเมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่ามียค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) อยู่ในช่วง 76.75 – 92.32 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ซึ่งค่าที่ได้นี้จะถูกนำมาประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ กันดังแสดงตามหัวข้อในลำดับถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียริน

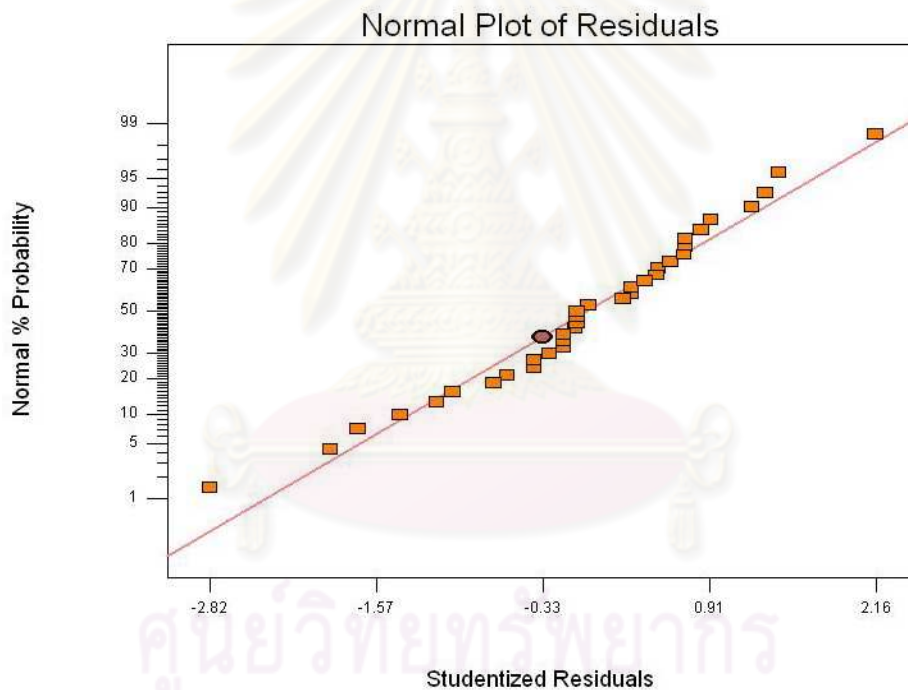
No.	A Temperature (□C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Conversion (%)
1	410	1	30	0.1	78.07
2					78.62
3	450	1	30	0.1	90.79
4					89.80
5	410	5	30	0.1	79.06
6					76.75
7	450	5	30	0.1	92.32
8					90.24
9	410	1	90	0.1	84.65
10					84.43
11	450	1	90	0.1	89.58
12					86.73
13	410	5	90	0.1	82.68
14					81.03
15	450	5	90	0.1	90.57
16					92.11
17	410	1	30	1	78.62
18					78.18
19	450	1	30	1	89.04
20					91.89
21	410	5	30	1	78.84
22					77.96

No.	A Temperature (°C)	B Pressure (bar)	C Time (min)	D Catalyst (wt%)	Conversion (%)
23	450	5	30	1	91.45
24					91.56
25	410	1	90	1	82.68
26					83.88
27	450	1	90	1	89.58
28					90.24
29	410	5	90	1	82.35
30					83.11
31	450	5	90	1	89.69
32					89.69
33	430	3	60	0.55	88.16
34					86.84
35					88.71

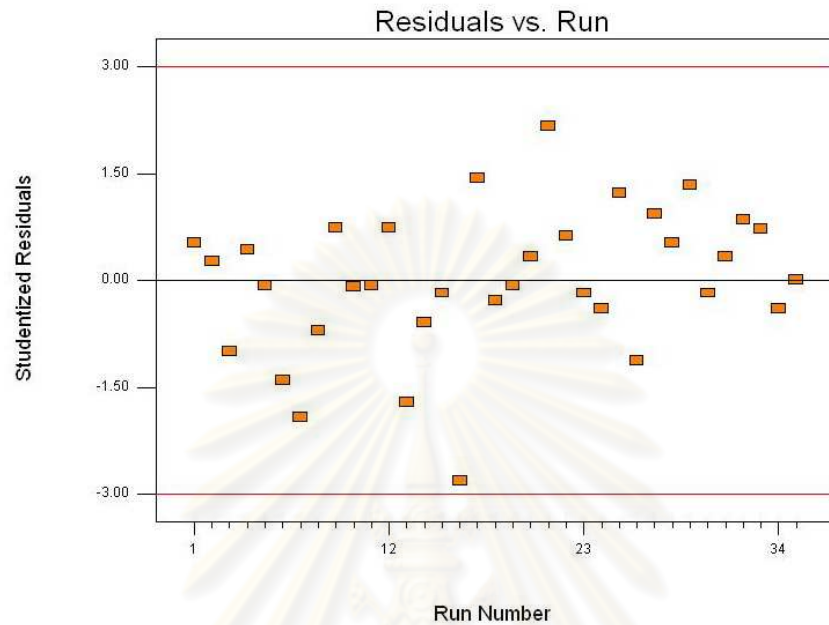
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เมื่อทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้วก็ต้องนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลในการทดลองมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ กล่าวคือเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้ รูปที่ 4.18 แสดง Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าเรสิดวลสำหรับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจริง



รูปที่ 4.18 Normal Probability Plot ของเรสิดวล (Residual) สำหรับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน



รูปที่ 4.19 เเรล็ดวล (Residual) เทียบกับลำดับในการเก็บข้อมูลสำหรับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

จากรูปที่ 4.19 แสดงค่าเรล็ดวลกับลำดับในการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเป็นอิสระ (independent) ของผลการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่าเรล็ดวลที่สัมพันธ์ลำดับของการทำการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด พบว่าเป็นการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการทำการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำให้ค่าผิดพลาด (error) ต่าง ๆ ที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้กระจายตัวเข้าถึงทุกหน่วยของการทดลองอย่างเท่าเทียมกัน

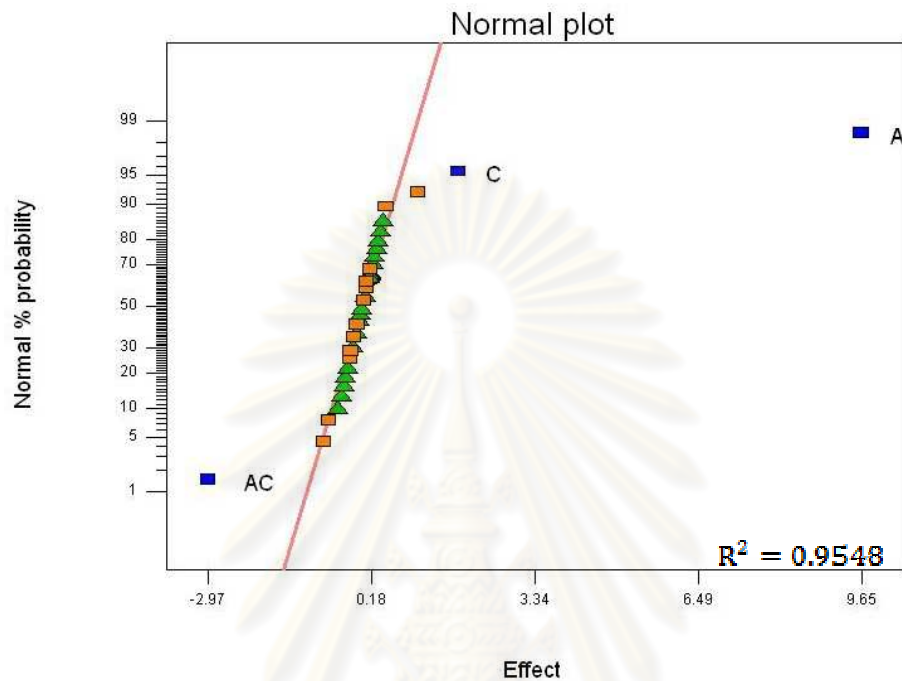
4.2.4.2 การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

