

การแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

นางสาวธนาทิพย์ ศรีสูงวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

CATALYTIC CRACKING OF TUNG OIL TO LIQUID FUEL ON HETEROGENEOUS BASE
CATALYST

Miss Thanatip Srisuwong

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลว
บนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

โดย

นางสาวธนาทิพย์ ศรีสูงศักดิ์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเชื้อเพลิง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชดธारा)

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

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

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

ธนาทิพย์ ศรีสว่างส์ : การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบน
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส (CATALYTIC CRACKING OF TUNG OIL TO
LIQUID FUEL ON HETEROGENEOUS BASE CATALYST)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 95หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงบนตัวเร่ง
ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส ทำการทดลองภายในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 250 มิลลิลิตร
ทำการศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิ 390-440 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60
นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส
(แมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์) ร้อยละ 2.5-10 โดยน้ำหนักต่อปริมาณน้ำมันตุง
จำนวน 20 กรัม และใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่
มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด นำ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Simulate
Distillation Gas Chromatography (DGC)

ภาวะที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม design-expert พบว่าภาวะของ
การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียม
ออกไซด์คืออุณหภูมิ 402 และ 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 38
นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ได้
ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 38.83 และ 37.55 โดยน้ำหนัก แก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ
49.62 และ 47.37 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวมีปริมาณเนฟทาร้อยละ
21.43 และ 19.16 โดยน้ำหนัก ร้อยละเคโรซีน 8.37 และ 11.58 โดยน้ำหนัก แก๊สออกไซด์ร้อยละ
8.01 และ 5.71 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ภาควิชาเคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา..... 2554.....

5272333423: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : CATALYTIC CRACKING/ TUNG OIL/ HETEROGENEOUS BASE
CATALYST

THANATIP SRISUWONG: CATALYTIC CRACKING OF TUNG OIL TO LIQUID FUEL
ON HETEROGENEOUS BASE CATALYST. ADVISOR: ASSOC.PROF.THARAPONG
VITIDSANT, Ph.D.

This research work is study the catalytic cracking of tung oil on heterogeneous base catalyst in a batch microreactor of 250 ml. The experiment was carried out under the various condition by the following variable: reaction temperature ranging 390°C to 440°C, reaction time of 30 to 60 minute, initial hydrogen pressure of 1 to 5 bars and amount of catalyst ranging from 2.5 to 10% by weight. The two level factorial experimental design was perform to investigate the effect of variable of oil yield to optimum condition. The product oil was analyzed by Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC).

According to design-expert program, it was found that reaction of tung oil on calcium oxide catalyst is temperature of 440°C, reaction time of reaction 38 minute, initial hydrogen pressure 1 bars by using 2.5 percent by weight gave the highest yield. The oil yield was 37.55 percent by weight, the naphtha yield was 19.16 percent by weight. In the reaction of tung oil on Magnesium oxide catalyst is temperature of 402°C, reaction time 30 minute, initial hydrogen pressure 1 bars by using 2.5 percent by weight gave the highest yield. The oil yield was 38.83 percent by weight, the naphtha yield was 21.43 percent by weight.

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

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

Academic Year : 2011..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี เทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชดารา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. วิชชากร จารุศิริ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความเห็นคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมี เทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณโครงการปฏิบัติการไทยเข้มแข็งที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ Thorzen Group ที่สนับสนุนน้ำมันตุงเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ชีวมวล.....	4
2.2 ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน.....	6
2.2.1 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน.....	6
2.2.2 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา.....	8
2.2.3 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม.....	10
2.3 น้ำมันพืช.....	11
2.3.1 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง.....	12
2.4 น้ำมันตุง.....	13
2.4.1 จุดเด่นของต้นน้ำมันตุง.....	13
2.4.2 ลักษณะทั่วไป.....	13
2.4.3 น้ำมันและประโยชน์จากต้นน้ำมันตุง.....	14
2.5 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง.....	14
2.5.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรง.....	14
2.5.2 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง.....	15
2.5.2.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล.....	16

	หน้า
2.5.2.2 การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน.....	16
2.5.2.3 การสลายตัวน้ำมันพืชด้วยความร้อน.....	16
2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน.....	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	22
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	22
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	25
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	26
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	30
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	30
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันตุง.....	32
4.2.1 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น.....	32
4.2.2 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเทคนิค GC-MS.....	33
4.2.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าความหนืดของน้ำมันตุง.....	35
4.2.3 การวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมัน.....	36
4.2.4 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเทคนิค Temperature Gravimetric Analysis	37
4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิง	
เหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวีอิฐพันธุชนิดเบส.....	37
4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์	
น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาวีอิฐพันธุชนิดเบส.....	37
4.3.1.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ	
ผลิตภัณฑ์น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	38
4.3.1.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ	
แฉฟทาบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	40
4.3.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ.....	44
4.3.1.4 อิทธิพลความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น.....	46

	หน้า
4.3.1.5 อิทธิพลเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	48
4.3.1.5 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	50
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	52
4.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ ผลิตภัณฑ์น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	52
4.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ แฉกพาทบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	56
4.3.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ.....	58
4.3.2.4 อิทธิพลความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น.....	61
4.3.2.5 อิทธิพลเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	63
4.3.2.6 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	65
4.4 คำแนะนำภาวะเหมาะสมโดยโปรแกรม Design-Expert.....	67
4.4.1 คำแนะนำภาวะเหมาะสมโดยโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่ง ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	67
4.4.2 คำแนะนำภาวะเหมาะสมโดยโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่ง ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	70
4.5 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด.....	72
4.6 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค CHNO.....	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก.....	79
ภาคผนวก ข.....	83
ภาคผนวก ค.....	93
ภาคผนวก ง.....	94

	หน้า
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน.....	17
2.2	สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมัน ละหุ่งด้วยความร้อน.....	18
3.1	ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ชนิดเบส.....	26
3.2	จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลสองระดับของ น้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส.....	27
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และ แคลเซียมออกไซด์.....	30
4.2	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด.....	32
4.3	องค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา.....	33
4.4	องค์ประกอบของน้ำมันตุงด้วยเทคนิค GC-MS เมื่อไม่เติมตัวเร่ง ปฏิกิริยา.....	34
4.5	องค์ประกอบของน้ำมันตุงด้วยเทคนิค GC-MS เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	35
4.6	ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าความหนืดของน้ำมันตุง.....	35
4.7	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันตุง.....	36
4.8	ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุง บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	38
4.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการ แตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	40
4.10	ร้อยละผลได้ของเนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	41
4.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเนฟทาที่ได้จากการแตกตัว เชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	43

ตารางที่	หน้า	
4.12	ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	53
4.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	55
4.14	ร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	56
4.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	58
4.16	ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	67
4.17	ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	68
4.18	ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง.....	69
4.19	ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	70
4.20	ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	71
4.21	ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert บนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง.....	71
4.22	ค่าความเป็นกรดของน้ำมันตุง.....	72
4.23	วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHNO	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ปริมาตร 250 มิลลิลิตร (Micro-reactor).....	22
3.2	ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและเครื่องเขย่า..	23
3.3	ชุดกรองสูญญากาศ.....	24
3.4	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น.....	25
4.1	องค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค GC-MS.....	33
4.2	องค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค GC-MS.....	34
4.3	อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการสลายตัวน้ำมันตุงด้วยเทคนิค TGA.....	37
4.4	Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	39
4.5	Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แฉะจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	42
4.6	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	44
4.7	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	44
4.8	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	45
4.9	ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	46
4.10	ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	47
4.11	ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	47

ภาพที่	หน้า	
4.12	ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	48
4.13	ผลของเวลาเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	49
4.14	ผลของเวลาเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	49
4.15	ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	50
4.16	ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	51
4.17	ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	51
4.18	Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	54
4.19	Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	57
4.20	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	58
4.21	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	59
4.22	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	59
4.23	ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	61

ภาพที่	หน้า
4.24 ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์.....	61
4.25 ผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่ง ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	62
4.26 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	63
4.27 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง เหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	63
4.28 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	64
4.29 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของ น้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	65
4.30 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วย เครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph บนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์.....	65
4.31 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เชื้อเพลิงเป็นพลังงานสำคัญมากที่มนุษย์ต้องใช้กันเป็นประจำ ทำให้ความต้องการใช้พลังงานในทางด้านอุปโภคบริโภคที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรโลกแต่ในขณะเดียวกันแหล่งพลังงานตามธรรมชาติก็ลดลง เป็นการสวนทางกันกับความต้องการในการใช้พลังงาน ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศเป็นพลังงานทางเลือก

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่ง เป็นต้น ทั้งนี้น้ำมันพืชมีค่าความร้อน (heating value) คิดเป็นร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล แต่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าและมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลถึง 10 เท่า การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจึงพบปัญหาการทำงานของหัวฉีดน้ำมัน การบ่อน้ำมันไม่คงที่ การสันดาปไม่สมบูรณ์ เกิดคราบเขม่าที่หัวฉีด ผงงลู่สูบ แหวนและวาล์วหลังการเผาไหม้ และที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 24-26 องศาเซลเซียส น้ำมันพืชเกิดเป็นไข จึงเกิดปัญหาการใช้งาน การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม หรือการทำไมโครอิมัลชัน (microemulsion) ของน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เมทานอล เอทานอล หรือ 1-บิวทานอล ช่วยลดความหนืดของน้ำมันพืชลงได้ แต่ผสมได้ในอัตราส่วนไม่มากนัก [1] แต่วิธีการนี้มีความยากลำบากเนื่องจากเกิดผลิตภัณฑ์กลีเซอรินที่ไม่ต้องการ สิ้นเปลืองแอลกอฮอล์ และปัญหาน้ำเสียอันเนื่องมาจากการล้างสิ่งเจือปน

น้ำมันตุงหรือน้ำมันเมล็ดมะเขายหิน (Tung oil) ได้จากต้นน้ำมันตุง เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถปลูกเพื่อเป็นพืชเศรษฐกิจและให้ผลผลิตได้ดี เป็นบ่อน้ำมันบนดิน (Above Ground Oil Field) โดยเนื้อภายในเมล็ดมีปริมาณน้ำมันสูงสามารถใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ได้หรือนิยมนำมาใช้ทาเฟอร์นิเจอร์เพื่อเคลือบเงาเนื้อไม้ ทาเคลือบกระดาด ฯลฯ เนื่องจากไม่สามารถใช้ในการบริโภคได้ การใช้น้ำมันตุงผลิตไบโอดีเซลจึงไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำมันพืชที่ใช้

ในการบริโภค ดังนั้นน้ำมันตุ่งจะสามารถเป็นพืชพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่สามารถให้น้ำมันเพื่อนำไปใช้ทดแทนน้ำมันที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมได้

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการแตกตัว (cracking) แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking) ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เกิดการแยกตัวหรือแตกตัวเป็นน้ำมันส่วนเบาหรือเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงรวมทั้งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อยลง และกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อเนื่องจากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันตลอดจนคุณภาพของน้ำมันให้ได้รับการปรับปรุงดีขึ้นโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุ่งเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพ่นคู่ชนิดเบสในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาด 250 มิลลิลิตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คืออุณหภูมิ 390-440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ และตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 0.5-2.0 กรัม ต่อน้ำมันตุ่ง 20 กรัม โดยวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของน้ำมัน แก๊ส และของแข็ง และการวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph) เพื่อให้หาค่าการกระจายองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ และมีการศึกษาคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุ่งเป็นเชื้อเพลิงเหลวประกอบด้วยอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสเพื่อให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวจำพวกเนฟตามากที่สุด
2. ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่น

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันตุงก่อนทำปฏิกิริยา เช่นองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph) วิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าพลังงานความร้อน วิเคราะห์กรดไขมัน และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ
3. วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์โดยใช้เทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry (XRF) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET
4. ออกแบบการทดลองโดยใช้แพคทอเรียลแบบสองระดับจากโปรแกรม Design-expert โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคืออุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา
5. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ของแต่ละสถานะทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส และหาค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น
6. วิเคราะห์หาชนิดองค์ประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างละเอียดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)
7. หาภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของน้ำมันตุงโดยใช้โปรแกรม Design-Expert
8. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล [2],[3]

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำได้โดย นำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม้และเศษไม้ หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน

กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ

1.การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2.การผลิตก๊าซ (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส

3.การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดแก๊สชีวภาพ ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่นกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล

1. การสันดาป (Combustion Technology) การสันดาปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ แต่จะใช้อากาศแทนเนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยปริมาตร หรือ 23% โดยน้ำหนัก

2. การผลิตเชื้อเพลิงเหลว (Liquidification Technology) การนำไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปจากของแข็งเป็นของเหลวโดยใช้ความร้อน ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเตาที่ใช้งานอุตสาหกรรม

3. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Technology) กระบวนการ Gasification เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงแบบ Thermal Conversion โดยมีส่วนประกอบของ Producer gas ที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄)

4. การผลิตก๊าซโดยการหมัก (Anaerobic Digestion Technology) การผลิตก๊าซจากชีวมวลทางเคมีด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ไม่มีอากาศหรือไม่มีออกซิเจนซึ่งเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ได้ก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นหลัก

5. การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง [4] โรงไฟฟ้าชีวมวลส่วนมากในโลกนี้มักจะใช้ระบบการเผาไหม้โดยตรง (Direct-Fired) โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวล มาเผาไหม้โดยตรงในหม้อไอน้ำ (Boiler) และถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้แก่ น้ำในหม้อไอน้ำจนกลายเป็นไอน้ำที่ร้อนจัดและมีความดันสูง ซึ่งไอน้ำนี้จะถูกนำไปปั่นกังหันที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เราได้กระแสไฟฟ้าออกมา นอกเหนือจากการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวแล้ว ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงน้ำตาล โรงกระดาษ ก็จะใช้ประโยชน์จากไอน้ำไปในขั้นตอนการผลิตของโรงงานด้วย ซึ่งการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าร่วมกันนี้เรียกว่าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration) ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงสูง

6. เตาแก๊สชีวมวล เตาแก๊สชีวมวลเป็นเตาที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มอาหารในครัวเรือน โดยใช้เศษไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยมีหลักการทำงานแบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล (Gasifier) แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนแล้วไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื้ออื่น ๆ เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นต้น

2.2 ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน [5]

ปฏิกริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.2.1 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน

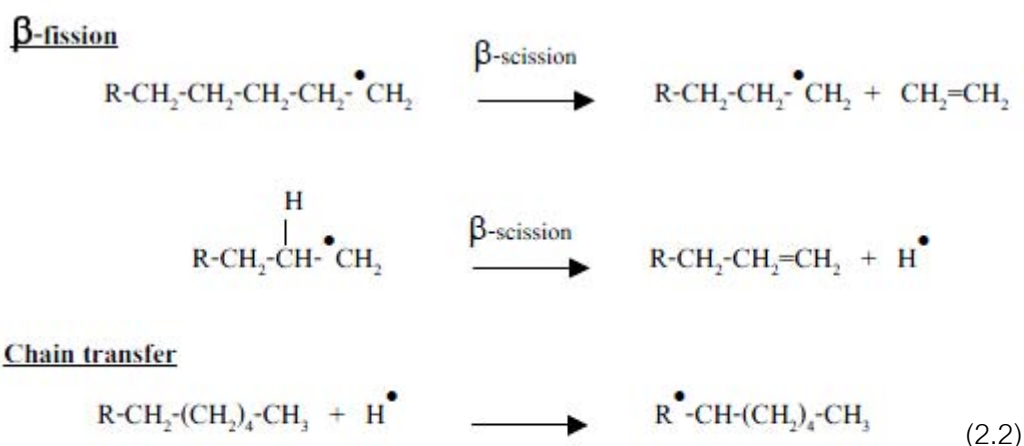
การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของ โมเลกุลที่เล็กลงโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจะเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ C_1 - C_4 ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกริยาโดยเฉพาะส่วนที่มีแซนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) ซึ่งจะทำปฏิกริยากันเองต่อไป

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

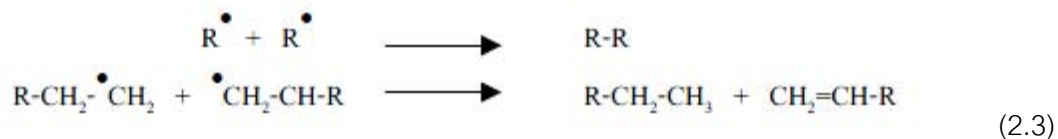
1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation step) เป็นขั้นตอนในการเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) เกิดจากความร้อนไปทำให้สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขาดออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป ดังสมการ 2.1



2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องเกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์และแตกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงพร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นนอกจากนี้อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นและโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการ 2.2



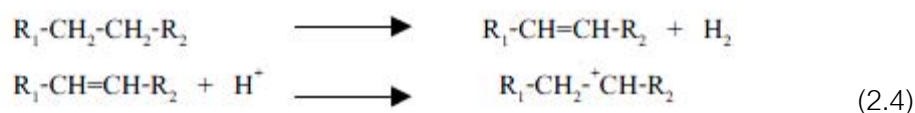
3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยวหรือเกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล ดังสมการ 2.3



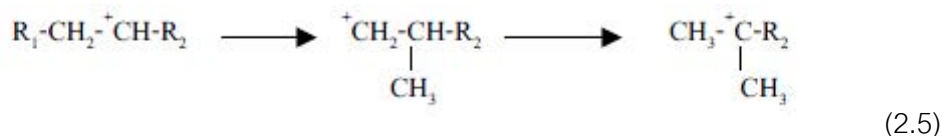
2.2.2 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)

เป็นกระบวนการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยการแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงได้โครงสร้างที่เหมาะสม มีคุณภาพพอเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

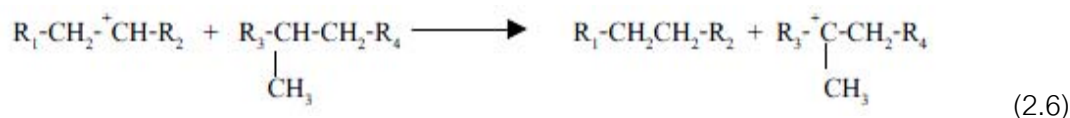
1. การเกิดไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนียมไอออน (Carbonium ion) ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรด์ไอออนที่มีประจุลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์บอนเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้าโดยคาร์บอนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะมีเสถียรภาพแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออนโดย tertiary ion จะมีเสถียรภาพมากกว่า secondary ion และ primary ion ดังสมการ 2.4



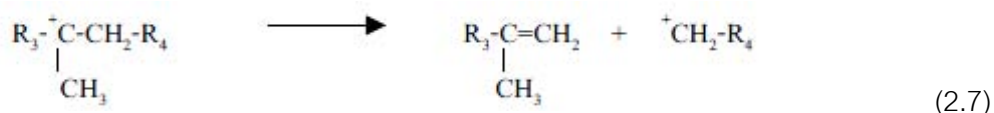
2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลคาร์บอนเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์บอนเนียมไอออนมีความเสถียรแตกต่างกัน ดังสมการ 2.5



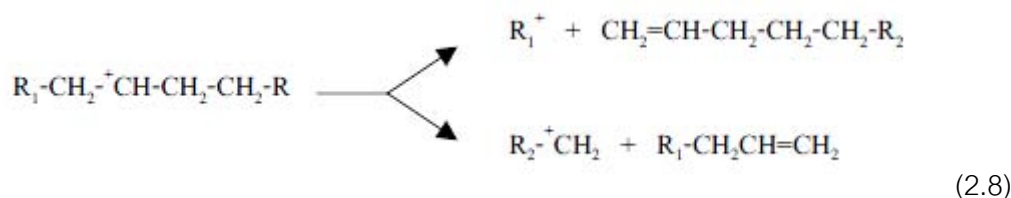
และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเนียมไอออนกับโมเลกุลของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ดังสมการ 2.6



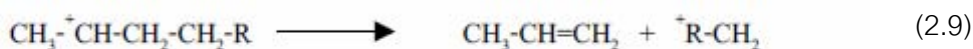
สำหรับคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา หรือการแตกตัวที่ ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยมักจะเป็น primary carbonium ion ดังสมการ 2.7



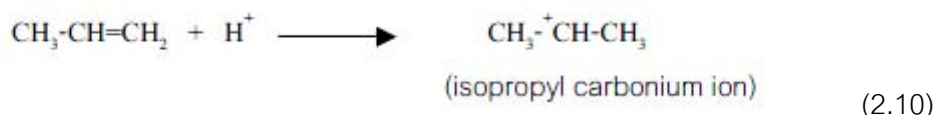
ในบางกรณีคาร์บอนเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion ดังสมการ 2.8



ถ้า $\text{R}_1 = \text{H}$ การเกิด จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ 2.9

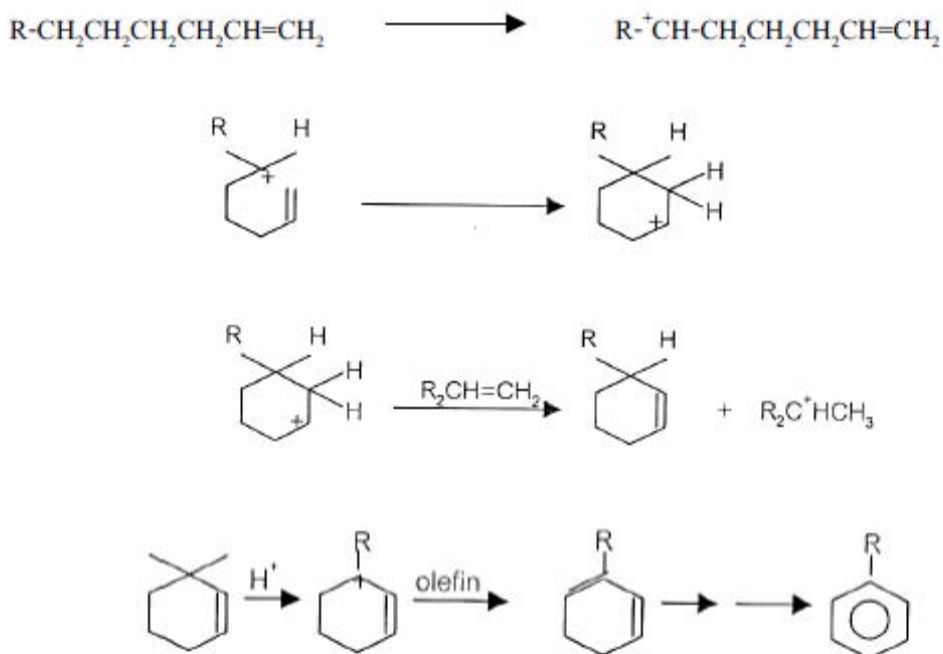


โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์บอนเนียมไอออนซึ่ง จะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้ ดังสมการ 2.10



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพน หรืออาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน ในการเกิดวงแหวนแอมติกจากปฏิกิริยา dehydrocyclization โดยโอเลฟินเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefin carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟิน เกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ไอออนจากบริเวณที่เป็น

กรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพและเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadine ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติก ดังสมการ 2.11



(2.11)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยแก๊สที่มีโอเลฟินสูง องค์ประกอบของเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงเนื่องจากมีสารจำพวกเอโรแมติกและโอเลฟินมาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้ก (coke) ที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้พื้นที่ผิวรูพรุนและความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของ ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.3 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)

การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา และการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-

คาร์บอนของ โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนและช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวก ซิลิกา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อมๆกับการเติมไฮโดรเจนโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะเริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินขึ้นที่บริเวณที่เป็นโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโอเลฟินไปทำให้เกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจะเกิดการแตกตัวและที่บริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดการเติมไฮโดรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอิ่มตัว ซึ่งการเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์จำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้กและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถไปหรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

2.3 น้ำมันพืช [6]

น้ำมันจากพืชและสัตว์ เป็นไตรกลีเซอไรด์ ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้อง และไม่ละลายน้ำ น้ำมันพืชให้พลังงานสูง ให้วิตามินอี และส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในปริมาณมาก แต่ไม่มีคอเลสเตอรอล เพราะพืชไม่สังเคราะห์คอเลสเตอรอล น้ำมันพืชบางชนิดเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสีและน้ำมันชักเงา เช่น น้ำมันลินสีด ในปัจจุบันน้ำมันพืชส่วนใหญ่นิยมนำไปทำเป็นน้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันสลัด และมาการีน

การสกัดน้ำมันจากพืชนิยมใช้การทุบ สับ หรือบดเมล็ดหรือเนื้อผลให้เซลล์แตก แล้วบีบอัดเอาน้ำมันออกมา กากที่เหลือสามารถนำไปสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายได้อีก จากนั้นเมื่อระเหยเอาตัวทำละลายออกไปแล้ว จะเป็นขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมด่าง ให้ความร้อน อบไอน้ำ สกัดสีออกด้วยถ่าน ฯลฯ น้ำมันที่จะนำไปใช้เป็นน้ำมันสลัดอาจมีการขจัดสารบางอย่างออกเพื่อไม่ให้ตกผลึกเมื่อแช่เย็น

2.3.1 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง

เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าเครื่องยนต์เบนซินจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่าเครื่องเบนซิน มักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่นเครื่องยนต์สำหรับเกษตรกรรม และการประมง น้ำมันพืชแต่ละชนิดให้ค่าความร้อนต่อน้ำหนักประมาณร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล และมีความหนืดสูงกว่า 10 เท่า ทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เป็นปัญหาต่อการป้อนน้ำมัน การสันดาปจึงไม่สมบูรณ์ เกิดคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีดผนังลูกสูบ แหวนและวาล์วภายหลังการเผาไหม้ และเมื่ออุณหภูมิต่ำก็อาจเกิดเป็นไขขึ้นได้ นับว่าเป็นปัญหาต่อระบบการใช้เชื้อเพลิง และการใช้งานในฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การที่น้ำมันพืชระเหยได้ช้า ทำให้จุดระเบิดได้ช้า และยังระเหยตัวกลายเป็นไอน้อยเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง

สมบัติเฉพาะทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช

1. ค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification number) หมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม เป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้น ไขมันหรือน้ำมันที่มีโมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือขนาดของโมเลกุลเล็ก หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะมีค่าแซพอนิฟิเคชันสูง ในทางตรงกันข้ามไขมันหรือน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้ค่าแซพอนิฟิเคชันต่ำ

2. ค่ากรด (Acid value) เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน 1 กรัม สะเทินพอดี กรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันก็เนื่องมาจากการสลายตัวของกลีเซอไรด์ทางเคมีหรือโดยการกระทำของแบคทีเรีย ซึ่งกรดไขมันจะมีความว่องไวกว่าโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

3. ค่าไอโอดีน (Iodine value) หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึมโดยน้ำมัน 100 กรัม เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดพอลิเมอร์มากหรือน้อย ถ้าค่าตัวเลขไอโอดีนสูงการเกิดพอลิเมอร์ก็สูง

ด้วย ถ้าค่าตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันพืชต่ำถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ได้

2.4 น้ำมันตุง [7]

ต้นน้ำมันตุง หรือ tung oil tree มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “*VERNICIA MONTANA, ALEURITES MONTANA*” เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง ที่เนื้อในเมล็ดมีปริมาณน้ำมันสูงใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ได้ เป็นพืชโตเร็วสามารถให้ผลผลิตภายใน 3 - 4 ปี มีอายุยืน 100 ปีขึ้นไป ต้นน้ำมันตุงมีถิ่นกำเนิดที่ประเทศจีน จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า china wood oil tree มีประวัติการปลูกกว่า 1,000 ปี ตั้งแต่ ราชสมัยราชวงศ์ถัง (tang dynasty) “TUNG” เป็นคำที่มาจากภาษาจีน หมายถึง “หัวใจ” (heart) ซึ่งมาจากลักษณะที่คล้ายรูปหัวใจของใบต้นน้ำมันตุง

2.4.1 จุดเด่นของต้นน้ำมันตุง

เมล็ด ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 60 - 70% เจริญเติบโตเร็ว ความสูง 10 - 20 เมตรขึ้นไป เนื้อไม้เบา เหนียว ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ได้หลายชนิด รูปทรงต้นสวย ดอกสวยงาม มีกลิ่นหอมอ่อน สามารถปลูกเป็นไม้ประดับ เนื้อในเมล็ดนอกจากจะให้ผลิต oil resin น้ำมันชักแห้ง drying oil หมึกพิมพ์ น้ำมันเคลือบเงาเนื้อไม้ และอื่นๆแล้วยังใช้ผลิตไบโอดีเซลได้ รักษาเนื้อไม้ให้คงทนมีอายุในการใช้งานนาน เป็นร้อยปีขึ้นไป ผสมสีน้ำมันเคลือบภาชนะที่เป็นไม้ สำหรับใส่อาหารได้ทนนาน ทาเคลือบกระดาษสา ทาห้องเรือ ป้องกันเรือผุ ป้องกันการซึมของน้ำ

2.4.2 ลักษณะทั่วไป

ต้นน้ำมันตุงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางประเภทใบเลี้ยงคู่มีความสูง 10 - 20 เมตร ลำต้นตรงแตกกิ่งเป็นชั้น คล้ายต้นहुกวางต้นน้ำมันตุงขึ้นตามธรรมชาติในจีนตอนใต้บริเวณป่าทางภาคเหนือของประเทศไทย รวมทั้งพม่า ลาว ซอบดินร่วนที่มีฤทธิ์เป็นกรด pH 5.5-6.0 เป็นไม้ป่าโตเร็ว ทนต่อสภาพภูมิอากาศ ซอบแสงแดด เป็นไม้ชอบน้ำ ถ้ามีน้ำสม่ำเสมอจะโตเร็วแต่ไม่ใช่ที่น้ำขัง

- **ใบ** มีขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม ลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ขอบใบหยัก 3-5 แฉก ก้านใบยาวมีสีแดงปนเขียว ขนาดของใบกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร

- **ดอก** ต้นน้ำมันตุงมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียในช่อเดียวกัน สีขาวแต่มีชมพูเข้มปนเหลือง มี 5 กลีบ และมีกลิ่นหอม ขนาดของดอก 1.5-3.5 เซนติเมตร ออกในเดือนสิงหาคม-กันยายน ผลต้นน้ำมันตุงค่อนข้างกลมเมื่อสดจะมีสีเขียว มีขนาด 4-4.5 เซนติเมตร หนึ่งผลประกอบด้วยเมล็ด 3 เมล็ด ผลจะแก่ในราวปลายเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ผลแก่จะร่วงลงดินให้เก็บได้ระหว่างปลายเดือนพฤศจิกายน ผลแก่ เมื่อทิ้งไว้ 2-3 วัน จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ ต้นน้ำมันตุงให้ผลภายใน 3-4 ปี จะให้ผลผลิตเต็มที่ตั้งแต่ 7 ปีถึง 100 ปีขึ้นไป

- **เมล็ด** มีลักษณะกลม ผิวมีเปลือกแข็ง เนื้อในสีขาวอมเหลืองเมล็ดเมื่อสุกแล้วจะมีผิวแข็ง ขรุขระ มีเส้นเป็นสันนูน รอบๆเปลือก ขนาดเมล็ดใหญ่ประมาณ 4 เซนติเมตรขึ้นไป น้ำหนัก 300 เมล็ดต่อ 1 กิโลกรัม

2.4.3 น้ำมันและประโยชน์จากต้นน้ำมันตุง

ใบและเปลือกของเมล็ดใช้ทำเป็นปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยหมัก และช่วยย่อยจุลินทรีย์ได้ดี มีคุณสมบัติพิเศษเพาะเห็ดได้ เป็นเชื้อเพลิงได้ดี กากเมล็ด หลังจากหีบน้ำมันแล้ว ก็นำกากไปใช้ทำเชื้อเพลิงให้กับอุตสาหกรรมโรงงานต่าง ๆ ได้ ทำถ่านหุงต้ม ปิ้งย่างได้อย่างไร้มลพิษ ระยะเวลาเผาไหม้นานกว่า แกลบ ฟางอัด และอื่น ๆ อีกเยอะ ยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้อีกมากมาย ผลผลิตที่ได้จากต้นน้ำมันตุงจะให้ผลผลิตประมาณปีละ 300 กิโลกรัม ต่อ 1 ต้น เท่ากับ 24,000 กิโลกรัมต่อ 1 ไร่ ช่วงระยะเวลา 7 ปีเป็นต้นไป ต้นน้ำมันให้ผลผลิตสูงกว่าสบู่ดำ 3 - 4 เท่า ใกล้เคียงกับปาล์มน้ำมัน แต่ต้นน้ำมันตุงต้องการน้ำน้อยกว่าปาล์มน้ำมันหลายเท่า

2.5 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง

2.5.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรง

ประโยชน์ของการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง คือ

1. เป็นของเหลวโดยธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุง
2. น้ำมันพืชมีค่าความร้อน (heat value) สูงและเป็นพืชผลทางการเกษตร
3. มีปริมาณกำมะถันและสารแอมโรมาติกต่ำ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

แต่การใช้้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนำมาซึ่งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชนิดและคุณภาพของน้ำมัน

4. ความหนืดที่สูงของน้ำมันพืช (high viscosity) ทำให้ระบบหัวฉีดของเครื่องยนต์ทำงานอย่างหนักและได้หยดของน้ำมันขนาดใหญ่ ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดในการจุดระเบิดแต่ละครั้ง ซึ่งจะเกิดการสะสมจนเป็นคราบเขม่าจนทำให้ลูกสูบเกิดความเสียหายได้

5. จุดวาบไฟที่สูงของน้ำมันพืช ทำให้ความสามารถในการระเหยต่ำ (low volatility) ทำให้การจุดระเบิดต้องใช้อุณหภูมิสูงในตอนเริ่มเดินเครื่อง

6. ความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช (polyunsaturated character) ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันพืช เกิดเป็นยางเหนียวทำให้กระบอกสูบและลูกสูบเสียหาย

ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีผ่านกระบวนการต่างๆได้

2.5.2 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ปัญหาที่เกิดจากการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล คือความหนืดสูง (high viscosity) ค่าการระเหยได้ต่ำ (low volatility) และมีลักษณะเฉพาะของสารที่มีพันธะไม่อิ่มตัวหลายพันธะ (polyunsaturated character) ซึ่งสามารถแก้ปัญหที่เกิดขึ้นได้โดยการปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล (Blending)

การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลหรือผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอลโดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม การผสมน้ำมันดอกทานตะวันกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร และนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมันผสมที่ได้มีความหนืด 4.88 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และไม่เหมาะกับการใช้งานระยะยาวในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเกิดโค้กที่หัวฉีด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดอกคำฝอยกับน้ำมันดีเซล พบว่าไม่เหมาะกับการใช้งานระยะยาวเช่นกัน เนื่องจากทำให้เกิดการเหนียวติดของน้ำมันหล่อลื่น และการผสมของน้ำมันถั่วเหลืองกับตัวทำละลาย (ร้อยละ 48 พาราฟินผสมร้อยละ 52 แนฟทาลีน) ในอัตราส่วน 1:1 พบว่ามีความหนืด 5.12 เซนติสโตกที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์มีคาร์บอนเกาะติดที่วาล์วและหัวฉีด การใช้ น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลโดยตรงนั้น จะมีปัญหาอันเนื่องมาจากความหนืดและสิ่งเจือปนซึ่งทำให้เกิดผลทั้งระยะสั้นและระยะยาว