เมื่อนำค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมาประมวลผลในรูปแบบของ Normal probability plot ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าปัจจัยที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง คือ อุณหภูมิ (A), ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (C) และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (AC) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และนอกจากนี้เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.14 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ก็พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.0001 ซึ่งเป็นการยืนยันในอีกทางหนึ่งได้ว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน นอกจากนี้ยังสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันกับปัจจัยดังกล่าว เพื่อใช้ในการทำนายค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันได้อีกด้วย ดังนี้

$$\% \text{ conversion} = -84.03235 + 0.38994T + 1.09683t - 0.00248Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



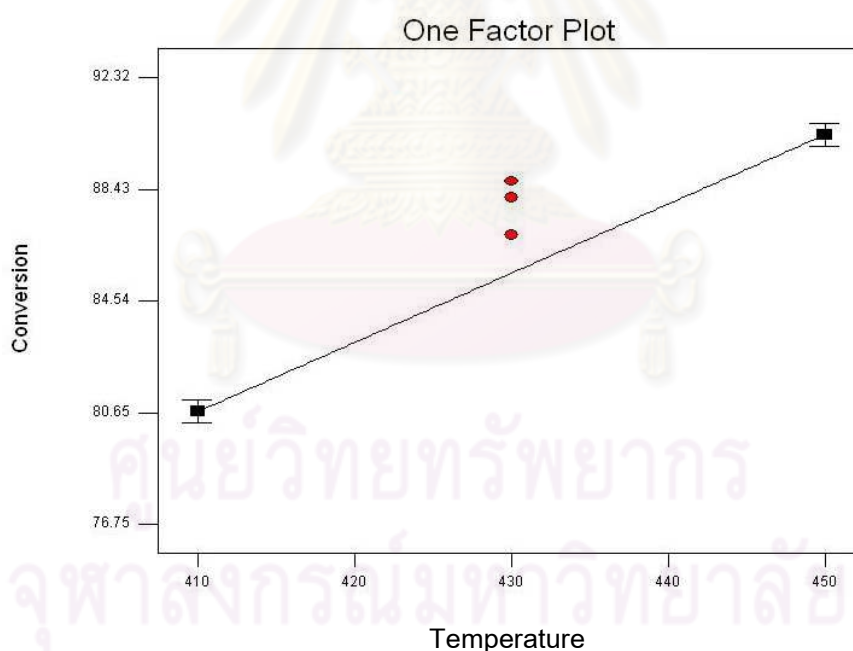
รูปที่ 4.20 Normal probability plot ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสดเดี่ยวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสดเดี่ยวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ANOVA for Selected Factorial Model					
Analysis of variance table [Partial sum of squares]					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	843.41	3	281.14	211.21	< 0.0001
A	744.84	1	744.84	559.57	< 0.0001
C	27.80	1	27.80	20.88	< 0.0001
AC	70.77	1	70.77	53.17	< 0.0001
Curvature	15.75	1	15.75	11.83	0.0017
Residual	39.93	30	1.33		
Lack of Fit	20.23	12	1.69	1.54	0.1977
Pure Error	19.70	18	1.09		
Cor Total	899.09	34			

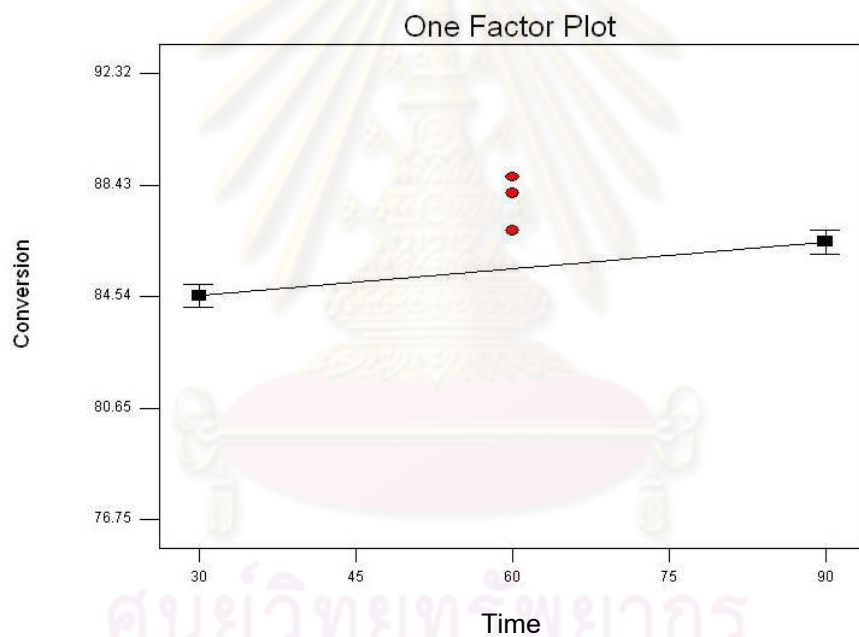
4.2.4.3 ผลของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากรูปที่ 4.21 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 80.68 เป็น 90.33 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กากน้ำมันหนักเกิดการแตกโมเลกุลเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง เช่น แนฟทา เคโรซีน ดีเซล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงสมบัติของน้ำมันปิโตรเลียมได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้การเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.21 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