2.5.2.2 การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน เป็นการกระจายของอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ด้วยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะกระจายตัวอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว วิธีนี้สามารถปรับปรุงลักษณะที่เป็นลอะของฝอยจากหัวฉีด เนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชและพบว่าไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชที่ผสมเมทานอลจะได้เชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล การทำไมโครอิมัลชันของ 2-เอทานอล เมทานอล ไตรโอลีนและน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 52.7: 13.3: 33.3: 1 แต่เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า มีปัญหาการเกิดคราบคาร์บอนที่หัวฉีดและวาล์วจำนวนมาก

2.5.2.3 การสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน (Pyrolysis)

ปฏิกิริยาการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน คือการเปลี่ยนแปลงสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง โดยใช้ความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไม่มีแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ การเปลี่ยนแปลงแบบนี้เป็นไปด้วยความสลับซับซ้อนและมีการเกิดได้หลายๆชนิดพร้อมกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมัน

เชื้อเพลิงกลุ่มดีเซลเป็นส่วนใหญ่ มีแก๊สโซลีนและเคโรซีนบ้างเล็กน้อย ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านการสลายตัวด้วยความร้อนสำหรับการใช้ก๊าซไนโตรเจนและอากาศเป็นก๊าซตัวกลาง แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือแอลเคน (Alkanes) และแอลคีน (Alkenes) ประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักสารทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้กรดคาร์บอกซิลิก ประมาณร้อยละ 9.6-16.1 สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่งด้วยความร้อนดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนสำหรับการใช้ก๊าซไนโตรเจนและอากาศเป็นก๊าซตัวกลาง

Compound	High oleic acid sunflower oil		Soybean oil	
	N ₂ sparge	Air	N ₂ sparge	Air
Alkanes	37.5	40.9	31.1	29.9
Alkenes	22.2	22.0	28.3	24.9
Alkalkienes	8.1	13.0	9.4	10.9
Carboxylic acids	11.5	16.1	12.2	9.6
Unresolved unsaturates	9.7	10.1	5.5	5.1
Aromatics	2.3	2.2	2.3	1.9
Unidentified	8.7	12.7	10.9	12.6

ตารางที่ 2.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง ด้วยความร้อน

Properties	Cracked vegetable oil			Diesel Fuel	ASTM
	Soybean	Palm	Castor		
Cetane number	50.1	52.7	30.9	45	D613
Density at 20°C, (g/ml)	0.844	0.818	0.882	0.82-0.88	D1298
Viscosity, 40°C, cSt	3.5	2.7	3.7	2.5-5.5	D445
Acid index	116.2	133.0	207.5	-	D465.9
Sulfur, (wt%)	0.008	0.010	0.013	0.2	D1552

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคุณค่าของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติของส่วนต่างๆในน้ำมันดิบเริ่มต้นเพื่อหาปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สที่มีอยู่โดยวิธี Gas chromatography และนำน้ำมันมากลั่นแยกเป็นส่วนตามคาบจุดเดือด (Boiling range) อย่างละเอียด โดยแบ่งเป็นส่วนแคบๆ ชนิดและคาบจุดเดือดเพียง 5-10 องศาเซลเซียส แต่มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากและใช้เวลานานจึงไม่นิยมทำกัน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบและจุดเดือดกว้างๆให้พอดีกับที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป สามารถแบ่งได้เป็น

1. พวกที่มีคาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial boiling point) จนถึง 200 องศาเซลเซียสเรียกว่า ส่วนของแก๊สโซลีน (Gasoline fraction) มักใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน

2. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของน้ำมันก๊าด (Kerosene fraction) มักใช้ในน้ำมันก๊าดที่ให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันไม่ต่ำจนเกินไปน้ำมันก๊าดที่ได้มี

คุณภาพดี และมีจุดเยือกแข็งต่ำจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยานไอพ่นได้ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับสมบัติอื่นๆด้วย

3. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 250-350 องศาเซลเซียส เราเรียกกันว่าส่วนของแก๊สออยล์ชนิดเบา (Light gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์

4. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 350-370 องศาเซลเซียส เราเรียกว่าส่วนของแก๊สออยล์ (Gas oil fraction) เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล

5. พวกที่มีคาบจุดเดือดสูงกว่า 370 องศาเซลเซียส เรียกว่า กากน้ำมัน (Residue) อาจนำไปใช้ได้หลายอย่างแล้วแต่สมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตาหรือนำไปผลิตเป็นยางมะตอย หรือนำมาผลิตเป็นน้ำมันเครื่อง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xu Junming, Jiang Jianchun, Lu Yanju, Chen Jie [8] ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิระหว่าง 350 – 400 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS และ FTIR ได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟิน พาราฟิน กรดคาร์บอกซิลิกและแอลดีไฮด์ และเมื่อมีการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้งหมด (Al_2O_3 , MCM-41, Na_2CO_3 และ K_2CO_3) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรดที่ต่ำ สมบัติการไหล หน อุณหภูมิต่ำและความสามารถในการละลายในน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น แต่กรดคาร์บอกซิลิกและแอลดีไฮด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Na_2CO_3 และ K_2CO_3 จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองสามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับน้ำมันปิโตรเลียม

Ersan Pütün [9] ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สตัวพาและตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ในกระบวนการไพโรไลซิสของเมล็ดฝ้าย พบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในท่อภายใต้อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (N_2) และอุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ

ผลได้ของน้ำมันสูงสุดคือร้อยละ 48.30 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สตัวพา 200 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ภาวะที่เหมาะสมนี้การไพโรไลซิสเมล็ดฝ้ายเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ที่ปริมาณต่างๆกัน (ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น) พบว่าปริมาณของน้ำมันลดน้อยลง ในขณะที่แก๊สและชาร์เพิ่มสูงขึ้น แต่คุณภาพในด้านค่าพลังงานความร้อน การกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นและการนำเอาหมู่ออกซิเจนออกไปลดลงจากร้อยละ 9.56 เหลือเพียง 4.90 ทั้งนี้ น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี FTIR และ H-NMR พบว่ามีส่วนที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลิฟาติก แอโรแมติกและสารที่มีขั้ว ส่วนแอลิฟาติกถูกวิเคราะห์ด้วย GC-MS ด้วย จากงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักต่ำในช่วงดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียม

Ilknur Demiral Sevgi Sensoz [10] ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆในกระบวนการไพโรไลซิสของของเสียในอุตสาหกรรม (มะกอกและกากเฮเซลนัท) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินากัมมันต์และโซเดียมเฟอสฟาร์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาผสมกับสารป้อนในอัตราส่วนต่างๆกัน (ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก) เพื่อเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาในภาวะการทดลองเดียวกัน พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันสูงสุดที่ได้จากกากมะกอกคือ 37.07 และ 36.67 และจากกากเฮเซลนัทคือ ร้อยละ 27.64 และ 31.68 ตามลำดับ และปริมาณออกซิเจนในน้ำมันลดลงเมื่อร้อยละผลได้ของน้ำมันลดลงเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินากัมมันต์และโซเดียมเฟอสฟาร์ ทั้งนี้เมื่อทดสอบน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีและโครมาโทกราฟีแล้วพบว่ากากมะกอกและกากเฮเซลนัทมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงทดแทนแทนการใช้้ำมันปิโตรเลียม

Tumunaidu P. [11] ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม โดยมีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษาคือ REY บัจฉยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ (400-500 องศาเซลเซียส) อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (10-30 นาที) จากการคำนวณทางสถิติที่ร้อยละความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 โดยพิจารณาค่าตอบสนอง 4 ค่า คือร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ อัตราส่วนของแก๊สโซลีนและร้อยละผลได้ของแก๊ส โดยกำหนดให้ค่าแก๊สที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก อีก 3 ค่าตอบสนองที่เหลือกำหนดให้เกิดขึ้นปริมาณมากที่สุด ได้แก่

ร้อยละ 55-95 50-80 และ 30-50 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 20 นาที และอัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มเท่ากับ 5 กรัมต่อกรัม จะทำให้ได้ร้อยละการเปลี่ยนเท่ากับ 75.8 ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวเท่ากับ 53.5 อัตราส่วนของแก๊สโซลีนเท่ากับ 33.5 และร้อยละผลได้ของแก๊สเท่ากับ 14.2

รวีวรรณ สวัสดิ์รักษา [12] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันสบู่ดำไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ร่วมในกระบวนการ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Autoclave เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยเฉพาะแนฟทาเมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography) พบว่าจากการคำนวณด้วยโปรแกรม design-expert 6.0.10 ภาวะที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณแนฟทาสูงสุดคือ อุณหภูมิ 426 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 56 นาที และร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 6.35 ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมันเท่ากับ 58.62 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของแนฟทาเท่ากับ 40.60 โดยน้ำหนัก เมื่อนำภาวะที่เหมาะสมมาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณพบว่าผลที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากคือมีร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันเท่ากับ 60.50 และ 57.40 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเท่ากับ 38.35 และ 39.50 และเมื่อทำการทดลองโดยไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันเพิ่มขึ้น เป็น 65.00 และ 67.00 และร้อยละผลได้ของแนฟทาลดลงเหลือ 20.10 และ 20.20 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยาและร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

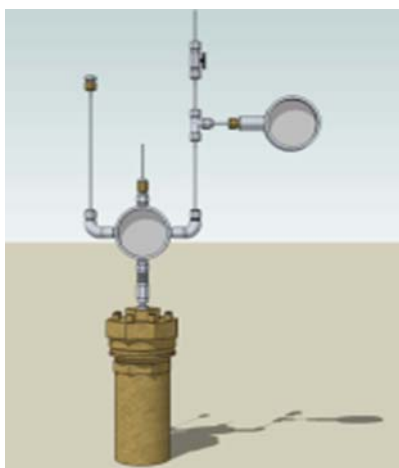
บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส และหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Autoclave รูปทรงกระบอก ปริมาตร 250 มิลลิลิตรทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 โดยด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลส มีชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊สและวาล์วนิรภัยสามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล มีเทอร์โมคัปเปิลทางด้านบนสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.1



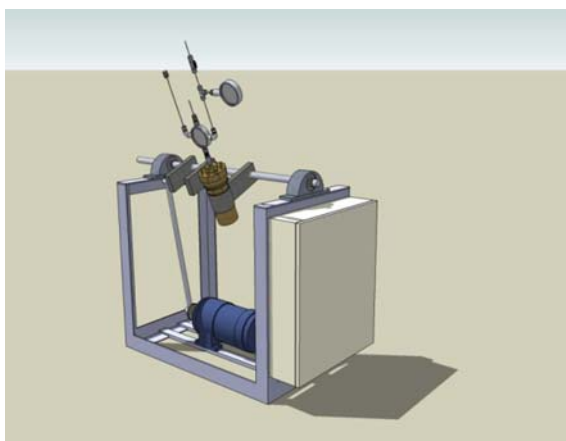
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Autoclave ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

3.1.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature controller) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนและการตัดการจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3.1.3 ขดลวดความร้อนแบบ Injection แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 400 วัตต์

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

3.1.5 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนแกนหมุนให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการแกว่ง สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้จากชุดควบคุมความเร็ว ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลและเครื่องปฏิกรณ์แบบ Autoclave

3.1.6 ชุดกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศสำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็ง โดยผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งได้ละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.1.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งได้ละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.9 นาฬิกาจับเวลา

3.1.10 ตู้อบ (Oven)

3.1.11 เครื่องแก้ว ประกอบด้วยบีกเกอร์ ขวดใส่ตัวอย่าง

3.1.12 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด แสดงดังรูป

ที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatography)

3.1.13 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบกับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น GC2010 โดยมีเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น GCMSQP2010 เป็นดีเทคเตอร์ จากบริษัท Shimudzu จำกัด โดยใช้ Capillary column จากบริษัท J&W Scientific จำกัด รุ่น DB-1 ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ซึ่งมี 100% Dimethylpolysiloxane หนา 0.25 ไมโครเมตรเป็นวัสดุภาคนิ่ง ซึ่งสามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ -60 ถึง 350 องศาเซลเซียส สำหรับภาวะที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.2.1 น้ำมันตุง จาก Thorzen Group

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

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

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันตุง วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการทดลอง โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass spectrometer, GC-MS) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) และวัดปริมาณกรดไขมัน

3.3.2 การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลสองระดับประสมกลาง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส โดยการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตัวแปร	ระดับ	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	390	440
B เวลา (นาที)	30	60
C ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
D ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5	10

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองจากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันตุงบน
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสทั้ง 2 ชนิด

ตัวแปร			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), A	ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น(บาร์), C	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (นาที), B	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก),D
390	1	30	2.5
440	1	30	2.5
390	5	30	2.5
440	5	30	2.5
390	1	60	2.5
440	1	60	2.5
390	5	60	2.5
440	5	60	2.5
390	1	30	10
440	1	30	10
390	5	30	10
440	5	30	10
390	1	60	10
440	1	60	10
390	5	60	10
440	5	60	10
415	3	45	6.25
415	3	45	6.25
415	3	45	6.25

3.3.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

- วิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันตุง
- วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ชั่งน้ำหนักน้ำมันตุง 20 กรัมพร้อมกับเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.4.2 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ที่ชั่งได้ตามปริมาณที่ต้องการลงในเครื่องปฏิกรณ์ Autoclave แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย

3.4.3 นำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่อากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปอย่างช้าๆ แล้วอัดแก๊สไฮโดรเจนจนได้ความดันที่กำหนด โดยสังเกตความดันจาก Regulator ที่ต่อระหว่างถังบรรจุแก๊สไฮโดรเจนกับเครื่องปฏิกรณ์ ทำการตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สตามข้อต่อของเครื่องปฏิกรณ์ หากปรากฏว่าไม่มีรอยรั่วของแก๊สไฮโดรเจน ค่อยๆ หมุนวาล์วปิดเพื่อไม่ให้แก๊สออก

3.4.4 นำเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ และต่ออุปกรณ์ขดลวดความร้อนแบบ Injection เข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ แล้วหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนระหว่างการทดลอง จากนั้นต่อเทอร์โมคัพเปิลเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์

3.4.5 ปรับกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้กับขดลวดให้ความร้อน และเปิดสวิตซ์เครื่องเขย่า

3.4.6 เริ่มทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ตามที่กำหนด เมื่อครบเวลาที่ทำปฏิกิริยาแล้ว นำฉนวนและขดลวดความร้อนออก ใช้พัดลมเป่าเครื่องปฏิกรณ์จนภายในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง ทำการปล่อยแก๊สภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก

3.4.7 แยกผลิตภัณฑ์น้ำมันออกจากกากของแข็ง โดยการกรองผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ ใช้กระดาษกรองใยแก้วเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวเก็บไว้ในขวดแก้ว เพื่อรอการวิเคราะห์ ล้างเครื่องปฏิกรณ์ด้วยสารละลายโทลูอีน เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษที่ซึมน้ำหนักเตรียมไว้ จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งและกระดาษซับไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งเพื่อคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนต่อไป

3.4.8 นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography เพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ และวิเคราะห์องค์ประกอบสารเคมีที่เกิดขึ้น

3.4.9 คำนวณร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว

ร้อยละผลได้น้ำมัน (% oil yield)

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

ร้อยละผลได้แก๊สโซลีนทั้งหมด (% overall gasoline yield)

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

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส ซึ่งศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อให้ได้ร้อยละของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Magnesium oxide (Element)	Compound	Concentration (%weight)
Mg	MgO	97.31
Si	SiO ₂	0.13
P	P ₂ O ₅	0.38
S	SO ₃	1.58
K	K ₂ O	0.23
Ca	CaO	0.68
Sr	SrO	0.03

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณแมกนีเซียมร้อยละ 97.31 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Calcium oxide (Element)	Compound	Concentration (%weight)
Ca	CaO	95.85
Si	SiO ₂	0.05
P	P ₂ O ₅	0.08
S	SO ₃	0.28
K	K ₂ O	0.01
Mg	MgO	3.68
Sr	SrO	0.05

จากตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีปริมาณแมกนีเซียมร้อยละ 95.85 โดยน้ำหนัก

4.1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)
แมกนีเซียมออกไซด์	89.00	0.076
แคลเซียมออกไซด์	8.10	0.078

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวรูพรุนสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มาก ซึ่งอาจส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ว่าง (active site) มากกว่าและปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์เท่ากับ 0.076 และ 0.078 ตามลำดับ

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันตุง

4.2.1 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา

จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
IBP-200	Naphtha (C_5-C_{12})	11.34
200-250	Kerosene ($C_{12}-C_{15}$)	6.89
250-350	Light gas oil ($C_{15}-C_{25}$)	34.19
350-370	Gas oil ($C_{25}-C_{33}$)	39.03
370-FBP	Long Residue ($>C_{33}$)	8.55