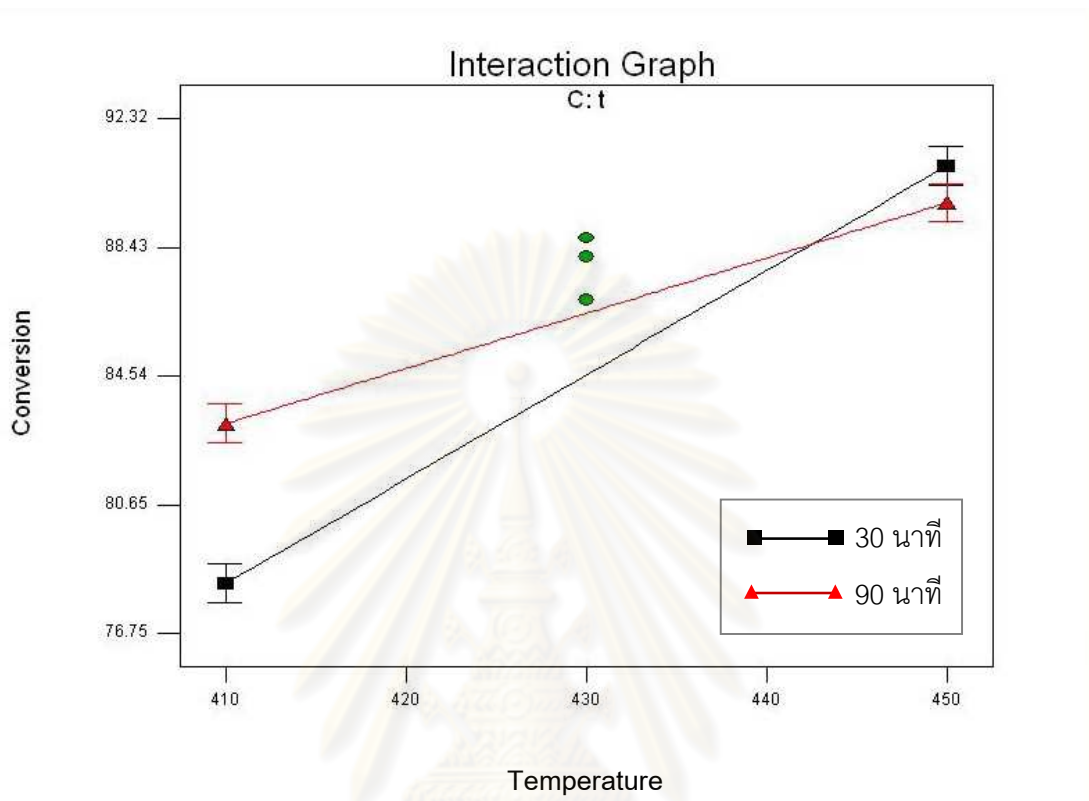
การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที จนถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 84.57 เป็น 86.44 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กากน้ำมันหนักมีเวลาเพิ่มขึ้นสำหรับการแตกโมเลกุลเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก ลง เช่น แนฟทา เควโรซีน ดีเซล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงสมบัติของน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ น้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.22 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

การศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ต่อร์้อยละ การเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 410 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 78.26 เป็น 90.89 โดยน้ำหนัก และที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 83.10 เป็น 89.78 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กากน้ำมันหนักสามารถแตกโมเลกุลเป็น โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง เช่น แนฟทา เคโรซีน ดีเซล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะ ใกล้เคียงสมบัติของน้ำมันปิโตรเลียมได้มากยิ่งขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยาที่ 30 นาทีกับ 90 นาที พบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะส่งผลต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันน้อยกว่าที่ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งสามารถสังเกตได้จากความชันของกราฟทั้งสอง ทั้งนี้เนื่องจากที่ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา 90 นาที เป็นระยะเวลาที่นานซึ่งจะทำให้กากน้ำมันหนักมีเวลาเพิ่มขึ้นสำหรับการแตก โมเลกุลเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งนอกจากกากน้ำมันหนักจะแตกโมเลกุลเป็น ของเหลวแล้วยังเกิดการแตกโมเลกุลกลายเป็นแก๊สเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งการแตกตัวกลายเป็นแก๊สจะ ส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าลดลง ดังนั้นที่ระยะเวลาใน การทำปฏิกิริยา 90 นาที จึงพบว่ากราฟมีความชันน้อยกว่ากราฟของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (จุดทั้งสามภายในกราฟแสดงค่ากลางของการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 3 บาร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสม (Optimum condition) ของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

4.3.1 การหาภาวะที่เหมาะสมและการทดลองเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

เมื่อทำการประมวลผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10 โดยการกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาดังตารางที่ 4.15 แล้ว พบว่าภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วที่คำนวณได้มีค่าแสดงดังตารางที่ 4.16 จากนั้นได้ทำการตรวจสอบภาวะที่คำนวณได้โดยการทดลองจริง พบว่ามีผลการทดลองใกล้เคียงกับภาวะที่คำนวณได้ แสดงเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.15 ขอบเขตสำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit
T	is in range	410	450
P	is in range	1	5
t	is in range	30	90
C	is in range	0.5	5.0
Liquid yield	maximize	36.10	83.12
Naphtha yield	maximize	8.13	37.20
Diesel yield	maximize	9.80	45.80
Conversion	maximize	76.75	92.32

ตารางที่ 4.16 ภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วที่คำนวณได้โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10

Factors	Level	Unit
A: temperature	444.69	□C
B: pressure	1.59	bar
C: time	30	min
D: catalyst	3.61	%(w/w _{oil})

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองที่ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง

Response	ค่าจากโปรแกรม	ค่าจากการทดลองจริง
Liquid yield (wt%)	67.18	64.14
Naphtha yield (wt%)	28.77	32.07
Diesel yield (wt%)	22.38	20.42
Conversion (%)	89.21	89.96

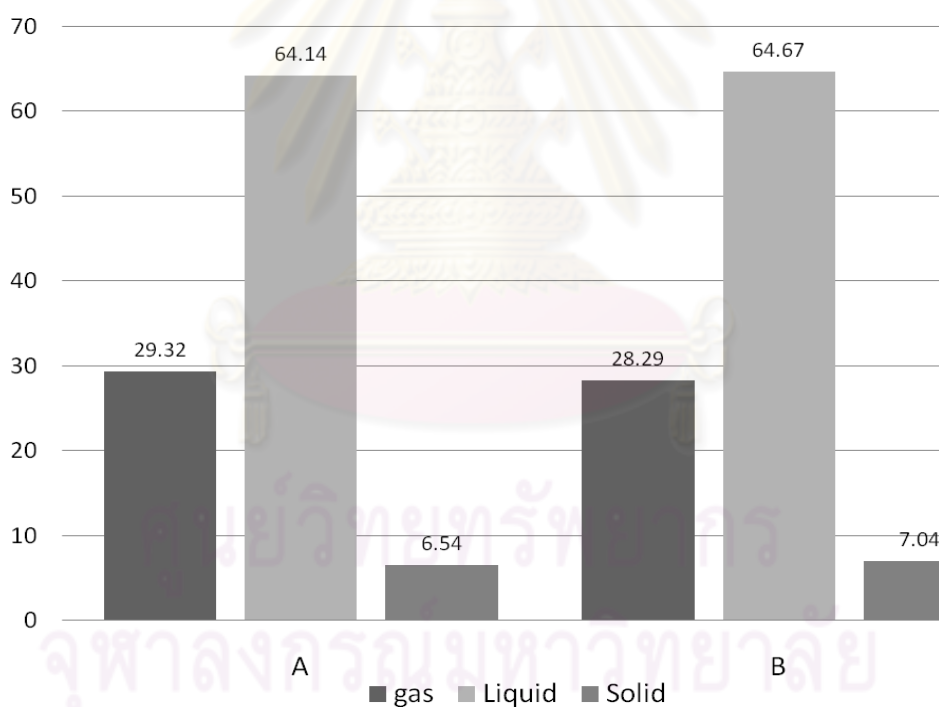
4.3.2 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

เมื่อทำการทดลองตามภาวะที่เหมาะสมที่คำนวณได้ซึ่งมีค่าแสดงดังตารางที่ 4.16 แล้ว จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบภาวะที่เหมาะสมกับภาวะต่าง ๆ ที่กำหนดดังตารางที่ 4.18 ผลการทดลองเปรียบเทียบภาวะที่เหมาะสมกับภาวะต่าง ๆ ที่กำหนดในรูปร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 ภาวะต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

Condition	T ($^{\circ}$ C)	P (bar)	t (min)	catalyst (wt%)
A (Optimum)	445	1.6	30	3.61
B*	445	1.6	30	3.61
C	445	1.6	30	–
D	445	–	30	3.61

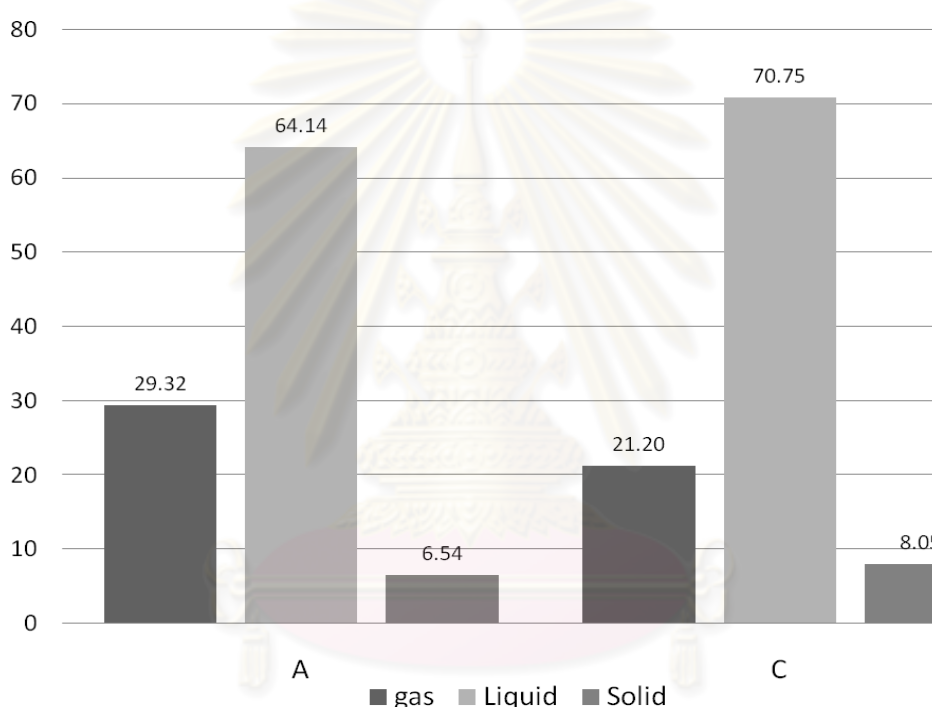
* ภาวะ B เป็นการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วในการทดลองนี้กลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4.24 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง (B) เปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสม (A)

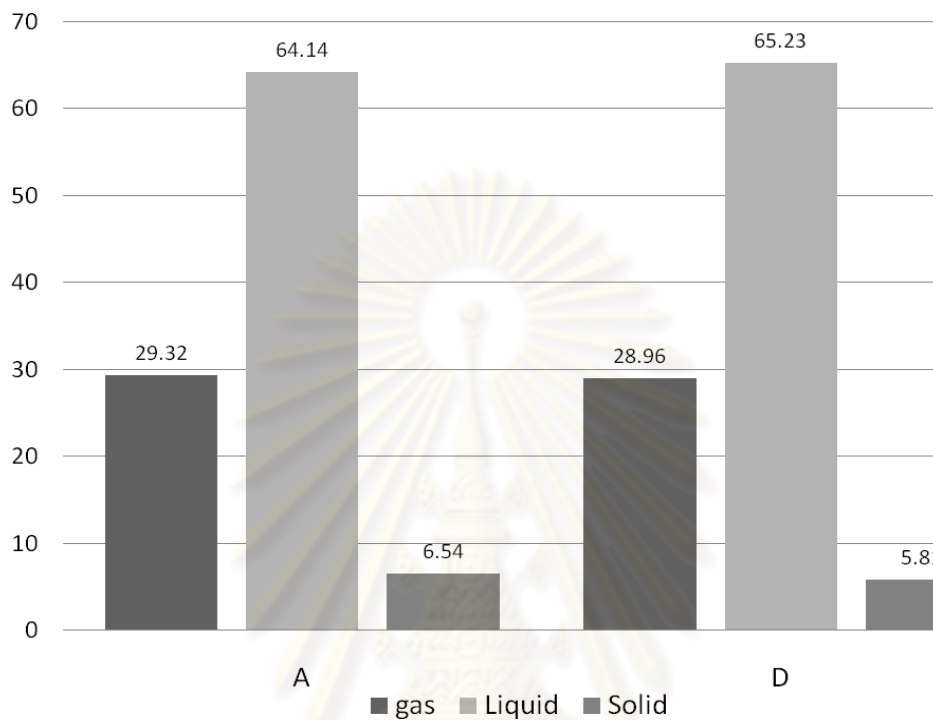
ผลการทดลองที่ภาวะ B เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วในการทดลองนี้มาผ่านการแคลไซน์ (calcine) และนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งใน

กระบวนการแตกตัวของพาล์มสเดียริน ทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 64.14 เป็น 64.67 เปอร์เซ็นต์ และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สลดลงจาก 29.32 เป็น 28.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองกรณี ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วเมื่อนำมาผ่านการเผาแคลไซน์แล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในกระบวนการแตกตัวของพาล์มสเดียรินได้



รูปที่ 4.25 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (C) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (A)

ผลการทดลองที่ภาวะ C เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้นจาก 64.14 เป็น 70.75 เปอร์เซ็นต์ และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สลดลงจาก 29.32 เป็น 21.20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีนั้นมีบทบาทสำคัญในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางให้กลายเป็นโมเลกุลแก๊ส ดังนั้นในการทดลองที่ภาวะ C ซึ่งไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจึงได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สน้อยกว่า และได้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวมากกว่าการทดลองในภาวะที่เหมาะสม



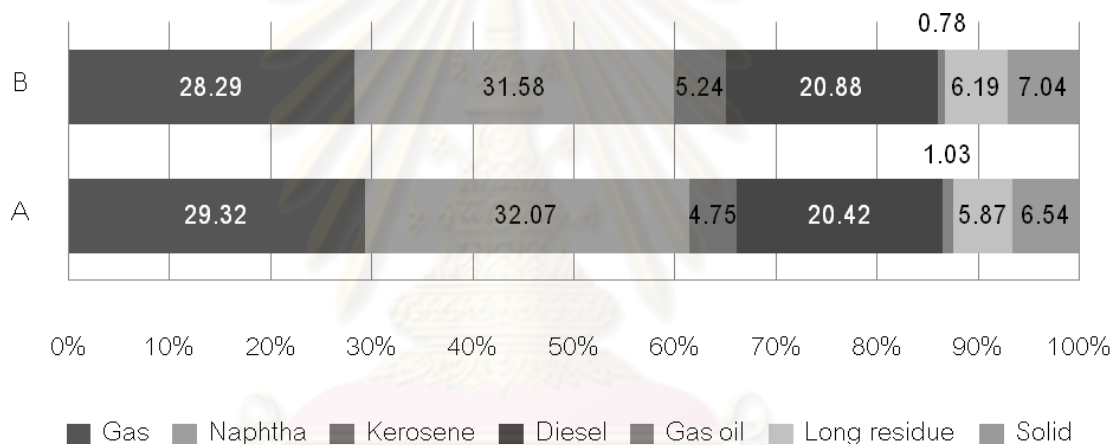
รูปที่ 4.26 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่ไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (D) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (A)