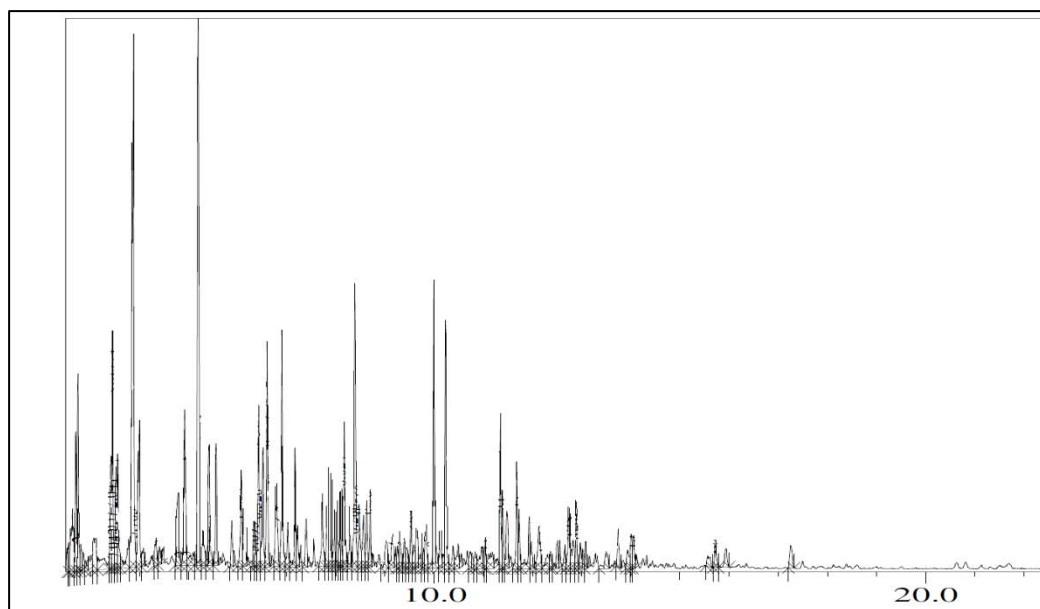
จากตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีปริมาณขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวในช่วงเคโรซีนน้อยที่สุด แต่ได้ปริมาณแก๊สออยล์มากที่สุดคือร้อยละ 39.03 โดยน้ำหนัก

4.2.2 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเทคนิค GC-MS

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

จากรูปแสดงพีคองค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้ 3.875 5.197 8.384 9.996 11.348 และ 17.259 สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันตุงได้แสดงดังตารางที่

4.4

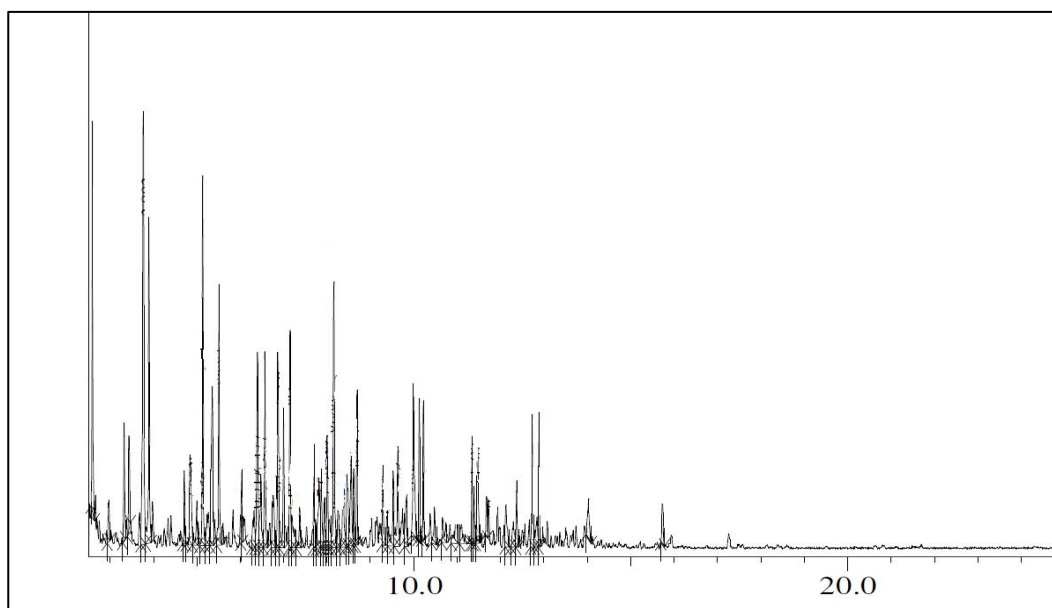


รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของน้ำมันตุงด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโตรมิเตอร์

พีค	องค์ประกอบ	สูตรเคมี
3.875	1,3-dimethylbenzene	C_8H_{10}
5.197	1-ethyl-4-methylbenzene	C_9H_{12}
6.899	1-phenyl-1-butenebenzene	$C_{10}H_{12}$
8.384	Naphthalene	$C_{10}H_8$
11.348	2-ethyl-2naphthalene	$C_{12}H_{12}$
17.259	Phenanthrene	$C_{14}H_{10}$

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ามีองค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติก



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของน้ำมันตุงด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโตรมิเตอร์

พีค	องค์ประกอบ	สูตรเคมี
2.592	n-octane	C_8H_{18}
3.763	1,3-dimethylbenzene	C_8H_{10}
5.510	Decane	$C_{10}H_{22}$
8.156	1-methylbutylbenzene	$C_{11}H_{26}$
8.688	Dodecane	$C_{12}H_{26}$
10.126	Tridecane	$C_{13}H_{28}$
12.728	Pentadecane	$C_{15}H_{32}$
14.031	Tetradecane	$C_{14}H_{30}$
15.729	Nonadecane	$C_{19}H_{40}$

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของน้ำมันตุงเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลเคนเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเปลี่ยนวงเบนซีนให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรงได้

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าความหนืดของน้ำมันตุงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียสของน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดต่างๆ

ชนิดน้ำมัน	ค่าความร้อน (KJ/Kg)	ค่าความหนืด (cp)
น้ำมันตุง	39,074	91.16
มะพร้าว	37,540	51.9
ปาล์ม	39,550	88.6
สบู่ดำ	39,000	45.68

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าความหนืด (ASTM D2270) ของน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดต่างๆ พบว่าค่าความร้อนของน้ำมันตุงมีค่าสูงใกล้เคียงกับน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดอื่นๆ แต่มีค่าความหนืดสูงกว่าทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวปริมาณมาก

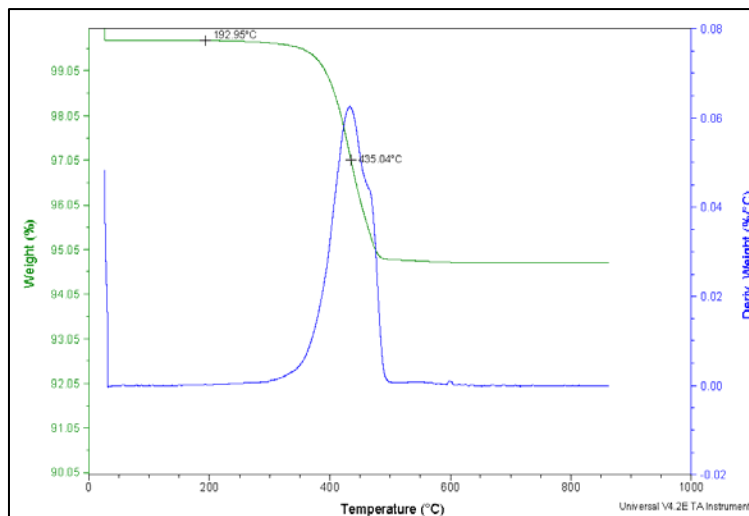
4.2.4 การวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมัน

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันตุง

องค์ประกอบของกรดไขมัน	กรัม/ 100 มิลลิลิตร
Stearic acid (C18:0)	2.76
Arachidic acid (C20:0)	0.15
Behenic acid (C22:0)	61.27
Palmitoleic acid (C16:1)	6.36
Total saturated fatty acid	70.54
Cis-9-Octadecenoic acid (C18:1)	7.42
Cis-9,12-Octadecadienoic acid (C18:2)	10.80
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)	0.73
Cis-13-Docosenoic acid (C22:1)	3.64
Cetoleic acid (C22:1)	3.33
Total unsaturated fatty acid	25.92

จากตารางที่ 4.7 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันตุงพบว่าปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันตุง 70.54 กรัม/100 มิลลิลิตร ซึ่งมีองค์ประกอบของ Behenic acid (C22:0) มากที่สุด และมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันตุงอยู่ 25.92 กรัม/100 มิลลิลิตร

4.2.5 การวิเคราะห์น้ำมันตุงด้วยเทคนิค Temperature Gravimetric Analysis (TGA)



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันตุงด้วยเทคนิค TGA

จากรูปที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการสลายตัวของน้ำมันตุงด้วยเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่น้ำมันตุงสลายตัวได้คือที่อุณหภูมิ 435.04 องศาเซลเซียส

4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิธพันธุ์ชนิดเบส

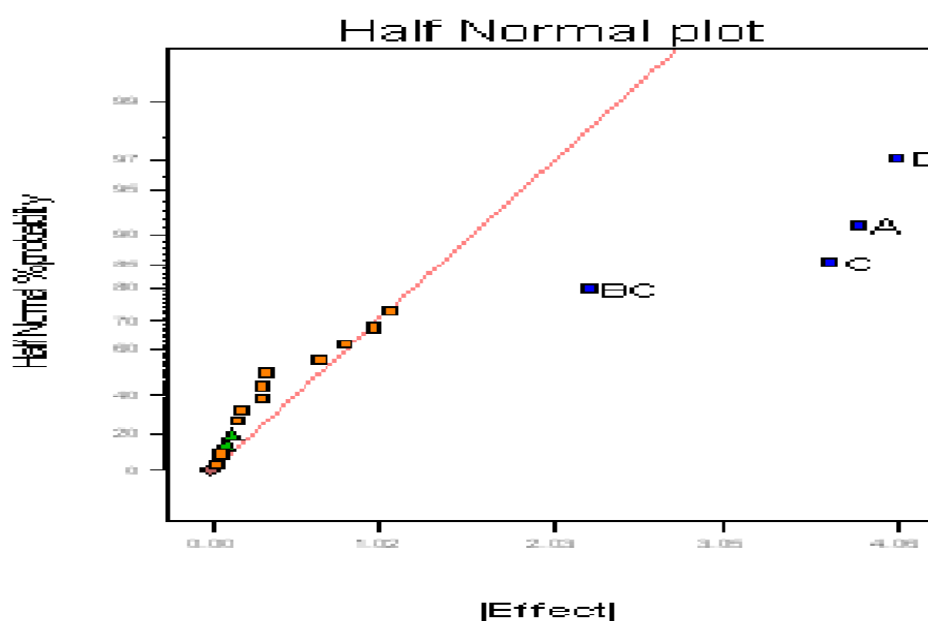
4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

4.3.1.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การออกแบบการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มากที่สุดซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 25.31-39.75 โดยน้ำหนัก ตารางที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C),A	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar),C	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min),B	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt),D	
1	390	1	30	2.5	39.28
2	440	1	30	2.5	36.16
3	390	5	30	2.5	37.18
4	440	5	30	2.5	34.39
5	390	1	60	2.5	34.97
6	440	1	60	2.5	29.21
7	390	5	60	2.5	36.17
8	440	5	60	2.5	31.88
9	390	1	30	10	36.04
10	440	1	30	10	32.48
11	390	5	30	10	33.90
12	440	5	30	10	28.22
13	390	1	60	10	30.78
14	440	1	60	10	25.31
15	390	5	60	10	30.05

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้ เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C),A	ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น (bar),C	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (min),B	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt),D	
16	440	5	60	10	29.97
17	415	45	3	6.25	39.28
18	415	45	3	6.25	39.75
19	415	45	3	6.25	38.16



รูปที่ 4.4 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าจากการคำนวณจะบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ซึ่งจะได้ว่าปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่ง

ปฏิกิริยา อันตรกิริยาระหว่างความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

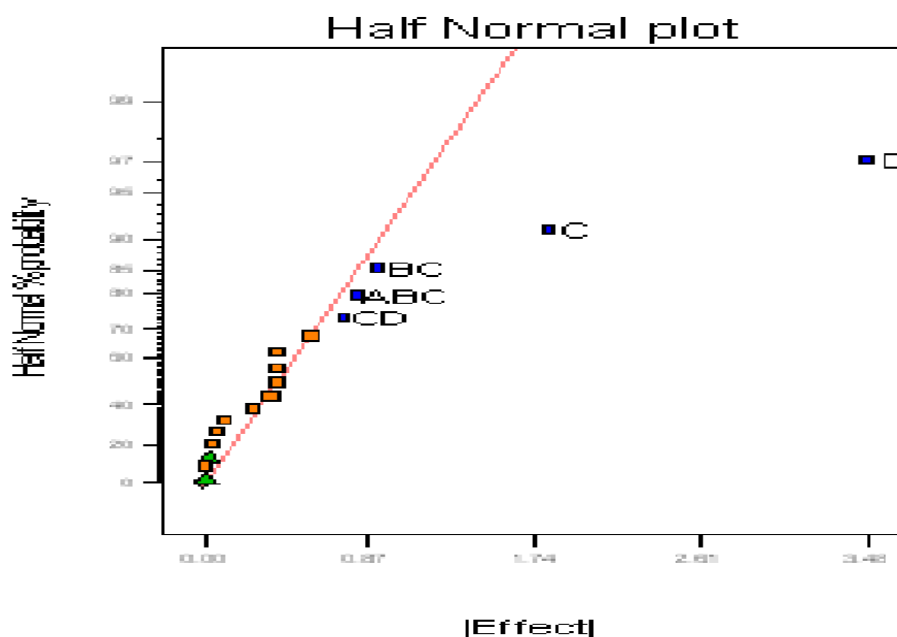
ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	199.17	4	49.79	42.02	<0.0001
A	59.10	1	59.10	49.87	<0.0001
C	53.69	1	53.69	45.31	<0.0001
D	65.98	1	65.98	55.68	<0.0001
BC	20.41	1	20.41	17.22	0.0011
Curvature	96.77	1	96.77	81.66	<0.0001
Residual	15.40	13	1.18		
Cor Total	311.34	18			

4.3.1.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้แนฟทา (%wt)
	อุณหภูมิ (°C),A	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min),B	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar),C	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt),D	
1	390	1	30	2.5	21.60
2	440	1	30	2.5	22.57
3	390	5	30	2.5	19.94
4	440	5	30	2.5	20.62
5	390	1	60	2.5	19.71
6	440	1	60	2.5	17.66
7	390	5	60	2.5	18.18
8	440	5	60	2.5	19.00
9	390	1	30	10	16.98
10	440	1	30	10	18.12
11	390	5	30	10	16.82
12	440	5	30	10	15.98
13	390	1	60	10	15.80
14	440	1	60	10	15.16
15	390	5	60	10	15.87
16	440	5	60	10	16.72
17	415	45	3	6.25	20.56
18	415	45	3	6.25	20.83
19	415	45	3	6.25	20.53



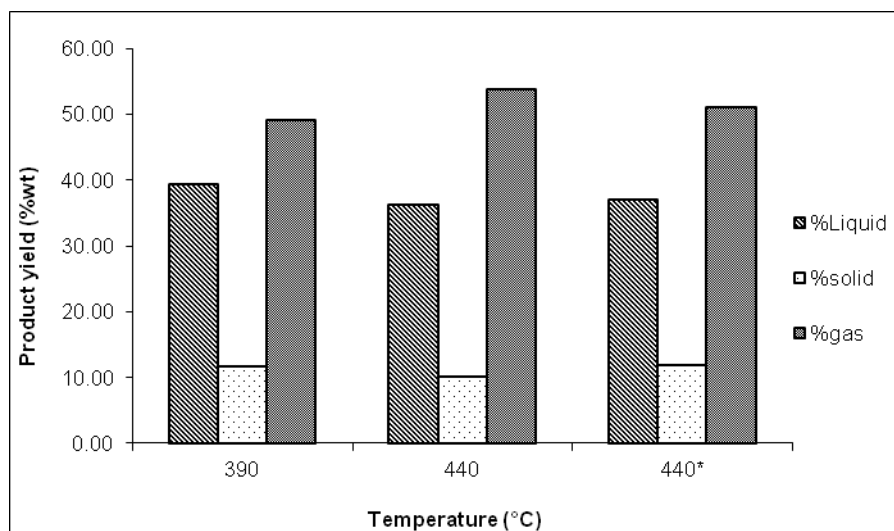
รูปที่ 4.5 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.10 สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าจากการคำนวณจะบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ซึ่งจะได้ว่าปัจจัยของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราการไหลแบบสามปัจจัยคืออัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เนฟทา

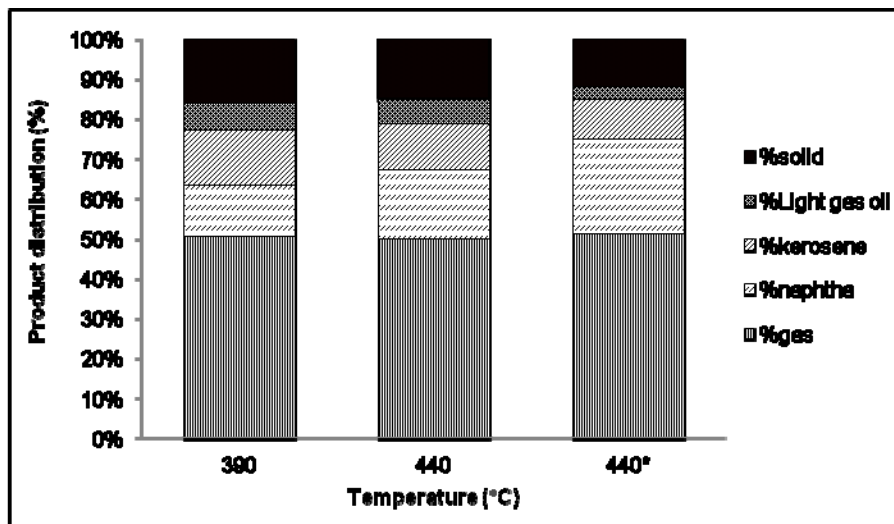
ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	69.85	5	13.97	43.07	<0.0001
C	13.20	1	13.20	40.68	<0.0001
D	48.41	1	48.14	149.23	<0.0001
BC	3.38	1	3.38	10.41	0.0073
CD	2.12	1	2.12	6.55	0.0250
ABC	2.75	1	2.75	8.47	0.0131
Curvature	15.41	1	15.41	47.49	<0.0001
Residual	3.89	12	0.32		
Cor Total	89.15	18			