ผลการทดลองที่ภาวะ D เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จะทำให้ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้นจาก 64.14 เป็น 65.23 เปอร์เซ็นต์ และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สลดลงจาก 29.32 เป็น 28.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองกรณี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

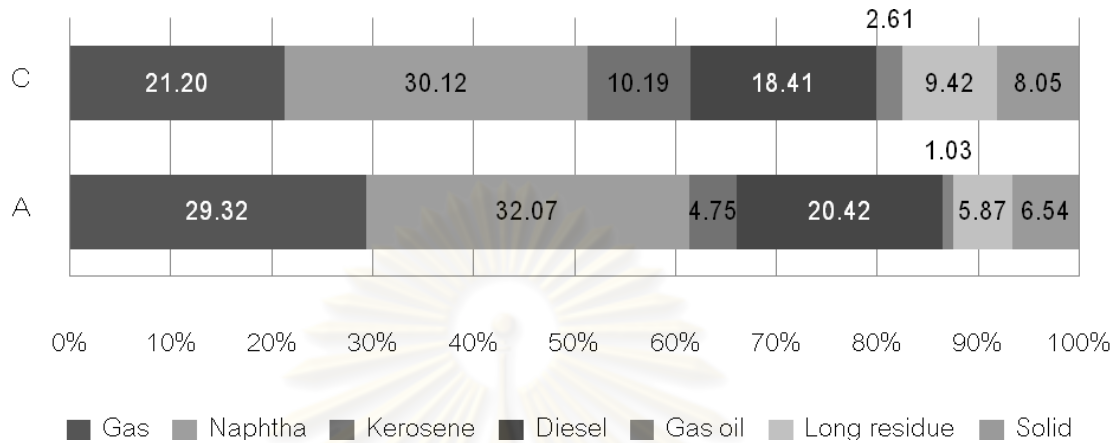
4.3.3 การศึกษาร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

หลังจากที่ได้ทำการทดลองที่ภาวะต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.18 เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แล้ว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่นเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง (B) เปรียบเทียบกับภาวะที่เหมาะสม (A)

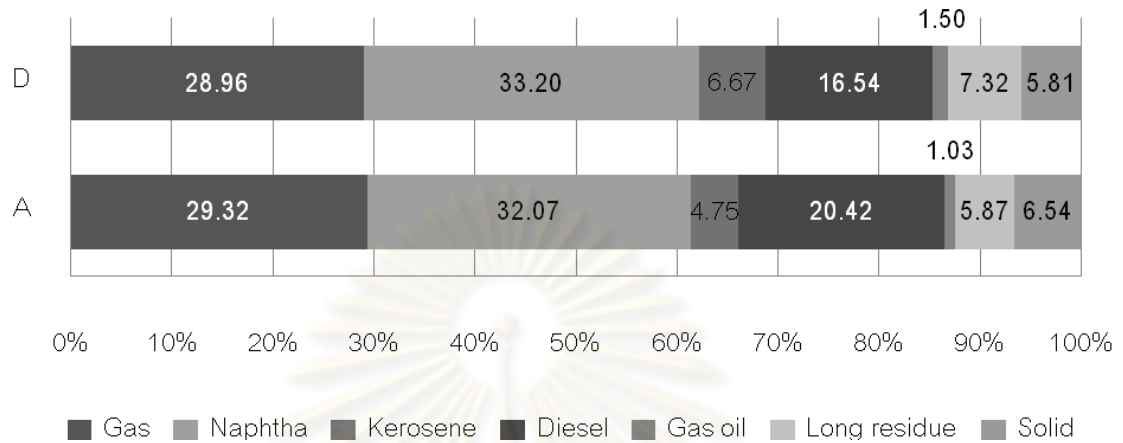
ผลการทดลองที่ภาวะ B เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วในการทดลองนี้มาผ่านการเผาแคลไซน์และนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียริน ทำให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการจากการทดลองมีค่าลดลงจาก 32.07 เป็น 31.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองกรณี ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วเมื่อนำมาผ่านการเผาแคลไซน์แล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินได้



รูปที่ 4.28 ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (C) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (A)

ผลการทดลองที่ภาวะ C เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง จะทำให้ร้อยละผลได้ของเนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 30.12 เป็น 32.07 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีมีบทบาทสำคัญในการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนให้มีขนาดเล็กลง จึงทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น กากน้ำมันหนัก เกิดการแตกโมเลกุลเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเนฟทามีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ภาวะ C ซึ่งไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะเกิดการแตกตัวโดยอาศัยอิทธิพลของอุณหภูมิเป็นหลักทำให้มีร้อยละผลได้ของเนฟทาน้อยกว่า ซึ่งหากต้องการเพิ่มปริมาณร้อยละผลได้ของเนฟทาก็อาจต้องใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.29 ร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่ไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (D) เปรียบเทียบกับภาวะเดียวกันที่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (A)

ผลการทดลองที่ภาวะ D เทียบกับภาวะที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จะทำให้ร้อยละผลได้ของเนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 32.07 เป็น 33.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองกรณี ดังนั้นการเติมแก๊สไฮโดรเจนในระบบจึงไม่มีผลเชิงปริมาณต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว โดยได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ และคุณภาพของเหลวที่ได้จากการแตกตัว เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ สำหรับปัจจัยที่ศึกษามีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถนำไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว และทำการวิเคราะห์ของเหลวในเชิงคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) ผลการทดลองสามารถสรุปถึงภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว ดังนี้

5.1 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว

- ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวกับปัจจัยต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้

$$\% \text{ yield liquid fuel} = 18.68063 + 0.12987T + 4.95961t - 0.011847Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)

5.2 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามจุดเดือดของแนฟทา (naphtha)

- ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา ได้แก่ อุณหภูมิ และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของแนฟทากับปัจจัยต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้

$$\% \text{ yield of naphtha} = -284.07359 + 0.71021T + 2.52579t - 0.00590Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)

5.3 การศึกษาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของพอลิมสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของดีเซล (diesel)

- ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละผลได้ของดีเซลกับปัจจัยต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้

$$\% \text{ yield of diesel} = 270.80249 - 0.55199T - 0.098727t$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)

5.4 การศึกษาร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน (conversion) จากการแตกตัวของพอลิมสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว

- ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันกับปัจจัยต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้

$$\% \text{ conversion} = -84.03235 + 0.38994T + 1.09683t - 0.00248Tt$$

(ใช้ได้เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 410 – 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 90 นาที)

5.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสม (Optimum conditions) ของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้ว

ภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วที่คำนวณได้โดยอาศัยโปรแกรม Design Expert 6.0.10 อยู่ที่ อุณหภูมิ 444.69 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1.59 บาร์ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 3.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมไปทำการทดลองจริงแล้ว พบว่ามีผลการทดลองใกล้เคียงกับภาวะที่คำนวณได้ แสดงเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองที่ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design Expert 6.0.10 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง

Response	ค่าจากโปรแกรม	ค่าจากการทดลองจริง
Liquid yield (%w)	67.18	64.14
Naphtha yield (%w)	28.77	32.07
Diesel yield (%w)	22.38	20.42
Conversion (%)	89.21	89.96

5.6 การศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้ว

— ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วเมื่อนำมาผ่านการเผาแคลไซน์แล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรินได้ โดยที่ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

— เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง จะทำให้อัตราผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้น และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สลดลง

— เมื่อไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น พบว่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

5.7 การศึกษาร้อยละของการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดที่ภาวะที่เหมาะสมเทียบกับภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้ว

— ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วเมื่อนำมาผ่านการเผาแคลไซน์แล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนได้ โดยที่ร้อยละผลได้ของเนฟทาที่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย

— เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง จะทำให้อัตราผลได้ของเนฟทาที่มีค่าลดลง

— เมื่อไม่มีความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จะทำให้อัตราผลได้ของเนฟทาเพิ่มขึ้น

5.8 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบและหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมยิ่งขึ้น
2. พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ให้เป็นแบบต่อเนื่อง และขยายส่วนการผลิตให้ใหญ่ขึ้น เพื่อทำการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากกระบวนการแตกตัวของปาล์มสเตียรีนได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ
3. วิเคราะห์องค์ประกอบ และสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ด้วยเทคนิคต่าง ๆ
4. ศึกษาเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากปาล์มสเตียรีนผ่านกระบวนการแตกตัวและกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นิธิยา รัตนพานนท์. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

นิตา วิสุทธิรังษีอุไร. การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ประจักษ์ คุ้มดี. การแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

มารีนา มงคล. การแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ และ HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วิษชากร จารุศิริ. การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยความร้อนเป็นแก๊สโซลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง. รายงานวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วิทยา เรืองพรวิสุทธิ. คะตะไลซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส: หลักทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

ภาษาอังกฤษ

Adjaye, J. D., Katikaneni, S. P. R., and Bakhshi N. N. Catalytic conversion of biofuel to hydrocarbons: effect of mixtures of HZSM-5 and silica-alumina catalysts on production distribution. Fuel Processing Technology 48 (1996): 115-143.

- Charles, N. S. Heterogeneous catalysis in industrial practice. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- Hagen, J. Industrial Catalysis: a practical approach. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2006.
- Harold, H. S. Chemistry of Hydrocarbon fuel. London: Butterworths, 1990.
- Knothe, G., Dunn, R.O., and Bagby, M.O. Fuel and chemical from biomass, 1st ed. Washington: ACS Publication, 1996.
- Matar, S., Manfred, J. M., and Hassan, A. T. Catalysis in Petrochemical Processes. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989
- Milford, A. H., and Fangrui, M. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 70 (1999): 1-15.
- Raseev, S. D. Thermal and Catalytic Processes in Petroleum Refining. New York: Marcel Dekker, 2003.
- Twaiq, F. A., Zabidi, N. A. M., and Bhatia, S. Catalytic conversion of palm oil to hydrocarbons: Performance of various zeolite catalysts. Ind. Eng. Chem. Res. 38 (1999): 3230-3237.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ก1 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Yield of gas (wt%)	Yield of liquid (wt%)	Yield of solid (wt%)
1	410	1	30	0.1	8.05	78.90	13.05
2					9.15	69.47	21.39
3	450	1	30	0.1	28.25	66.90	4.85
4					24.21	71.74	4.04
5	410	5	30	0.1	19.24	73.21	7.55
6					16.55	71.98	11.47
7	450	5	30	0.1	22.96	72.94	4.10
8					23.74	72.39	3.87
9	410	1	90	0.1	11.00	81.75	7.25
10					12.27	80.60	7.13
11	450	1	90	0.1	47.68	40.49	11.82
12					39.63	46.87	13.50
13	410	5	90	0.1	11.12	81.60	7.28
14					9.91	81.63	8.46
15	450	5	90	0.1	43.22	50.63	6.15
16					42.74	49.98	7.28
17	410	1	30	1	9.44	71.06	19.50
18					8.76	69.47	21.77

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Yield of gas (wt%)	Yield of liquid (wt%)	Yield of solid (wt%)
19	450	1	30	1	31.52	58.93	9.55
20					30.15	62.62	7.23
21	410	5	30	1	6.78	82.80	10.42
22					10.03	83.12	6.85
23	450	5	30	1	33.92	62.18	3.90
24					35.65	60.14	4.21
25	410	1	90	1	12.26	81.13	6.60
26					12.31	81.75	5.94
27	450	1	90	1	52.40	36.10	11.50
28					50.05	37.49	12.46
29	410	5	90	1	10.05	80.74	9.21
30					9.92	79.96	10.12
31	450	5	90	1	48.55	44.85	6.60
32					45.53	43.12	11.35
33	430	3	60	0.55	15.13	80.22	4.65
34					15.03	78.58	6.39
35					15.45	79.45	5.10

ตาราง ก2 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบจำลองการกลั่น

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Naphtha (wt%)	Kerosene (wt%)	Diesel (wt%)	Gas oil (wt%)	Long residue (wt%)
1	410	1	30	0.1	13.5	10.1	51.5	4.9	20.0
2					11.7	13.8	52.0	3.0	19.5
3	450	1	30	0.1	44.2	12.2	33.7	1.5	8.4
4					39.2	15.1	34.9	1.5	9.3
5	410	5	30	0.1	15.0	14.0	48.8	3.1	19.1
6					12.9	9.7	53.2	3.0	21.2
7	450	5	30	0.1	51.0	10.2	30.5	1.3	7.0
8					50.7	5.0	34.4	1.0	8.9
9	410	1	90	0.1	25.1	11.2	44.1	5.6	14.0
10					25.1	14.2	44.1	2.4	14.2
11	450	1	90	0.1	53.8	11.1	24.2	1.4	9.5
12					49.4	8.2	28.6	1.7	12.1
13	410	5	90	0.1	26.2	10.3	46.3	1.4	15.8
14					27.0	7.4	47.0	1.3	17.3
15	450	5	90	0.1	57.4	7.7	24.9	1.4	8.6
16					58.8	7.9	24.8	1.3	7.2
17	410	1	30	1	13.5	10.4	53.9	2.7	19.5
18					16.5	9.3	53.1	1.2	19.9