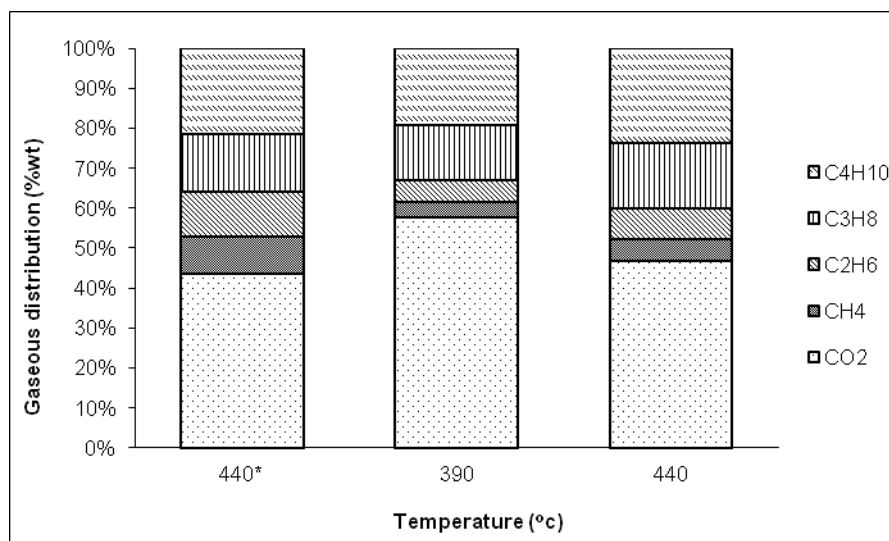
4.3.1.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



รูปที่ 4.7 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)

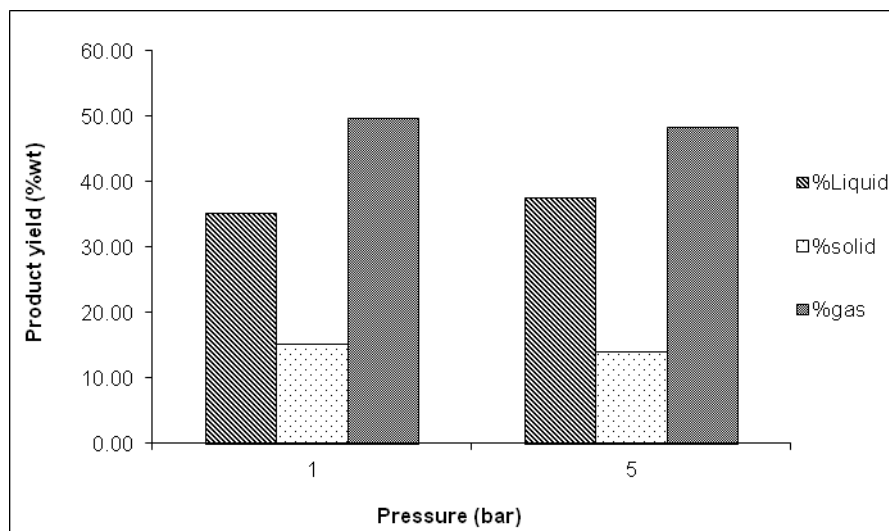


รูปที่ 4.8 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุ่งที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)

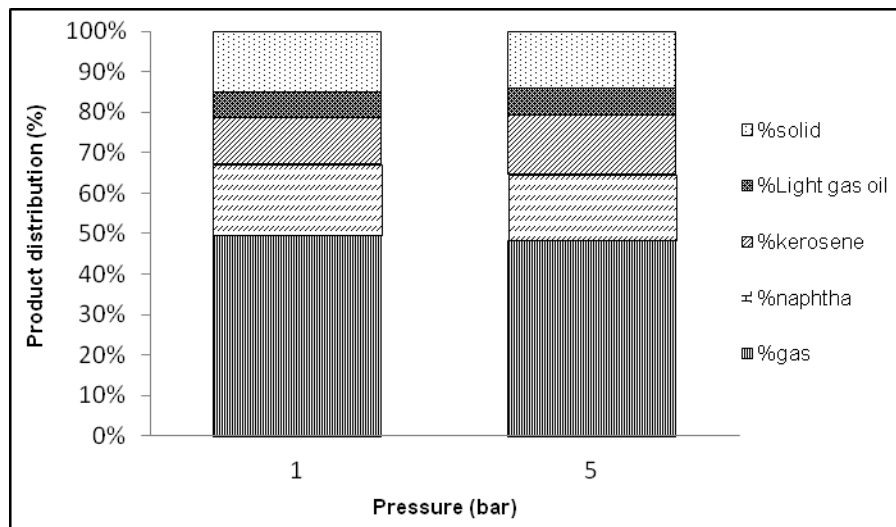
จากรูปแสดงผลการศึกษาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุ่งที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 390 องศาเซลเซียสเป็น 440 องศาเซลเซียสจะได้อัตราผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจากร้อยละ 39.28 เป็น 36.16 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียสจะได้อัตราผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 36.96 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวมากเกินไป อาจทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกตัวเป็นสายโซ่ที่มีขนาดเล็กได้มากจึงส่งผลให้ได้แก๊สไฮโดรคาร์บอนสูง ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลง และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุ่ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 390 องศาเซลเซียสเป็น 440 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้อัตราผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21.60 เป็น 22.57 โดยน้ำหนัก และเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาได้อัตราผลได้ 23.77 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิมิผลต่อการแตกตัวอย่างมาก โดยเกิดเป็นเรดิเคิลต่อเนื่องทำให้ได้โมเลกุลขนาดเล็ก ในขณะที่ยังให้

อุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่องจะทำให้โมเลกุลขนาดเล็กไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน ในขณะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีส่วนช่วยในการแตกตัว โดยจะมีบทบาทในการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดการแตกตัวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยลดความรุนแรงของการทำปฏิกิริยา

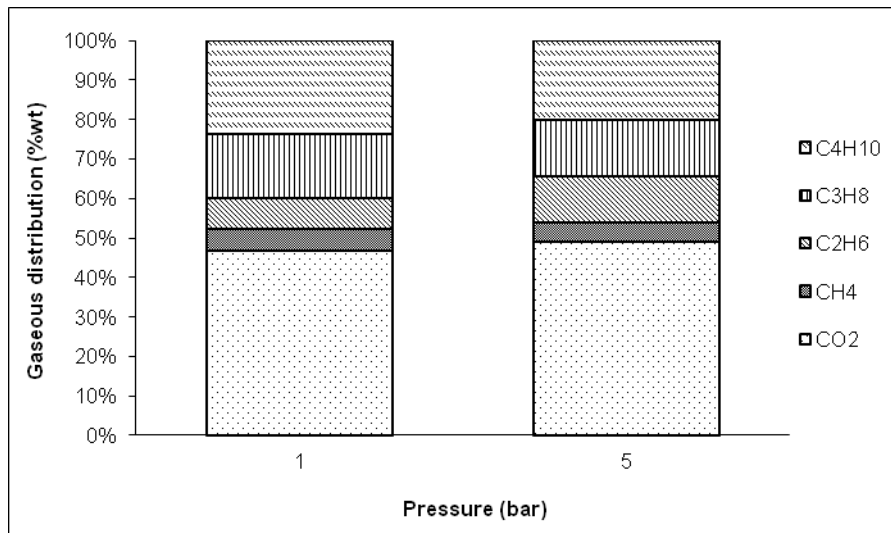
4.3.1.4 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์



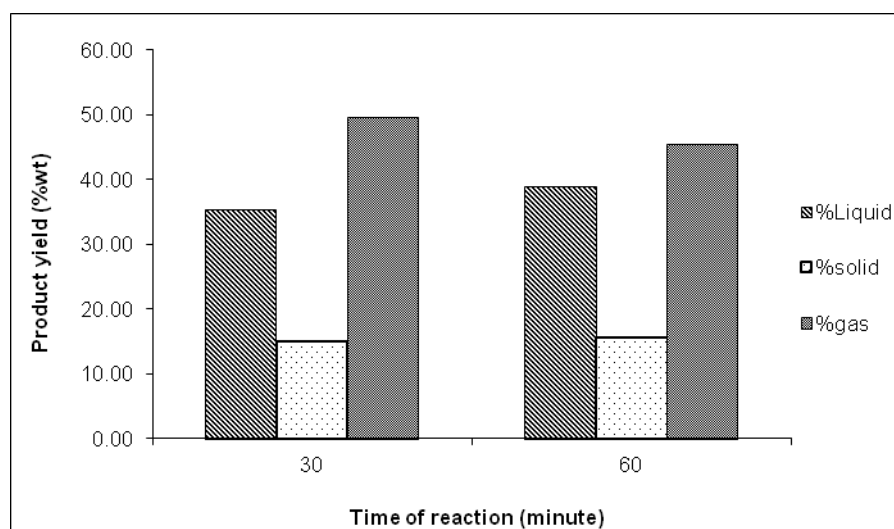
รูปที่ 4.10 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงอุณหภูมิตั้ง 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์



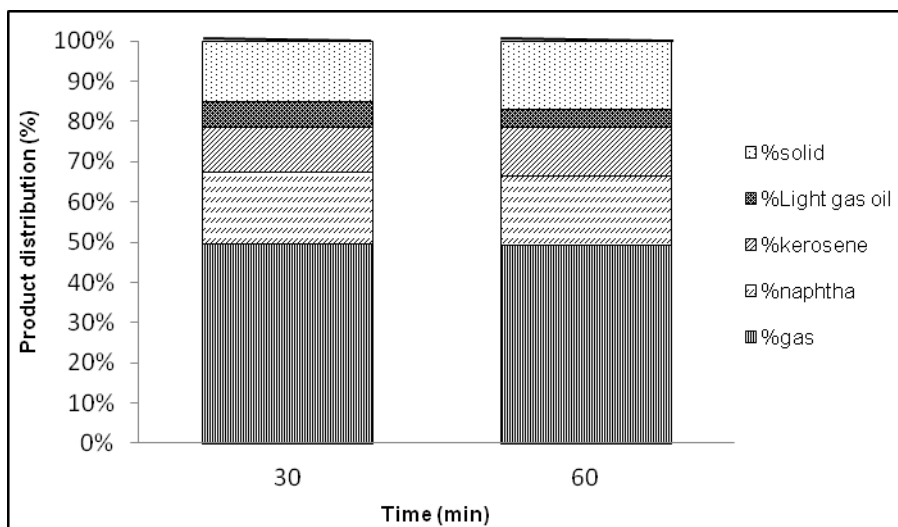
รูปที่ 4.11 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุงอุณหภูมิตั้ง 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 36.16 เป็น 34.39 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาลดจากร้อยละ 22.57 เป็น 19.76 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน ทำให้เกิดการแตกตัวได้ดี นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งเสริมการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (hydrocracking) และเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ทำให้เกิดความอิ่มตัวของอะโรมาติก ดังนั้นการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปเป็น 5 บาร์ จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของน้ำมันตุงไปเป็นผลิตภัณฑ์แนฟทามากขึ้นเมื่อเทียบกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

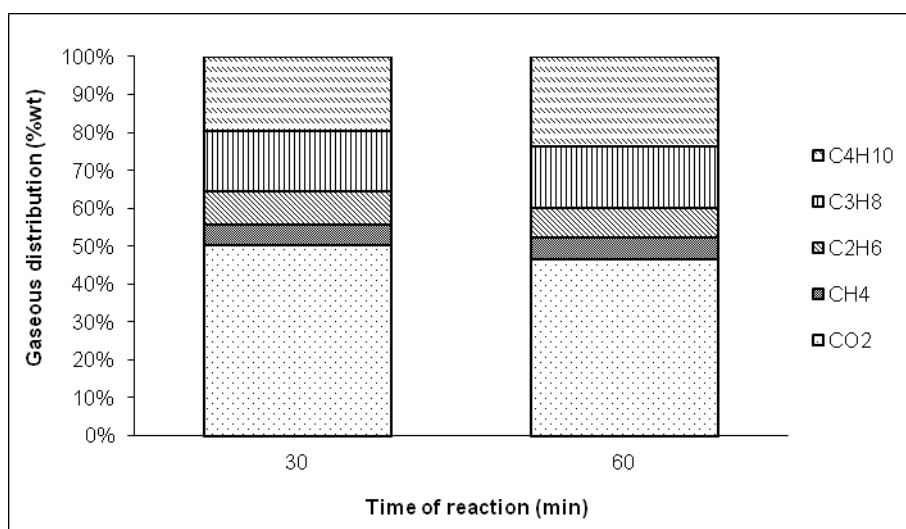
4.3.1.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



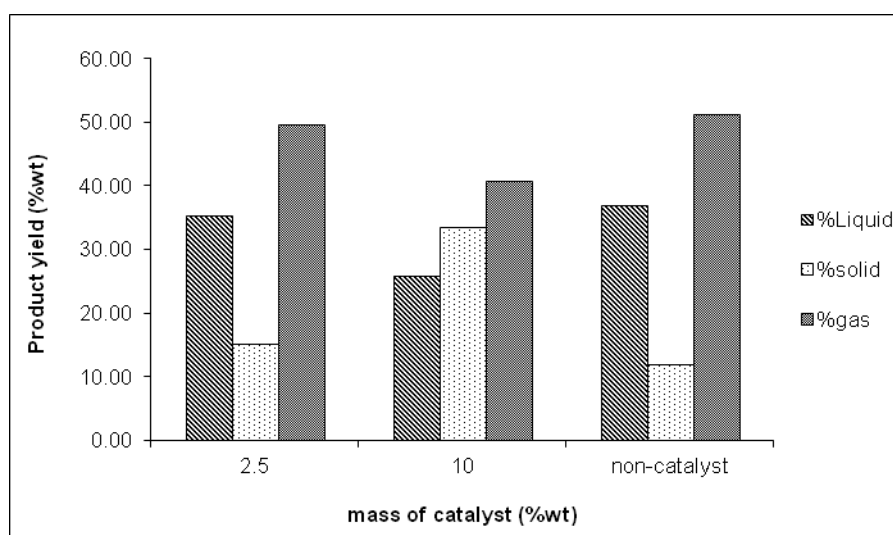
รูปที่ 4.13 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



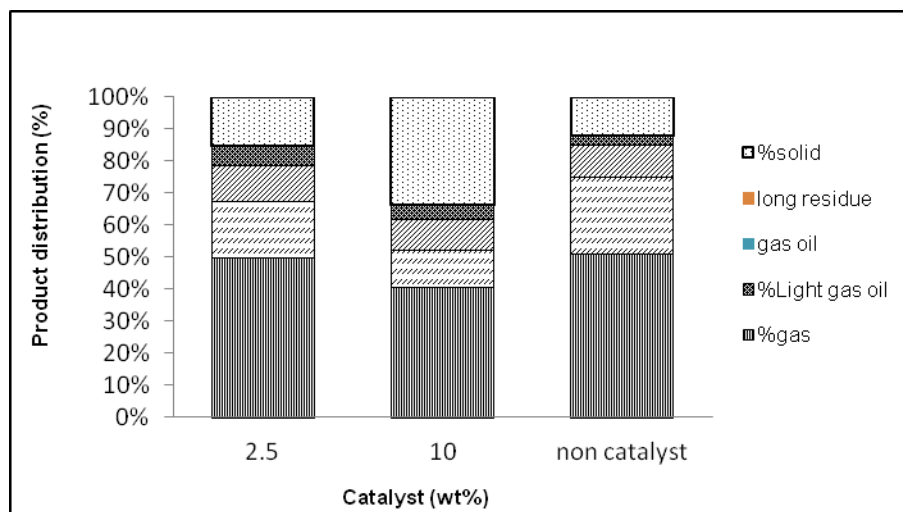
รูปที่ 4.14 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดน้อยลงจาก 36.16 เป็น 29.21 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อน้ำมันตุงทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานาน ทำให้อิทธิพลของอุณหภูมิยังคงมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนกลายเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กและแก๊สไฮโดรคาร์บอน จากนั้นบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไปมีบทบาทในการเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรเจน เกิดการแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แนฟทา ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจึงลดลง และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะส่งผลให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของแนฟทาลดลงจากร้อยละ 22.57 เป็น 17.66 โดยน้ำหนัก

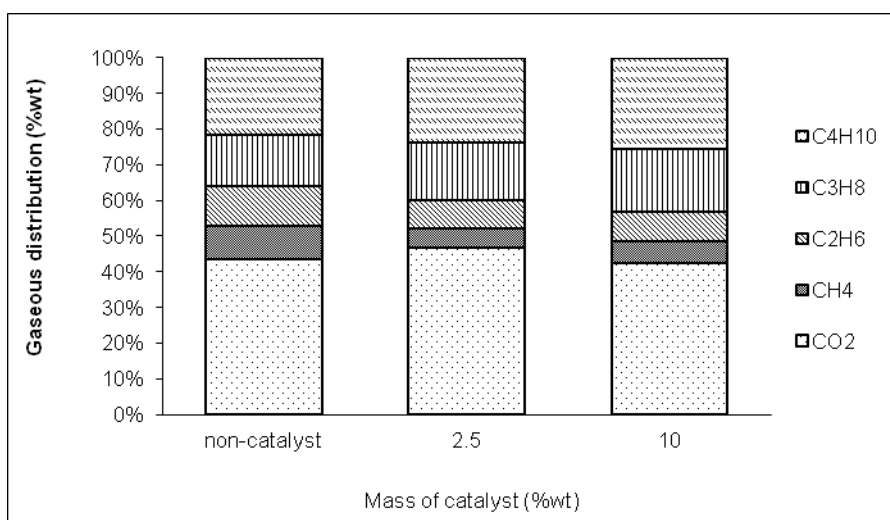
4.3.1.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



รูปที่ 4.16 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



รูปที่ 4.17 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (*)

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจาก 36.16 เป็น 32.48 โดยน้ำหนัก ปริมาณแก๊สลดลงจากร้อยละ 53.76 เป็น 45.93 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มากขึ้น จะส่งผลให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเนฟทาลลดลงจากร้อยละ 22.57 เป็น 18.12 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ตัวเร่งปฏิกิริยา มากขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้ดีขึ้น

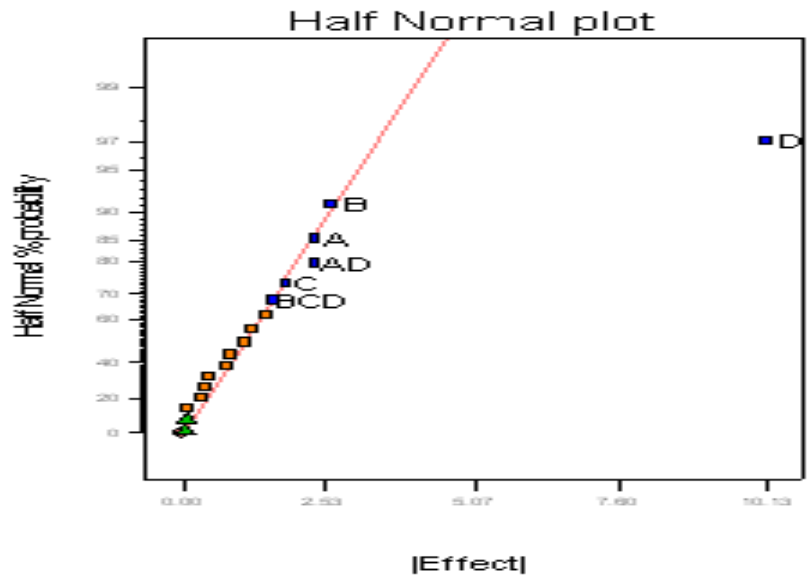
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

4.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การออกแบบการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆที่ จะส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบน ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มากที่สุดซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอยู่ในช่วงร้อยละ 19.81 – 38.97 โดย น้ำหนัก

ตารางที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว (%wt)
	อุณหภูมิ (°C),A	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar),C	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min),B	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt),D	
1	390	1	30	2.5	33.40
2	440	1	30	2.5	35.26
3	390	5	30	2.5	31.13
4	440	5	30	2.5	37.55
5	390	1	60	2.5	32.83
6	440	1	60	2.5	38.97
7	390	5	60	2.5	28.58
8	440	5	60	2.5	32.96
9	390	1	30	10	27.33
10	440	1	30	10	25.81
11	390	5	30	10	24.83
12	440	5	30	10	21.92
13	390	1	60	10	22.84
14	440	1	60	10	24.26
15	390	5	60	10	19.81
16	440	5	60	10	22.83
17	415	3	45	6.25	30.35
18	415	3	45	6.25	31.83
19	415	3	45	6.25	30.60



รูปที่ 4.18 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

เมื่อพิจารณตารางที่ 4.12 สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าจากการคำนวณจะบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ซึ่งจะได้ว่าปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราการไหลระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

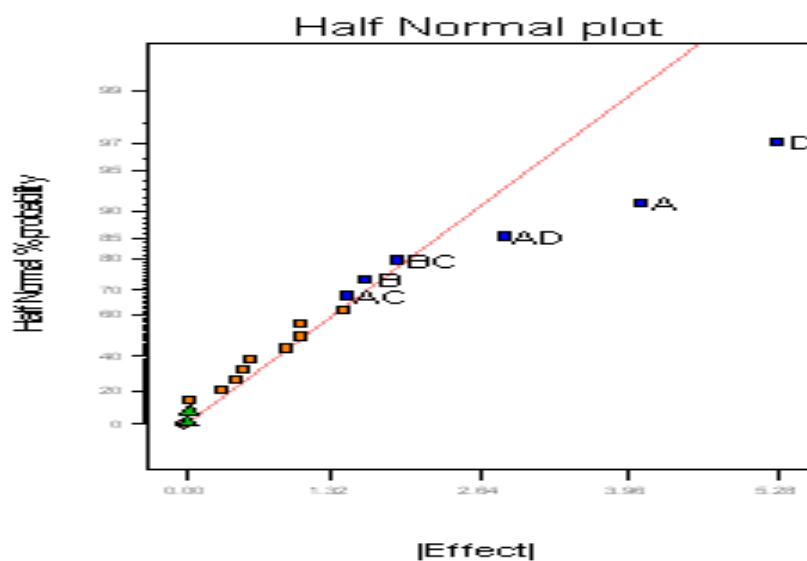
ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	504.38	6	84.06	36.18	<0.0001
A	22.11	1	22.11	9.52	0.0104
B	27.80	1	27.80	11.96	0.0053
C	12.51	1	12.51	5.39	0.0405
D	410.57	1	410.57	176.71	<0.0001
AD	22.07	1	22.07	9.50	0.0104
BCD	9.32	1	9.32	4.01	0.0705
Curvature	11.76	1	11.72	5.06	0.0459
Residual	25.56	11	2.32		
Cor Total	541.69	18			

4.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ตารางที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เนฟทาที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้
	อุณหภูมิ (°C),A	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (bar),C	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min),B	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt),D	เนฟทา (%wt)
1	390	1	30	2.5	12.66
2	440	1	30	2.5	17.58
3	390	5	30	2.5	11.58
4	440	5	30	2.5	18.31
5	390	1	60	2.5	13.59
6	440	1	60	2.5	23.82
7	390	5	60	2.5	10.87
8	440	5	60	2.5	19.23
9	390	1	30	10	10.00
10	440	1	30	10	14.60
11	390	5	30	10	10.55
12	440	5	30	10	10.12
13	390	1	60	10	10.96
14	440	1	60	10	12.77
15	390	5	60	10	7.60
16	440	5	60	10	9.34
17	415	3	45	6.25	15.55
18	415	3	45	6.25	16.36
19	415	3	45	6.25	15.78



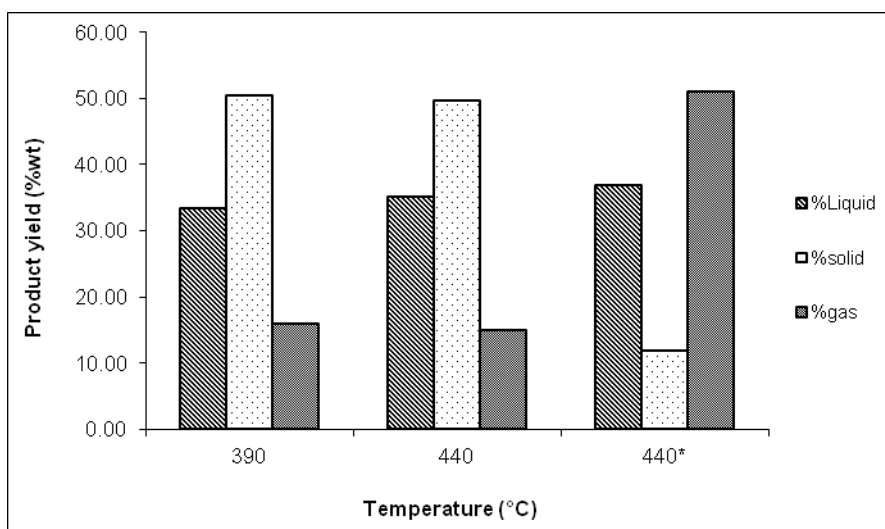
รูปที่ 4.19 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

เมื่อพิจารณาดารางที่ 4.12 สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆโดยใช้โปรแกรม Design-Expert พบว่าจากการคำนวณจะบ่งบอกถึงปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ซึ่งจะได้ว่าปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แนฟทา

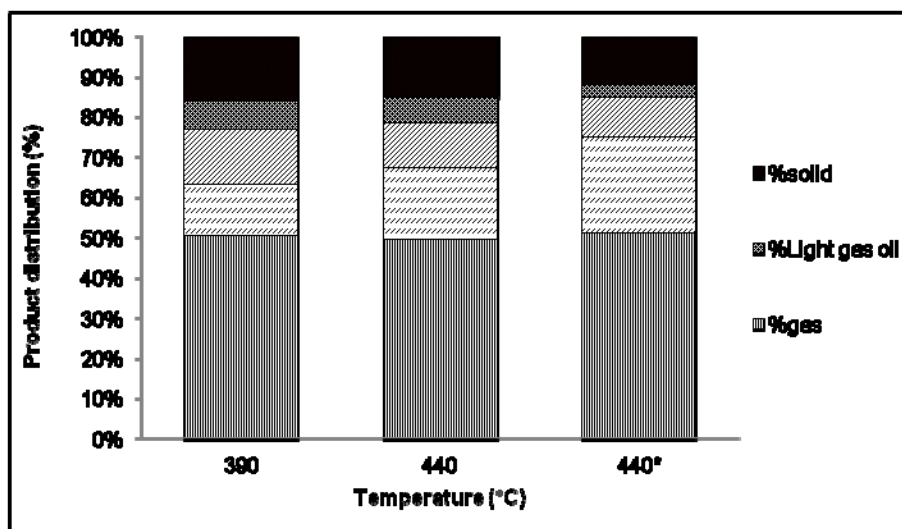
ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F value	Prob >F value
Model	244.09	6	40.68	18.86	<0.0001
A	65.93	1	65.93	30.57	0.0002
B	10.40	1	10.40	4.82	0.0504
D	111.30	1	111.30	51.61	<0.0001
AD	8.70	1	8.70	4.04	0.0697
BC	33.12	1	33.12	15.36	0.0024
AC	14.63	1	14.63	6.78	0.0245
Curvature	21.11	1	21.11	9.79	0.0096
Residual	23.72	11	2.16		
Cor Total	288.92	18			

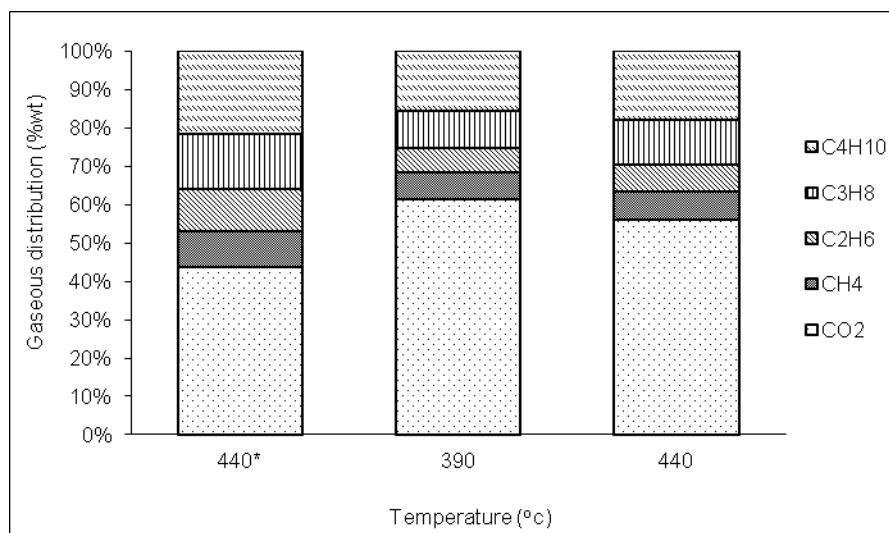
4.3.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.20 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (*)



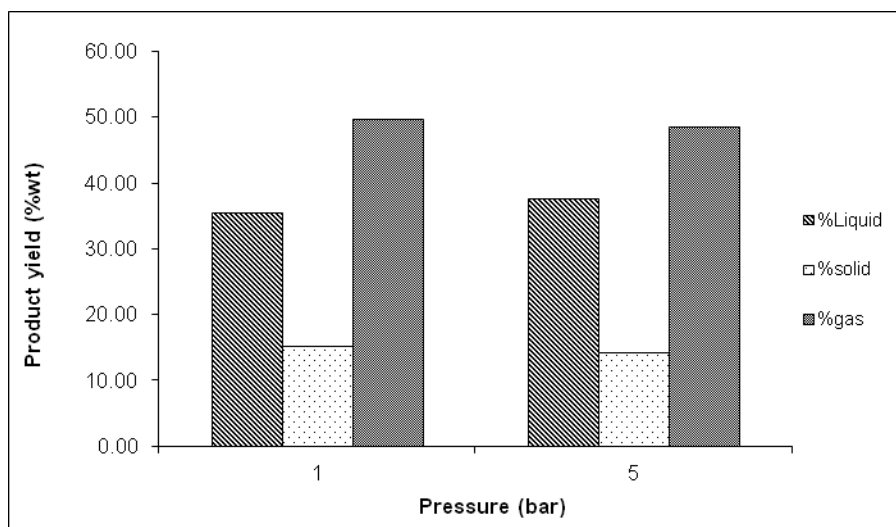
รูปที่ 4.21 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุ่งที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)



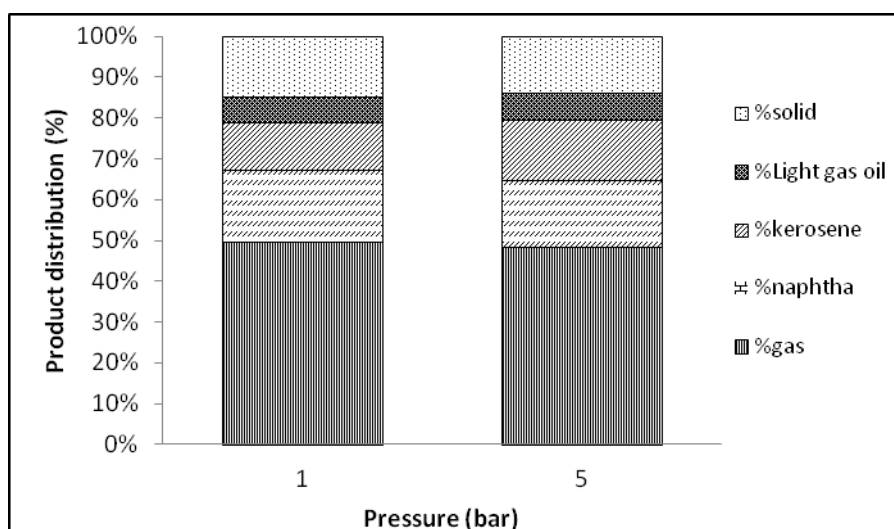
รูปที่ 4.22 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุ่งที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 390 องศาเซลเซียสเป็น 440 องศาเซลเซียสจะได้อัตราผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 33.40 เป็น 35.26 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียสจะได้อัตราผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 36.96 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวมากเกินไป อาจทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกตัวเป็นสายโซ่ที่มีขนาดเล็กได้มากจึงส่งผลให้ได้แก๊สไฮโดรคาร์บอนสูง อัตราผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลง เมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าได้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดคือ ร้อยละ 51.13 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 390 องศาเซลเซียสเป็น 440 องศาเซลเซียสจะทำให้ได้อัตราผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.66 เป็น 17.58 โดยน้ำหนักและเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาได้อัตราผลได้ร้อยละ 4.95 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้การแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นขนาดกลางและขนาดเล็ก และพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีส่วนช่วยในการแตกตัวผลิตภัณฑ์แนฟทาให้มากขึ้นได้

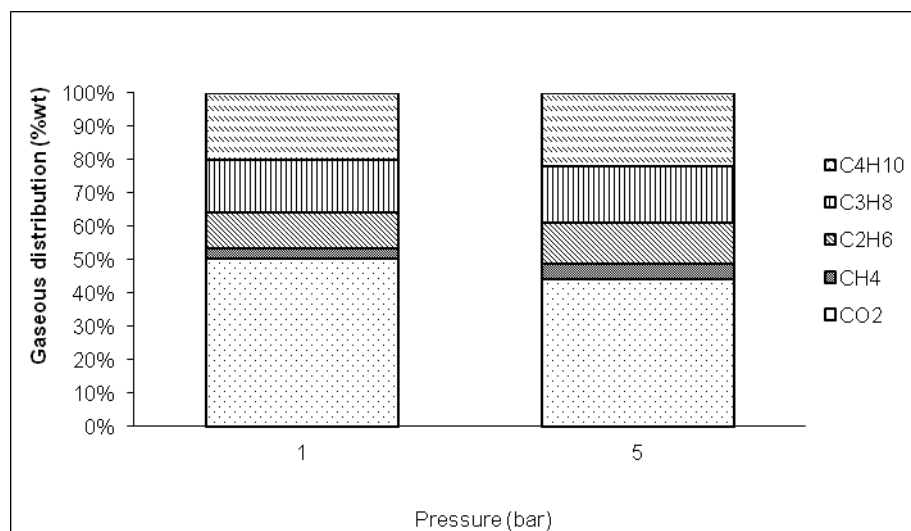
4.3.2.4 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.23 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



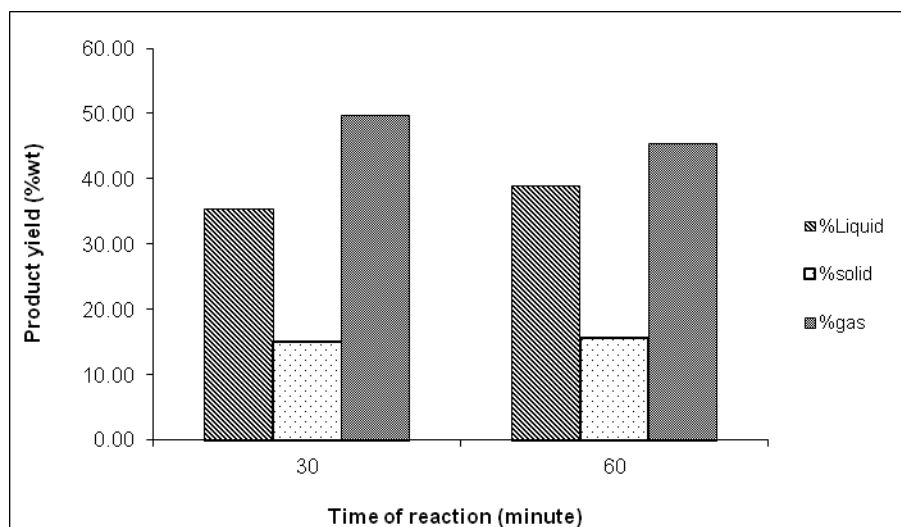
รูปที่ 4.24 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