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Naphtha (wt%)	Kerosene (wt%)	Diesel (wt%)	Gas oil (wt%)	Long residue (wt%)
19	450	1	30	1	44.2	11.3	32.9	1.6	10.0
20					49.3	11.0	30.9	1.4	7.4
21	410	5	30	1	13.5	10.2	54.7	2.3	19.3
22					13.2	8.5	55.1	3.1	20.1
23	450	5	30	1	52.6	10.0	28.3	1.3	7.8
24					52.6	6.1	32.7	0.9	7.7
25	410	1	90	1	19.4	17.5	45.0	2.3	15.8
26					18.8	17.8	47.2	1.5	14.7
27	450	1	90	1	51.2	8.7	29.3	1.3	9.5
28					51.1	8.8	29.5	1.7	8.9
29	410	5	90	1	21.6	11.6	48.2	2.5	16.1
30					19.4	16.3	47.8	1.1	15.4
31	450	5	90	1	57.9	6.6	24.7	1.4	9.4
32					53.9	7.0	28.1	1.6	9.4
33	430	3	60	0.55	35.3	14.8	37.8	1.3	10.8
34					32.7	13.7	40.2	1.4	12.0
35					35.4	13.7	38.8	1.8	10.3

ตาราง ก3 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และของแข็งที่
ภาวะต่างๆ ในการทดลอง

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Yield of gas (wt%)	Yield of naphtha (wt%)	Yield of kerosene (wt%)	Yield of diesel (wt%)	Yield of gas oil (wt%)	Yield of long residue (wt%)	Yield of solid (wt%)
1	410	1	30	0.1	8.05	10.65	7.97	40.63	3.87	15.78	13.05
2					9.15	8.13	9.59	36.12	2.08	13.55	21.39
3	450	1	30	0.1	28.25	29.57	8.16	22.55	1.00	5.62	4.85
4					24.21	28.12	10.83	25.04	1.08	6.67	4.04
5	410	5	30	0.1	19.24	10.98	10.25	35.73	2.27	13.98	7.55
6					16.55	9.29	6.98	38.29	2.16	15.26	11.47
7	450	5	30	0.1	22.96	37.20	7.44	22.25	0.95	5.11	4.10
8					23.74	36.70	3.62	24.90	0.72	6.44	3.87
9	410	1	90	0.1	11.00	20.52	9.16	36.05	4.58	11.44	7.25
10					12.27	20.23	11.45	35.54	1.93	11.45	7.13
11	450	1	90	0.1	47.68	21.78	4.49	9.80	0.57	3.85	11.82
12					39.63	23.15	3.84	13.40	0.80	5.67	13.50
13	410	5	90	0.1	11.12	21.38	8.40	37.78	1.14	12.89	7.28
14					9.91	22.04	6.04	38.37	1.06	14.12	8.46
15	450	5	90	0.1	43.22	29.06	3.90	12.61	0.71	4.35	6.15
16					42.74	29.39	3.95	12.40	0.65	3.60	7.28
17	410	1	30	1	9.44	9.59	7.39	38.30	1.92	13.86	19.50
18					8.76	11.46	6.46	36.89	0.83	13.82	21.77

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Yield of gas (wt%)	Yield of naphtha (wt%)	Yield of kerosene (wt%)	Yield of diesel (wt%)	Yield of gas oil (wt%)	Yield of long residue (wt%)	Yield of solid (wt%)
19	450	1	30	1	31.52	26.05	6.66	19.39	0.94	5.89	9.55
20					30.15	30.87	6.89	19.35	0.88	4.63	7.23
21	410	5	30	1	6.78	11.18	8.45	45.29	1.90	15.98	10.42
22					10.03	10.97	7.07	45.80	2.58	16.71	6.85
23	450	5	30	1	33.92	32.71	6.22	17.60	0.81	4.85	3.90
24					35.65	31.63	3.67	19.67	0.54	4.63	4.21
25	410	1	90	1	12.26	15.74	14.20	36.51	1.87	12.82	6.60
26					12.31	15.37	14.55	38.59	1.23	12.02	5.94
27	450	1	90	1	52.40	18.48	3.14	10.58	0.47	3.43	11.50
28					50.05	19.16	3.30	11.06	0.64	3.34	12.46
29	410	5	90	1	10.05	17.44	9.37	38.92	2.02	13.00	9.21
30					9.92	15.51	13.03	38.22	0.88	12.31	10.12
31	450	5	90	1	48.55	25.97	2.96	11.08	0.63	4.22	6.60
32					45.53	23.24	3.02	12.12	0.69	4.05	11.35
33	430	3	60	0.55	15.13	28.32	11.87	30.32	1.04	8.66	4.65
34					15.03	25.70	10.77	31.59	1.10	9.43	6.39
35					15.45	28.13	10.88	30.83	1.43	8.18	5.10

ตัวอย่างการคำนวณ

จากลำดับการทดลองที่ 1 ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 ได้ข้อมูลจากการทดลองดังตารางที่ ก4

ตาราง ก4 ข้อมูลจากการทดลองสำหรับลำดับการทดลองที่ 1 ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1

ข้อมูลการทดลอง	ปริมาณ
น้ำหนักปาล์มสเตียริน (กรัม)	20.00
น้ำหนักรวมของปฏิกรณ์ก่อนการทดลอง (กรัม)	1018.27
น้ำหนักรวมของปฏิกรณ์หลังการทดลอง (กรัม)	1016.66
น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของแข็ง (กรัม)	2.61
ร้อยละโดยน้ำหนักของแนฟทา	13.5
ร้อยละโดยน้ำหนักของเคโรซีน	10.1
ร้อยละโดยน้ำหนักของดีเซล	51.5
ร้อยละโดยน้ำหนักของแก๊สออยล์	4.9
ร้อยละโดยน้ำหนักของกากน้ำมันหนัก	20.0

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส} &= \frac{1018.27 - 1016.66}{20} \times 100 \\ &= 8.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง} &= \frac{2.61}{20} \times 100 \\ &= 13.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว} &= 100 - 8.05 - 13.05 \\ &= 78.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของแนฟทา} &= \frac{78.9 \times 13.5}{100} \\ &= 10.65 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของดีเซล} &= \frac{78.9 \times 51.5}{100} \\ &= 40.63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน} &= \frac{(91.2 - 20.0)}{91.2} \times 100 \\ &= 78.07 \end{aligned}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด (Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph จะวิเคราะห์ตามจุดเดือดของแต่ละสารดังต่อไปนี้