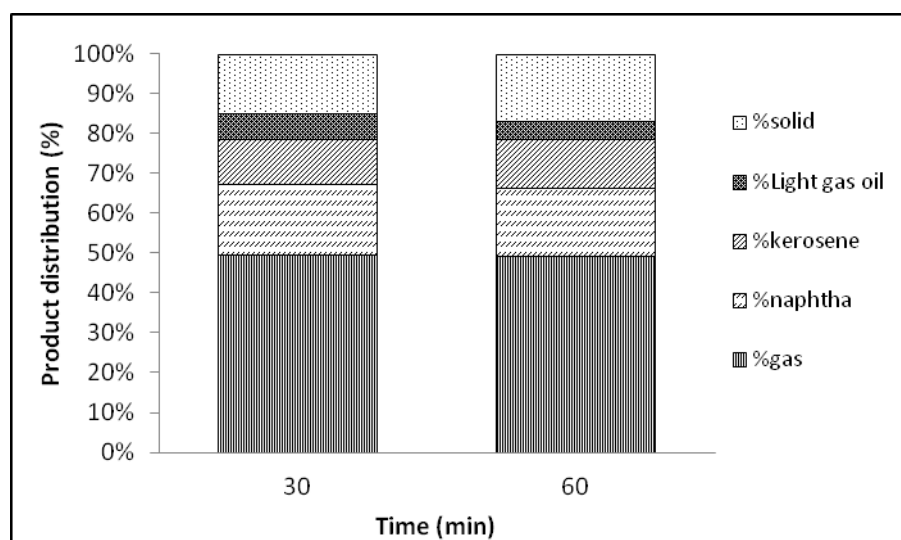
รูปที่ 4.25 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุ่งที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุ่งที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้ได้ร้อยละปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลง จากร้อยละ 35.26 เป็น 37.55 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุ่ง พบว่าเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาลดลงจากร้อยละ 17.58 เป็น 16.31 โดยน้ำหนักเนื่องจากการอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน ทำให้เกิดการแตกตัวได้ดี ดังนั้นการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปเป็น 5 บาร์ จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของน้ำมันตุ่งไปเป็นผลิตภัณฑ์แนฟทามากขึ้นเมื่อเทียบกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

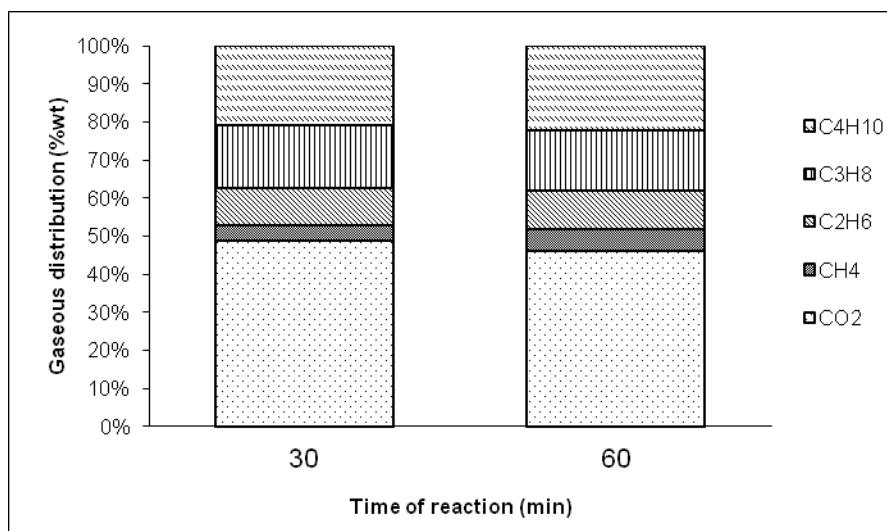
4.3.2.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.26 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



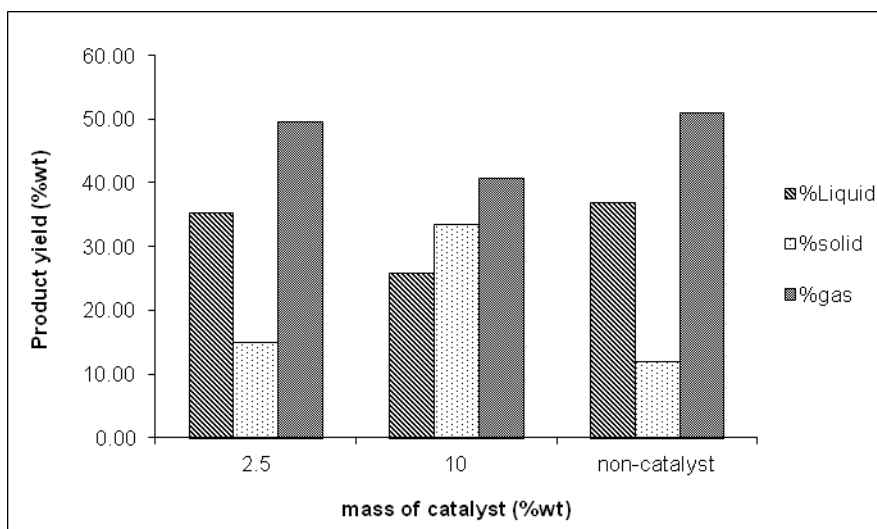
รูปที่ 4.27 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



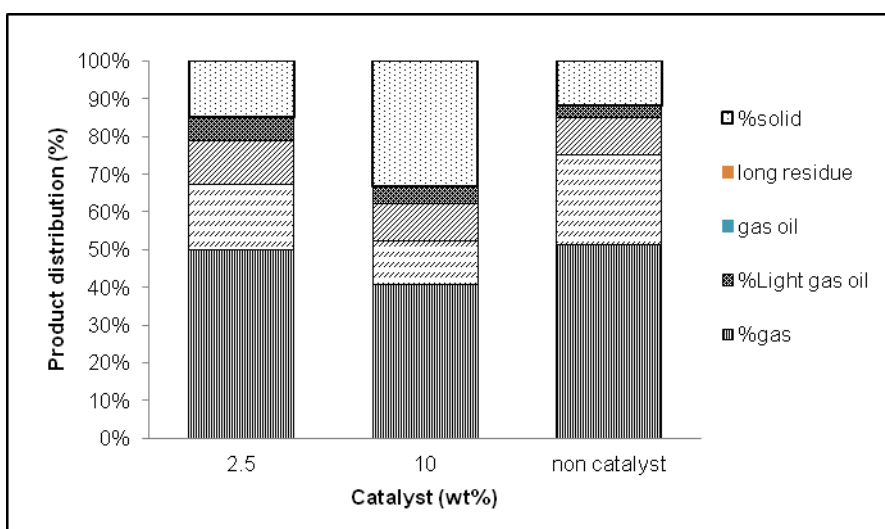
รูปที่ 4.28 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 35.26 เป็น 38.97 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อน้ำมันตุงทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานาน ทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวเกิดขึ้นอย่างทั่วถึง ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางมากขึ้นจนบางส่วนกลายเป็นไฮโดรคาร์บอนแก๊ส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาจึงลดลงจากร้อยละ 17.58 เป็น 15.82 โดยน้ำหนัก

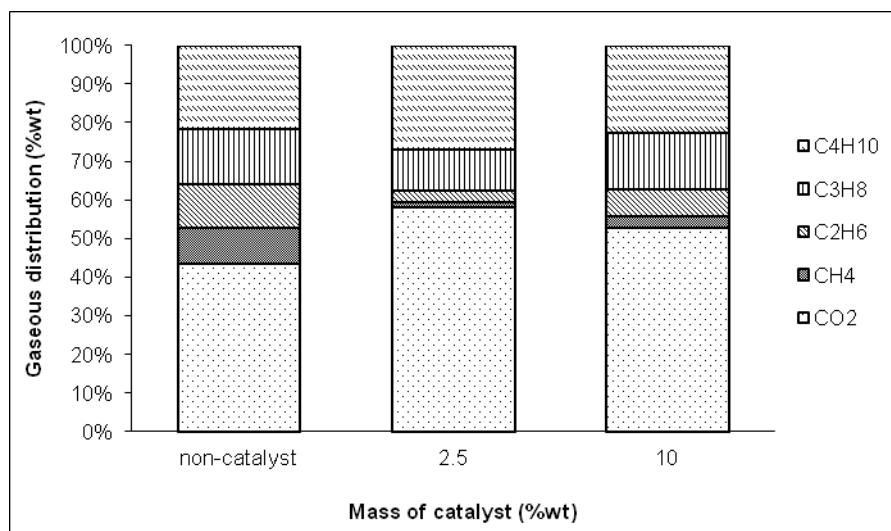
4.3.2.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง



รูปที่ 4.29 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)



รูปที่ 4.30 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)



รูปที่ 4.31 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา(*)

จากรูปแสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุงที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนักและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงจากร้อยละ 35.26 เป็น 25.81 โดยน้ำหนัก และเมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาได้ร้อยละ 36.96 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวของน้ำมันตุง พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มากขึ้น จะส่งผลให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของแอฟทาลลดลงจากร้อยละ 17.58 เป็น 11.61 โดยน้ำหนักทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่มากเกินไป ทำให้มีตำแหน่งว่างไว้มากขึ้น ปฏิกิริยาการแตกตัวมากเกินไป ทำให้อัตราผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงเนื่องจากเกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ ไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางลดน้อยลงด้วย

4.4 คำค้นหาภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิธพังก์ชนิดเบสด้วยโปรแกรม Design-Expert

4.4.1 คำค้นหาภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยโปรแกรม Design-Expert

ตารางที่ 4.16 ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature	is in range	390	440	°C
Time	is in range	30	60	minute
Catalyst	is in range	2.5	10	%wt
Pressure	is in range	1	5	bar
Yield gas	minimize	42.19	53.76	%wt
Yield Liquid	maximize	25.31	39.28	%wt
Yield Naphtha	maximize	15.16	22.57	%wt
Yield Kerosene	maximize	5.67	11.02	%wt
Yield Light gas oil	maximize	4.47	8.87	%wt

เมื่อหาภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าตอบสนองเพียง 5 ค่าคือค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ค่าร้อยละผลได้ของเนฟทา ค่าร้อยละผลได้ของเคโรซีนและค่าร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์เบาโดยจะพิจารณาให้มีค่าร้อยละผลได้ของแก๊สที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยค่าตอบสนองที่เหลือ ได้แก่ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ค่าร้อยละผลได้ของเนฟทา ค่าร้อยละผลได้ของเคโรซีนและค่าร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์เบาพิจารณาให้ได้ค่ามากที่สุดโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ในการหาภาวะที่เหมาะสม ข้อกำหนดสำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.17 ภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.18 คือ ที่อุณหภูมิ 402 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส 50.23 โดยน้ำหนัก และค่าร้อยละผลได้ของ

ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจะได้ร้อยละ 38.83 โดยน้ำหนัก ผลได้ของแฉะฟทาร์ร้อยละ 21.43 โดยน้ำหนัก
 ผลได้ของเคโรซีนร้อยละ 8.37 โดยน้ำหนักและผลได้ของแก๊สออกยล์เบาร้อยละ 8.01 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.17 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันตุง

ตัวแปร	สภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	402
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	38.83
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	50.23
ร้อยละผลได้แฉะฟทาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	21.43
ร้อยละผลได้เคโรซีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.37
ร้อยละผลได้แก๊สออกยล์เบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.01

หลังจากได้ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมแล้วจึงนำมาทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบ
 ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ตัวแปร	สภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	402	402
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30	30
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5	2.5
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	38.83	37.26
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	50.23	49.62
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	21.43	21.89
ร้อยละผลได้เคโรซีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.37	7.65
ร้อยละผลได้แก๊สออยล์เบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.01	8.52

4.4.2 คำขอหาภาวะเหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ด้วยโปรแกรม Design-Expert

ตารางที่ 4.19 ขอบเขตของการหาภาวะเหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Temperature	is in range	390	440	°C
Time	is in range	30	60	minute
Catalyst	is in range	2.5	10	%wt
Pressure	is in range	1	5	bar
Yield gas	minimize	40.63	55.73	%wt
Yield Liquid	maximize	19.81	38.97	%wt
Yield Naphtha	maximize	7.60	17.58	%wt
Yield Kerosene	maximize	7.49	14.72	%wt
Yield Light gas oil	maximize	2.02	8.94	%wt

เมื่อหาภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าตอบสนองเพียง 4 ค่าคือค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ค่าร้อยละผลได้ของเนฟทา ค่าร้อยละผลได้ของเคโรซีนและค่าร้อยละผลได้ของแก๊สออกยล์เบาโดยจะพิจารณาให้มีค่าร้อยละผลได้ของแก๊สที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยค่าตอบสนองที่เหลือ ได้แก่ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ค่าร้อยละผลได้ของเนฟทา พิจารณาให้ได้ค่ามากที่สุดโดยใช้โปรแกรม Design-Expert ในการหาภาวะที่เหมาะสม ข้อกำหนดสำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.20 ภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.21 คือ ที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 38 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส 47.37 โดยน้ำหนัก และค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 37.55 โดยน้ำหนัก ผลได้ของเนฟทา ร้อยละ 19.16 โดยน้ำหนัก ผลได้ของเคโรซีนร้อยละ 11.58 โดยน้ำหนักและผลได้ของแก๊สออกยล์เบา ร้อยละ 5.71 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.20 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert ของน้ำมันตุง

ตัวแปร	สภาวะจากโปรแกรม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	440
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	38
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	37.55
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	47.35
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	19.16
ร้อยละผลได้เคโรซีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	11.58
ร้อยละผลได้แก๊สฮออล์เบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	5.71

หลังจากได้ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมแล้วนำมาทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ตัวแปร	สภาวะจากโปรแกรม	ทดลองจริง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	440	440
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	38	38
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5	2.5
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	37.55	38.26
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	47.35	46.83
ร้อยละผลได้แนฟทา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	19.16	19.72
ร้อยละผลได้เคโรซีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	11.58	12.63
ร้อยละผลได้แก๊สฮออล์เบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	5.71	4.81

4.5 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Total acid value) จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน ตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.22 ค่าความเป็นกรด (Total acid value) จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบน
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)
ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	15.09
แมกนีเซียมออกไซด์	0.45
แคลเซียมออกไซด์	1.13

จากตารางแสดงค่าความเป็นกรดของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสที่อุณหภูมิ
440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีและปริมาณ
ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิง
เหลวมีค่าสูงถึง 15.09 แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสทำให้ได้ค่าความเป็นกรดของ
เชื้อเพลิงเหลวลดลงอย่างมาก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ได้ค่าความเป็นกรดต่ำที่สุดคือ
0.45 เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีความเป็นเบสสูง

4.6 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHNO (CHNO Analysis) จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของ น้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตารางที่ 4.23 องค์ประกอบธาตุ CHNO จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่ง
ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยา	N	C	H	O
Pure oil	<LOQ	78.28	11.31	11.73
แมกนีเซียมออกไซด์	<LOQ	60.02	7.46	3.21
แคลเซียมออกไซด์	<LOQ	61.56	7.37	4.42
ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	<LOQ	61.60	7.54	4.04

จากตารางแสดงองค์ประกอบธาตุ CHNO พบว่าปริมาณ C H และ O ของ pure oil มีปริมาณสูง แต่เมื่อทำปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาปริมาณธาตุลดลง ทั้งนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน ทำให้ปริมาณ O ลดน้อยลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพ่นชั้นชนิดเบส โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลที่ส่งผลต่อการเกิดเชื้อเพลิงเหลวโดยเราสนใจหาสภาวะที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ 390 และ 440 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 และ 5 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 และ 10 โดยน้ำหนัก เพื่อหาสภาวะที่ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด สามารถสรุปการทดลองได้ดังนี้

1. จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Design-Expert 6.0.10 พบว่าสภาวะที่ให้ผลการตอบสนองของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มากที่สุดคือ อุณหภูมิ 402 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการปฏิกิริยา 30 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก
2. จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Design-Expert 6.0.10 พบว่าสภาวะที่ให้ผลการตอบสนองของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มากที่สุดคือ อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการปฏิกิริยา 38 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก
3. จากการทดลองจริงในสภาวะที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 6.0.10 บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จะได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 38.83 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทา 21.43 โดยน้ำหนัก
4. จากการทดลองจริงในสภาวะที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 6.0.10 บนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จะได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 37.55 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แนฟทา 19.16 โดยน้ำหนัก

5. จากการศึกษาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีค่าความเป็นกรดลดน้อยลงอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดอื่นๆบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสในเครื่องปฏิกรณ์
2. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสอื่นๆ ที่อาจส่งผลได้ดีกว่า รวมถึงกระบวนการนำตัวเร่งปฏิกิริยานั้นนำกลับมาใช้ใหม่ได้
3. ศึกษาการแยกส่วนของแก๊สไฮโดรเจนออกจากผลิตภัณฑ์แอฟทาที่ได้
4. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิต
5. ศึกษาการนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ

รายการอ้างอิง

- [1] วิชาการ.คอม, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: www.vcharkarn.com/varticle/37458
[2554, กันยายน 27]
- [2] บริษัท ชาญอินทร์ พลังงาน จำกัด, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: www.chaminenergy.com
[2554, สิงหาคม 15]
- [3] ปราโมทย์ ไชยเวช. ปีโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯออฟเซท, 2537
- [2] วิชาการ.คอม, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: www.vcharkarn.com/varticle/41150
[2554, กันยายน 27]
- [5] ไทยกู๊ดวิวเน็ตคอม, [ออนไลน์], 2543 แหล่งที่มา: www.thaigoodview.com/
[2554, สิงหาคม 15]
- [6] สำนักข่าวมุสลิมไทย, [ออนไลน์], 2553 แหล่งที่มา:
www.muslimthai.com/main/1428/content.php?category=110&id=13335
[2554, สิงหาคม 15]
- [7] Thorzen Group, [ออนไลน์], 2551, แหล่งที่มา: www.thorzen.com [2554, สิงหาคม 15]
- [8] Xu Junming, Jiang Jianchun, Lu Yanju, Chen Jie: Liquid hydrocarbon fuels obtained by the pyrolysis of soybean oils. Journal of Bioresource Technology (2009):

4867-4870.

- [9] Ersan Pütün: Catalytic pyrolysis of biomass : Effects of pyrolysis temperature, sweeping gas flow rate and MgO catalyst. Journal of Energy (2010): 2761-2766.
- [10] Ilknur Demiral, Sevgi Sensoz: The effects of different catalysts on the pyrolysis of industrial wastes (olive and hazelnut bagasse). Journal of Bioresource Technology (2008): 8002-8007.
- [11] Pramila Tamunaidu, Subhash Bhatia: Catalytic cracking of palm oil for the production of biofuels : Optimization studies. Journal of Bioresource Technology, 2007: 3593-3601.
- [12] รวีวรรณ สวัสดิ์รักษา. การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันสนุดำเป็นเชื้อเพลิงเหลวบน HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ก1 ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)		
	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (minute)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Kerosene yield (%wt)	Light gas oil (%wt)
0	415	3	45	6.25	39.28	18.27	42.45	20.56	12.68	6.04
0	415	3	45	6.25	39.75	17.34	42.91	20.83	12.99	5.96
0	415	3	45	6.25	38.16	17.86	43.98	20.53	11.89	5.74
1	390	1	30	2.5	39.28	11.58	49.14	21.60	8.81	8.87
2	440	1	30	2.5	36.16	10.08	53.76	22.57	7.31	6.29
3	390	5	30	2.5	37.18	17.36	45.46	19.94	9.65	7.59
4	440	5	30	2.5	34.39	14.09	51.52	20.62	8.94	4.83
5	390	1	60	2.5	34.97	19.19	45.84	19.71	8.63	6.63
6	440	1	60	2.5	29.21	18.63	52.16	17.66	6.62	4.93
7	390	5	60	2.5	36.17	12.32	51.51	18.18	10.64	7.35
8	440	5	60	2.5	31.88	15.37	52.75	19.00	8.25	4.63

ตาราง ก1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)		
	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (minute)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Kerosene yield (%wt)	Light gas oil (%wt)
9	390	1	30	10	36.04	21.77	42.19	16.98	11.02	8.04
10	440	1	30	10	32.48	21.59	45.93	18.12	8.24	6.13
11	390	5	30	10	33.90	20.96	45.14	16.82	9.98	7.10
12	440	5	30	10	28.22	23.49	48.29	15.98	6.92	5.32
13	390	1	60	10	30.78	20.30	48.93	15.80	8.25	6.72
14	440	1	60	10	25.31	21.93	52.77	15.16	5.67	4.47
15	390	5	60	10	30.05	19.27	50.68	15.87	8.27	5.91
16	440	5	60	10	29.97	23.00	47.03	16.72	6.91	6.34

ตาราง ก2 ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)		
	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Time (minute)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Kerosene yield (%wt)	Light gas oil (%wt)
0	415	45	3	6.25	30.35	25.84	43.81	15.55	10.63	4.17
0	415	45	3	6.25	31.83	27.26	40.91	16.36	11.30	4.14
0	415	45	3	6.25	30.60	25.65	43.75	15.78	11.22	4.03
1	390	1	30	2.5	33.40	16.10	50.50	12.66	13.80	8.94
2	440	1	30	2.5	35.26	15.09	49.65	17.58	11.38	6.30
3	390	5	30	2.5	31.13	15.38	53.49	11.58	11.89	7.66
4	440	5	30	2.5	37.55	14.10	48.35	16.31	14.72	4.52
5	390	1	60	2.5	32.83	16.21	50.96	13.59	12.83	6.41
6	440	1	60	2.5	38.97	15.68	45.35	18.82	11.03	4.11
7	390	5	60	2.5	28.58	15.69	55.73	10.87	12.02	5.69
8	440	5	60	2.5	32.96	24.64	42.40	19.23	10.53	4.20
9	390	1	30	10	27.33	30.36	42.31	10.00	11.37	5.95

ตาราง ก2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

Experiment no.	Parameter				Product yield (%wt)			Product distribution (%wt)		
	Temperature (°C)	Time (minute)	Pressure (bar)	Catalyst (%wt)	Liquid yield (%wt)	Solid yield (%wt)	Gas yield (%wt)	Naphtha Yield (%wt)	Kerosene yield (%wt)	Light gas oil (%wt)
10	440	1	30	10	25.81	30.47	40.72	11.61	9.55	4.65
11	390	5	30	10	24.83	28.16	47.01	10.55	8.32	5.96
12	440	5	30	10	21.92	31.45	46.63	10.12	7.49	4.31
13	390	1	60	10	22.84	34.50	42.66	10.96	7.58	4.30
14	440	1	60	10	24.26	35.11	40.63	12.77	9.46	2.02
15	390	5	60	10	19.81	31.05	49.14	7.60	8.71	3.50
16	440	5	60	10	22.83	33.08	44.09	9.34	9.34	4.15

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เชิงสถิติและตัวอย่างการคำนวณ

การวิเคราะห์เชิงสถิติได้วางรูปแบบการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ และอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าตัวแปรและค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

1. สัญลักษณ์ของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

1.1 k หมายถึง จำนวนตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.2 n หมายถึง จำนวนการทดลองที่ภาวะการทดลองเดียวกัน

1.3 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A, B, C, D) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิ เวลา เป็นต้น

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

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

การทดลองที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น -1 ที่ระดับต่ำ และ $+1$ ที่ระดับสูง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวและเนฟทาจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ซินดิเบล ซึ่งออกแบบการทดลองเป็น 2^k แฟกทอเรียล โดยกำหนดสัญลักษณ์ และระดับของตัวแปร ดังนี้

ตาราง ข1 สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ระดับ	
	(-1) ต่ำ	(+) สูง
A = อุณหภูมิ, °C	390	440
B = เวลา, นาที	30	60
C = ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น, บาร์	1	5
D = ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	2.5	10

สัญลักษณ์แทนการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ มีความหมาย คือการทดลองที่ปรากฏสัญลักษณ์ของปัจจัยใด แสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ +1 ของปัจจัยนั้น และปัจจัยที่ไม่ปรากฏสัญลักษณ์ทำการทดลองที่ระดับ -1 เช่น

(-1) แสดงว่า ทำการทดลองที่ระดับ -1 ทุกปัจจัย

a แสดงว่า ทำการทดลองที่ระดับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา +1 และปัจจัยอื่นๆทำที่ระดับ -1 ดังนั้น ภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและความดัน 1 บาร์

ab แสดงว่า ทำการทดลองที่ระดับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา +1 และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น +1 ส่วนปัจจัยอื่นๆทดลองที่ -1

2. ความหมายของคำสำคัญ

อิทธิพลหลัก (Main effect) หมายถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษา

อันตรกิริยา (Interaction) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่างๆในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

อิทธิพลแฟกทอเรียล (Factorial effect) หมายถึง อิทธิพลต่างๆ ทั้งอิทธิพลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมดในการทดลองซึ่งจะมีเท่ากัน จำนวนการรวมตัว -1 หรือเท่ากับองศาความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ของสิ่งที่ทดลอง

3. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งเราต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้นกรณีพิเศษของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และในสองระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ ใน 1 เวกเตอร์ที่ปริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ และเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างปริบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ดังนั้นจึงไม่น่าแปลกใจเลยที่การออกแบบ 2^k จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการทดลองแบบ 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับ เราขอสมมติว่าผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่งสมมติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเราเพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาระบบ

การออกแบบ 2^k

การออกแบบ 2^k ชนิดแรกที่จะกล่าวถึง คือการออกแบบที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และ B) แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบนี้เราจะแสดงผลของปัจจัยด้วยตัวอักษรลาตินตัวใหญ่ ดังนั้น A จะแทนผลของปัจจัย A, B แทนผลของปัจจัย

B และ AB แทนอันตรกิริยาของปัจจัย AB ในการออกแบบ 2^2 ระดับต่ำและสูงจะแทนด้วยเครื่องหมาย + และ - บนแกน A และ B ตามลำดับ

การทดลองรวมปัจจัยทั้ง 4 สำหรับการออกแบบนี้จะแทนด้วยตัวอักษรเล็ก จะเห็นได้ว่า สำหรับระดับสูงของปัจจัยใดๆจะแทนด้วยตัวอักษรตัวเล็กของปัจจัยนั้น ในการทดลองรวมปัจจัยที่เกิดขึ้น สำหรับระดับต่ำจะไม่ปรากฏตัวอักษรใดๆ ในการทดลองรวมปัจจัย ดังนั้นสำหรับการออกแบบ 2^k ในที่นี้ a จะแทนการทดลองรวมปัจจัยของปัจจัย A ที่ระดับสูงและ B ที่ระดับต่ำ, b แทน A ที่ระดับต่ำและ B ที่ระดับสูง ab แทนทั้งปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับสูง และ (1) แทนทั้งปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ

4. สูตรการคำนวณ

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

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

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

Total of sum of squares :

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

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

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

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

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

4. ตัวอย่างงานวิจัย การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส ออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียลแบบ 2 เรพลิเคต โดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรดังนี้

ตาราง ข1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษารองน้ำมันตุงบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

ตัวแปร	ระดับ	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	390	440
B เวลา (นาที)	30	60
C ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5
D ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.5	10

5. การใช้โปรแกรม Design-Expert ในการคำนวณ

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรม คลิกไปที่ file ----> New Design และจะแสดงดังรูป ข1

2 Level Factorial Design

Design for 2 to 15 factors where each factor is varied over 2 levels. Useful for estimating main effects and interactions. Fractional factorials can be used for screening many factors to find the significant few. The color coding represents the design resolution: Green = Res V, Yellow = Res IV, and Red = Res III.

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

รูป ข1 แสดงตารางของ 2 Level Factorial Design

2. เลือกจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการทดลองนี้จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยารวมทั้งหมด 4 ตัวแปร เลือกที่ Full ของช่อง 4 จากนั้นกรอกจำนวนที่ซ้ำช่อง Replicates และกรอกค่าทำซ้ำที่ค่ากลาง ช่อง Center point per block ยกตัวอย่าง Replicates = 2, Center point per block = 3 กดที่ Continue จะปรากฏดังรูป ข3 เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue

	Name	Units	Type	Low	High
A:	A		Numeric	-1	1
B:	B		Numeric	-1	1
C:	C		Numeric	-1	1
D:	D		Numeric	-1	1

	Name	Units	Type	Low	High
A:	temperature		Numeric	410	450
B:	pressure		Numeric	1	5
C:	time		Numeric	30	60
D:	Amount cataly		Numeric	1	5

รูป ข2 แสดงตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง

3. เลือก Responses กรอกชื่อ Responses พร้อมกรอก Unit ของตัวแปรนั้นๆ ในช่องดังรูป ข4 เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue

Responses:

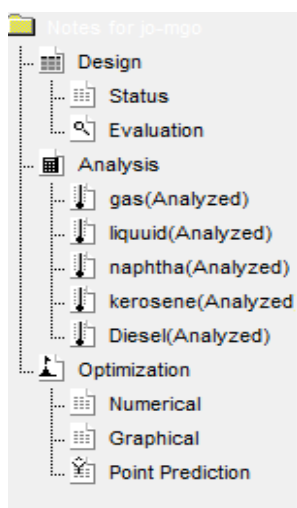
	Name	Units
	Response 1	
	Response 2	
	Response 3	
	Response 4	
	Response 5	

รูป ข3 แสดง Response และ หน่วยที่ต้องการของการทดลอง

4. จากนั้นจะขึ้นตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น มีทั้งหมด 16 การทดลอง ค่ากลาง 1 การทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมการทดลอง 19 การทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองกรอกในช่องดังรูป ข4

Notes for Data expert		Std	Run	Block	Factor 1 A.Temperature oC	Factor 2 B.Time min	Factor 3 C.Catalyst %wt	Factor 4 D.Pressure bar	Response 1 gas %wt	Response 2 liquid %wt	Response 3 naphtha %wt	Response 4 kerosene %wt	Response 5 diesel %wt
Design	Status	2	1	Block 1	410.00	30.00	1.00	1.00	13.23	70.89	22.77	32.81	37.57
	Evaluation												
	Analysis												
	gas	21	2	Block 1	410.00	60.00	1.00	5.00	18.32	79.76	36.88	26.2	27.81
	liquid(Analyzed)	3	3	Block 1	450.00	30.00	1.00	1.00	20.76	66.98	32.17	30.91	31.28
	naphtha	31	4	Block 1	450.00	60.00	5.00	5.00	28.63	70.87	37.04	30.71	22.38
	kerosene	15	5	Block 1	450.00	60.00	5.00	1.00	26.27	63.02	38.17	35.32	23.16
	diesel(Analyzed)	24	6	Block 1	450.00	60.00	1.00	5.00	23.92	70.87	35.87	32.63	24.7
	Optimization												
	Numerical	4	7	Block 1	450.00	30.00	1.00	1.00	21.71	67.9	33.84	30.19	29.38
	Graphical	27	8	Block 1	450.00	30.00	5.00	5.00	25.37	69.16	36.45	31.73	26.01
	Point Prediction	28	9	Block 1	450.00	30.00	5.00	5.00	23.32	68.71	36.96	31.01	30.52
		33	10	Block 1	430.00	45.00	3.00	3.00	24.93	71.04	34.02	30.53	27.15
		19	11	Block 1	450.00	30.00	1.00	5.00	21.61	72.66	34.8	30.07	30.15
		1	12	Block 1	410.00	30.00	1.00	1.00	12.64	71.62	23.27	32.97	36.17
		25	13	Block 1	410.00	30.00	5.00	5.00	17.12	76.7	28.91	28.37	31.54
		30	14	Block 1	410.00	60.00	5.00	5.00	21.27	72.99	39.14	23.17	26.32
		9	15	Block 1	410.00	30.00	5.00	1.00	15.67	79.38	30.67	29.67	30.23
		6	16	Block 1	410.00	60.00	1.00	1.00	19.67	70.87	35.83	28.81	30.76
		20	17	Block 1	450.00	30.00	1.00	5.00	21.09	72.93	34.89	32.32	30.78
		11	18	Block 1	450.00	30.00	5.00	1.00	25.16	66.9	37.92	27.28	26.93
		8	19	Block 1	450.00	60.00	1.00	1.00	22.51	64.15	36.21	28.14	25.76
		22	20	Block 1	410.00	60.00	1.00	5.00	18.07	79.29	36.43	25.67	32.01
		14	21	Block 1	410.00	60.00	5.00	1.00	22.86	76.04	41.32	23.53	27.81
		7	22	Block 1	450.00	60.00	1.00	1.00	24.25	65.58	34.12	29.72	26.31
		29	23	Block 1	410.00	60.00	5.00	5.00	20.14	74.83	39.24	25.91	25.73
		16	24	Block 1	450.00	60.00	5.00	1.00	26.68	64.32	37.72	35.31	23.33

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยโปรแกรม Design-Expert ยกตัวอย่างเช่น วิเคราะห์ผลของ Liquid โดยที่ Liquid ดังรูป ข5 จากนั้นไปคลิกที่ Effect



รูป ข5 แสดงแถบของ gas liquid kerosene และ diesel

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 6.0.10 จะบ่งบอกว่าปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้น

8. จากนั้นวิเคราะห์ตัวแปรอื่นๆ ตามข้อ 5-7

9. หากภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง คลิกที่ numerical --- > พร้อมกรอกรอบขอบเขตที่ต้องการใน ช่อง Limit ดังรูป ข8

The screenshot displays the 'Criteria' tab in the Design-Expert software. The 'Temperature' criterion is selected, and its goal is set to 'is in range'. The 'Limits' field is configured with a lower limit of 410 and an upper limit of 450. The 'Weights' field is set to 1 for both limits, and the 'Importance' is set to '+++'. Below the configuration, a graph shows a step function with values 410.00 and 450.00.

Lower	Upper
410	450

Weights	Importance
1	+++

410.00 450.00

Temperature

10. คลิกที่ Solution จะได้ภาวะที่เหมาะสมดังรูป ข9

Constraints

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Temperature	is in range	410	450	1	1	3
Time	is in range	30	60	1	1	3
Catalyst	is in range	1	5	1	1	3
Pressure	is in range	1	5	1	1	3

Solutions

Number	Temperature*	Time*	Catalyst*	Pressure*	Desirability	Selected
1	<u>419.04</u>	<u>39.23</u>	<u>4.57</u>	<u>2.41</u>	<u>1.000</u>	
2	438.00	55.71	1.65	2.24	1.000	
3	410.59	58.34	1.16	3.17	1.000	
4	443.46	46.00	2.02	3.10	1.000	
5	421.47	33.99	1.60	1.42	1.000	
6	437.72	50.33	3.74	3.57	1.000	
7	440.71	33.20	2.19	3.07	1.000	
8	440.13	31.86	2.85	3.47	1.000	
9	432.36	47.90	1.71	4.98	1.000	
10	426.99	39.34	1.71	2.32	1.000	

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด

(Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography จะวิเคราะห์ตามจุดเดือดของแต่ละสารดังต่อไปนี้

IBP–200 °C = Naphtha

200 °C – 250 °C = Kerosene

250 °C – 350 °C = Light Gas Oil

350 °C – 370 °C = Gas Oil

370 °C – FBP = Long residue

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการเตรียมสารตัวอย่างโดยนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปละลายในสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ 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 (Injector Temperature) 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) 30-320 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) 320 องศาเซลเซียส โดยมี carrier gas เป็น helium gas ที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อ นาที ด้วย split ratio 2

ภาคผนวก ง

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบด้วยเทคนิค GC-MS

ตารางที่ ง1 ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธนาทิพย์ ศรีสูงค์ เกิดเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552