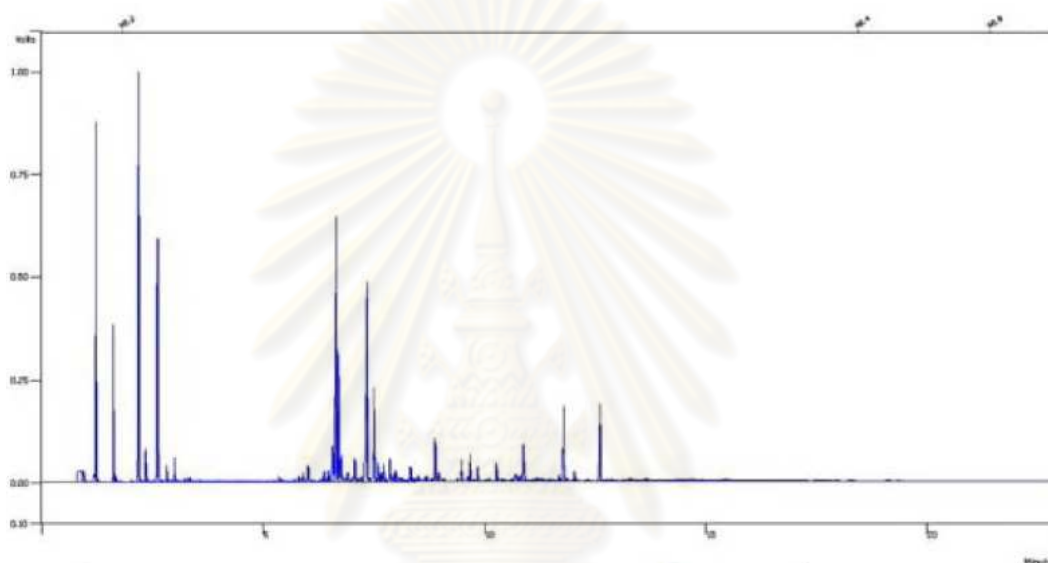
IBP – 200 °C	=	Gasoline
200 °C – 250 °C	=	Kerosene
250 °C – 350 °C	=	Light Gas Oil
350 °C – 370 °C	=	Gas Oil
370 °C – FBP	=	Long residue

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการเตรียมสารตัวอย่าง โดยนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปละลายในสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมทั้งดีเทคเตอร์แบบ 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 ภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิหัวฉีด 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ 30-320 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ ดีเทคเตอร์ 320 องศาเซลเซียส โดยมี carrier gas เป็น helium gas ที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วย split ratio 2

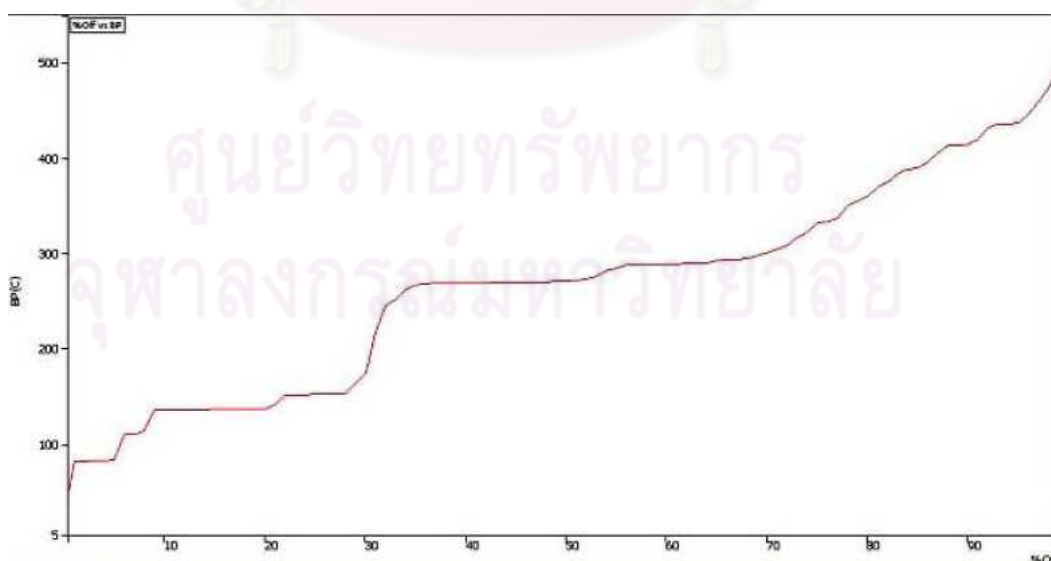
ศูนย์ทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ดังรูป ข1 จากนั้นนำไปเปลี่ยนเป็นกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated Distillation โดยจะทำการเทียบกับโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานตาม ASTM D2887 (Standard) และโครมาโทแกรมของเครื่องมือไม่มีการฉีดสารใด ๆ (Blank) ดังรูป ข2

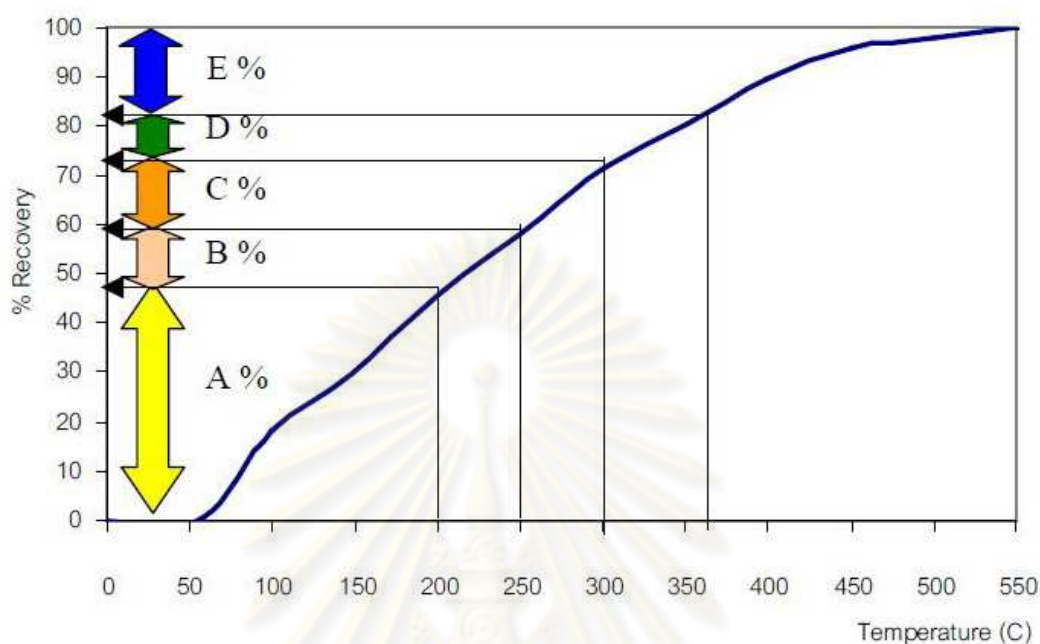


รูปที่ ข1 โครมาโทแกรมจากการแยกของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน (%off) กับจุดเดือดของสารจากโปรแกรม Simulated Distillation

ตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ ๓3 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟและการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ

การคำนวณหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือด

ปริมาณ naphtha ที่อ่านจากกราฟ A %

$$\text{ดังนั้น \% naphtha ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{A \times W}{100}$$

ปริมาณ kerosene ที่อ่านจากกราฟ B %

$$\text{ดังนั้น \% kerosene ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{B \times W}{100}$$

ปริมาณ light gas oil ที่อ่านจากกราฟ C %

$$\text{ดังนั้น \% light gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{C \times W}{100}$$

ปริมาณ gas oil ที่อ่านจากกราฟ D %

$$\text{ดังนั้น \% gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{D \times W}{100}$$

ปริมาณ long residue ที่อ่านจากกราฟ E %

$$\text{ดังนั้น \% long residue ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{E \times W}{100}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนันท์ชฎานันท์ เกตุอุบล เกิดเมื่อวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จังหวัด กรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีเมื่อ ปี พ.ศ. 2546 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทเมื่อ ปี พ.ศ. 2550 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย