

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของไขมันวัวบนแมกนีเซียมออกไซด์และ
โตโลไมต์ที่ผสมด้วยถ่านกัมมันต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE STUDY OF BEEF TALLOW CATALYTIC CRACKING ON MAGNESIUM OXIDE
AND DOLOMITE MIXED WITH ACTIVATED CARBON



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science
Field of Study of Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไขมันวัวบนแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ที่ผสมด้วยถ่านกัมมันต์
โดย	น.ส.ภัทราพร พรหมทันต์
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ)	

5972407923 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORD: beef tallow, residual oil, Thermal Cracking, Catalytic Cracking

Pattaraporn Prommatun :
 COMPARATIVE STUDY OF BEEF TALLOW CATALYTIC CRACKING ON MAGNESIUM
 OXIDE AND DOLOMITE MIXED WITH ACTIVATED CARBON. Advisor: Prof.
 Tharapong Vitidsant

The main objective of this research focused on a comparative study of the catalytic cracking on MgO, a mixture of MgO and activated carbon at 1:1 ratio, and a mixture of dolomite and activated carbon at 1:1 ratio. Variables consisted of the temperatures at 380 to 440 °C, time of reactivity ranging from 30 to 75 minutes, initial hydrogen pressure at without presence of hydrogen pressure to 5 bars, and the amount of the foregoing catalysts at 0 to 5 wt%. The results show that without presence of catalysts (Thermal Cracking) is 440 °C, time of reactivity is 45 minute, initial hydrogen pressure is 1 bar ; with MgO, a mixture of MgO and activated carbon at 1:1 ratio and a mixture of dolomite and activated carbon at 1:1 ratio is 420 °C, time of reactivity is 45 minute, initial hydrogen pressure is 1 bar, the amount of the MgO, MgO and activated carbon at 1:1 ratio catalysts at 2.5 wt%. and the amount of the dolomite and activated carbon at 1:1 ratio 5 wt%. An analysis of liquid fuel component with Distillation Gas Chromatography (DGC) found that the percentage of residual oil is at 29.89 wt%, 24.69 wt%, 23.91 wt%, and 18.64 wt% respectively. When a catalyst is introduced, the reactivity temperature decreases by 20 °C. Liquid fuels processed with catalytic cracking promotes decarboxylation and decarbonylation resulting in a decrease in oxygen component to only 3.75 wt%, compared to that of beef tallow at 23.03 wt%. A high oxygen component in beef tallow contributes to its fuel properties of 39.87 MJ/kg, lower than the liquid fuel processed with catalytic cracking which offers 49.32 MJ/kg.

Field of Study: Petrochemistry and Polymer Science Student's Signature

Academic Year: 2018 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่
กรุณาให้ความรู้ ตลอดจนคำแนะนำสั่งสอน เพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ใน
สาขาวิชา ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทุกท่านที่สั่งสอนและกรุณาให้ความรู้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ ประธานกรรมการสอบ รอง
ศาสตราจารย์ชวลิต งามจรัสศรีวิชัยและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ กรรมการสอบ
วิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความคิดเห็น และแนะนำการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบุคลากรศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ทุก
ท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวก
สะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและ
ให้ความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ภัทราพร พรหมทันต์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ	1
สารบัญตาราง.....	6
บทที่ 1 บทนำ	8
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	8
1.2 วัตถุประสงค์	10
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	10
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 ปีโตรเลียม.....	12
2.2 ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณภาพน้ำมัน	15
2.3 พลังงานทดแทน.....	17
2.4 ไซมันส์ตัว.....	18
2.5 กระบวนการแตกตัว (Cracking)	21
2.6 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis).....	26

2.7	ตัวเร่งปฏิกิริยา	26
2.8	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3	เครื่องมือและวิธีการทดลอง	35
3.1	เครื่องปฏิกรณ์และส่วนประกอบ	35
3.2	เครื่องมือวิเคราะห์	37
3.3	สารตั้งต้นและสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	38
3.4	วิธีการทดลอง.....	39
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
4.1	การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น	42
4.2	การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	45
4.3	อธิบายกลไกการแตกสลายโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนดำเนินการพร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง แก๊สและหาภาวะที่เหมาะสม	47
4.3.1	การแตกสลายเชิงความร้อน (Thermal cracking).....	48
4.3.2	การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking).....	55
4.3.2.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO).....	55
4.3.2.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1	64
4.3.2.3	ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1.....	72
4.4	การวิเคราะห์ภาวะเหมาะสมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุดของกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	81
4.5	การวิเคราะห์คาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	82

4.6 การวิเคราะห์ผลขององค์ประกอบแก๊สของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่เหมาะสมที่ให้ สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และ กระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	83
4.7 การวิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุและสมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่เหมาะสมที่ให้ สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	84
4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมัน น้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตก ตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	85
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 ภาวะเหมาะสมของกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และ กระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)	91
5.2 ผลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ต่อตัวแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	91
5.3 ผลขององค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซลในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง เหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	91
5.4 ผลของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ต่อองค์ประกอบธาตุออกซิเจนและสมบัติทางเชื้อเพลิง.....	92
5.5 ผลของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking).....	92
5.6 ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	105

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน.....	12
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแนฟทีน.....	13
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติก.....	13
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของไขมันวัว.....	18
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างกรดไขมัน.....	20
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างปฏิกิริยา initiation.....	22
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างปฏิกิริยา Chain-Carrying.....	22
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างปฏิกิริยา Termination.....	22
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเกิดคาร์โบเนียมไอออน.....	23
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเกิดคาร์โบเนียมไอออน.....	24
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม.....	25
รูปที่ 2.12 โครงสร้างผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์.....	28
รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	29
รูปที่ 2.14 โครงสร้างผลึกของโคโลไมต์.....	29
รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไซส์.....	30
รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ [25].....	31
รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อกระตุ้นทางกายภาพ [25].....	31
รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อกระตุ้นด้วยกายภาพโดยมีการกำจัดโมเลกุลสิ่งแปลกปลอมและได้ผลิตภัณฑ์.....	31
รูปที่ 2.19 รูพรุนภายในถ่านกัมมันต์.....	32
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก 70 มิลลิลิตร.....	35
รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์.....	36

รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศและชุดเครื่องแก้ว.....	36
รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่นและคอลัมน์ DB-1	37
รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	38
รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ CHNO/S รุ่น TrueSpec จากบริษัท LECO จำกัด	38
รูปที่ 4.1 ค่าการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัว.....	42
รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของไขมันวัว	44
รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์	51
รูปที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิเมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์	51
รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์.....	52
รูปที่ 4.6 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์.....	52
รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที.....	53
รูปที่ 4.8 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที.....	54
รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	58
รูปที่ 4.10 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก.....	59

- รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก 60
- รูปที่ 4.12 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 60
- รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 61
- รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 62
- รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์..... 62
- รูปที่ 4.16 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์..... 63
- รูปที่ 4.17 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก 66
- รูปที่ 4.18 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 66
- รูปที่ 4.19 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก 67

- รูปที่ 4.20 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 68
- รูปที่ 4.21 ร้อยละผลได้ผลผลิตของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 69
- รูปที่ 4.22 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 69
- รูปที่ 4.23 ร้อยละผลได้ผลผลิตของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์..... 70
- รูปที่ 4.24 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์..... 71
- รูปที่ 4.25 ร้อยละผลได้ของผลผลิตของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก 75
- รูปที่ 4.26 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 75
- รูปที่ 4.27 ร้อยละผลได้ผลผลิตของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก 76
- รูปที่ 4.28 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก..... 76

รูปที่ 4.29 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก.....	77
รูปที่ 4.30 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก.....	78
รูปที่ 4.31 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์.....	79
รูปที่ 4.32 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์.....	79
รูปที่ 4.33 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สจากกระบวนการไพโรไลซิส	83
รูปที่ 4.34 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)	86
รูปที่ 4.35 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์	87
รูปที่ 4.36 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1.....	88
รูปที่ 4.37 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1.....	90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบสมบัติและโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว	20
ตารางที่ 2.2	เปรียบเทียบองค์ประกอบร้อยละโดยมวลกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของไขมันหมูและไขมันวัว.....	21
ตารางที่ 2.3	การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับเชิงเคมี	28
ตารางที่ 4.1	สมบัติเชื้อเพลิงวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ และองค์ประกอบแยกธาตุของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแบบแยกธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน	43
ตารางที่ 4.2	องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงตามคาบจุดเดือดของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น.....	43
ตารางที่ 4.3	องค์ประกอบทางเคมีของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	45
ตารางที่ 4.4	องค์ประกอบออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	45
ตารางที่ 4.5	พื้นที่ผิวรูพรุน ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดโลไมต์และถ่านกัมมันต์.....	47
ตารางที่ 4.6	ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด	54
ตารางที่ 4.7	ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด	63
ตารางที่ 4.8	ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดและดีเซลสูงที่สุด	71
ตารางที่ 4.9	ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดและดีเซลสูงที่สุด	80
ตารางที่ 4.10	ภาวะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด	81
ตารางที่ 4.11	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวและผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะเหมาะสม	82
ตารางที่ 4.12	องค์ประกอบแบบแยกธาตุและสมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันวัวและเชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสม	84

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking).....	86
ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	88
ตารางที่ 4.15 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1.....	89
ตารางที่ 4.16 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1	90



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรย่อมส่งผลให้การใช้ เชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป สะท้อนได้จากราคาเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงขึ้นตามกลไกของตลาด รวมไปถึงความกังวลในเรื่องสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้มีการค้นคว้าหาพลังงานทางเลือกใหม่เพื่อทดแทนการใช้พลังงานปิโตรเลียม เชื้อเพลิงทางชีวภาพเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ ไขมันจากสัตว์ที่นิยมนำมาประกอบอาหารคือ ไขมันหมู เนื่องจาก มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไม่มีไขมันทรานส์ที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและโรคหัวใจ ไขมันสัตว์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกมองข้ามและไม่นิยมนำมาประกอบอาหารคือ ไขมันวัว ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญที่จะศึกษาเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ทดแทนพลังงานฟอสซิลเนื่องจากหาง่ายและมีราคาถูก

ตัวอย่างการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากไขมันสัตว์ ได้แก่ กระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชัน (transesterification) ไขมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ กลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน หรือ ไบโอดีเซล กระบวนการนี้มีข้อดีคือ ใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาดำ (60-70 องศาเซลเซียส)[1] กระบวนการไม่ซับซ้อน ไบโอดีเซลที่ได้สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ แต่ยังมีปัญหาบางประการสำหรับ กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันคือ น้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องมีความบริสุทธิ์มากเพียงพอ มีปริมาณของกรดไขมันอิสระและน้ำที่ต่ำ ไบโอดีเซลที่ได้ยังมีความหนืดและมีปริมาณของออกซิเจนที่สูง ทำให้มีค่าความร้อนที่ต่ำ ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้น้ำล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออก ก่อให้เกิดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ยากต่อการกำจัดและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม แม้ว่าผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ได้จะเป็นกลีเซอรอลที่สามารถนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ แต่กลีเซอรอลนั้นมีความบริสุทธิ์ต่ำ ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น จึงทำให้การนำไปใช้ประโยชน์น้อย การสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ไขมันพืชและสัตว์ในที่อับอากาศหรือปราศจากออกซิเจน เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวทางความร้อน โดยทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนที่สร้างพันธะกับออกซิเจน 2 อะตอม เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน[2] ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-500 องศาเซลเซียส สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้มีองค์ประกอบ และจำนวนอะตอมคาร์บอนใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสามารถแบ่งน้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็น 5 องค์ประกอบ คือ แก๊สไฮโดรคาร์บอนเบา (hydrocarbon gas) แนฟทา (naphtha) เคโรซีน (kerosene) แก๊สออยล์ (gas oil) และกากน้ำมัน (long residue)

กระบวนการไพโรไลซิสได้รับความสนใจ ในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงเหลว เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ สามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ หรือกำจัดน้ำออกจากโมเลกุล กระบวนการไพโรไลซิสใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalyst) สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ไม่ต้องมีกระบวนการล้างผลิตภัณฑ์ จึงไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย มีของเสียและผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเกิดขึ้นทำให้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะมีสมบัติใกล้เคียงกับการนำไปใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ความหนืดต่ำ จึงสามารถนำไปใช้ได้แทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ สนใจที่จะสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากไขมันวัวผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบลูกผสมระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ ที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีออกซิเจนชั้นผสมด้วยวิธีเชิงฟิสิกส์กับถ่านกัมมันต์ที่ส่งเสริมให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเพาะ เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์เพราะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทนความร้อน มีสถานะเป็นของแข็ง สีขาว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา ดีคาร์บอกซิเลชัน เปลี่ยนน้ำมันจำพวกน้ำมันพืชและสัตว์ให้เป็นน้ำมัน Biofuels ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นของเหลวที่มีสมบัติใกล้เคียงกับการนำไปใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสูง[3] ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์เป็นหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) โดยทั่วไปคล้ายกับหินปูน (CaCO_3) โครงสร้างผลึกเป็นผลึกแบบ rhombohedral[1] กระบวนการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ จะเข้าปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันพืชและสัตว์ กลายเป็นคาร์บอเนต (MgCO_3 , CaCO_3) ทำให้กรดไขมันแตกตัวเป็นสายไฮโดรคาร์บอน[2] และถ่านกัมมันต์ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอน มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ อาจอยู่ในรูปของผง หรือเม็ดได้ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็ก มีสมบัติการดูดซับที่ดี เมื่อถ่านกัมมันต์ ผ่านกระบวนการกระตุ้นจะทำให้มีพื้นที่ผิวสูงและทำให้มีความจำเพาะในการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์[3] ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเชิงเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาลูกผสมแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และโดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 [1] โดยใช้วิธีการทดลองแบบเปลี่ยนแปลงสภาวะ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งที่มีผลต่อการแตกตัวของไขมันวัวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

หาอิทธิพลของตัวแปรพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโคโลไมต์ที่ผสมถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ได้ภาวะอุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสไขมันวัวที่ห้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ดีที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถอธิบายอิทธิพลของตัวแปรดำเนินการพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโคโลไมต์ที่ผสมด้วยถ่านกัมมันต์ต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นได้

1.4.2 ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปิโตรเลียม

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี และสืบค้นรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 วางแผนงานของการวิจัย กำหนดขั้นตอน และวิธีการทดลอง

1.5.3 จัดหา และเตรียมวัสดุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์การทดลอง

1.5.4 ศึกษาการใช้เครื่องปฏิกรณ์ และข้อมูลทางเทคนิค

1.5.5 เตรียมสารตั้งต้น ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของสารตั้งต้น

1.5.5.1 วิเคราะห์ห้องค์ประกอบกรดไขมันของไขมันวัวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)

1.5.5.2 วิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายทางความร้อนของไขมันวัวด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermo gravimetric/Differential Thermal Analysis, TG-DTA)

1.5.5.3 ศึกษาองค์ประกอบไขมันวัวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (Simulated Distillation gas chromatography, DGC)

1.5.6 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์โดยอบแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยตู้อบ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและเก็บในตู้ดูดความชื้น เตรียมโคโลไมต์โดยการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง[4] แล้วเก็บในตู้ดูดความชื้น ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา

แมกนีเซียมออกไซด์กับถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราส่วน 1:1 และ ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์กับถ่านกัมมันต์อัตราส่วน 1:1 [1]

1.5.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ การหาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของแก๊สไนโตรเจน (N_2 physisorption measurement) และหาองค์ประกอบออกไซด์เชิงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

1.5.8 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสไขมันวัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

1.5.8.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 380, 400, 420 และ 440 องศาเซลเซียสของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้น และเลือกอุณหภูมิที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุด

1.5.8.2 ศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30, 45, 60 และ 75 นาทีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้น และเลือกเวลาที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุด

1.5.8.3 ศึกษาผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ไม่เต็ม, 1 และ 5 บาร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้น และเลือกภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุด

1.5.8.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0, 1, 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้น และเลือกภาวะที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุด

1.5.9 ดำเนินการทดลอง

1.5.9.1 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)

1.5.9.2 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector (GC-TCD) และ Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID)

1.5.10 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปิโตรเลียม

ปิโตรเลียม[5] คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน และไฮโดรเจน โดยอาจมีธาตุอื่น เช่น กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจนปนอยู่ด้วย ปิโตรเลียมมีได้ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปิโตรเลียมเอง พลังงานความร้อน และความกดดันตามสภาพแวดล้อมที่มีปิโตรเลียมผสมอยู่ ปิโตรเลียมแบ่งตามสถานะตามธรรมชาติได้ 2 ชนิด

2.1.1 น้ำมันดิบ [6, 7]

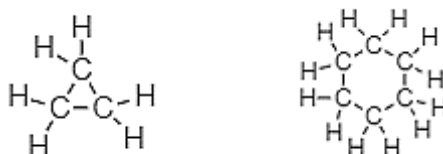
น้ำมันดิบมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันมาก โดยขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมัน ส่วนใหญ่มีสีดำถึงสีน้ำตาลเข้ม แหล่งกักเก็บน้ำมันดิบมักพบร่วมกับแก๊สธรรมชาติ ที่ความหนาแน่นน้อยกว่า เกิดเป็นแหล่งปิโตรเลียมทั้งแก๊สและน้ำมัน (gas cap) เหนือปิโตรเลียม น้ำมันดิบมีสถานะตามธรรมชาติเป็นของเหลว ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามคุณสมบัติ และชนิดขององค์ประกอบทางเคมีของไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบคือ

พาราฟิน (paraffin) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว มีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ตรง มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ C_nH_{2n+2} เช่น มีเทน (methane, CH_4) อีเทน (ethane, C_2H_6) เป็นต้น แสดงดังรูป 2.1



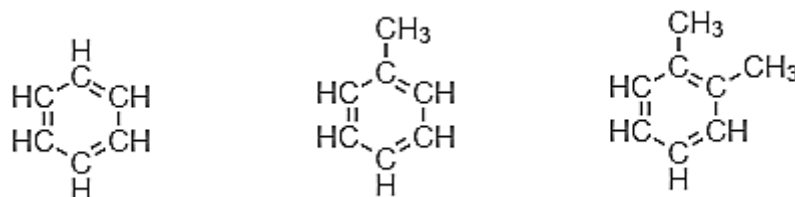
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน

แนฟทีน (naphthene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวมีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นวง มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ C_nH_{2n} เช่น ไซโคลเพนเทน (cyclopentane, C_5H_{10}) และไซโคลเฮกเซน (cyclohexane, C_6H_{12}) แสดงดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแนฟทีน

แอโรแมติก (aromatic) มีโครงสร้างโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันเป็นวงไม่อิ่มตัว มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ C_nH_{2n-6} เช่น เบนซีน (benzene, C_6H_6), โทลูอิน (toluene, C_7H_8) และไซลีน (xylene, C_8H_{10})



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติก

ปิโตรเลียมส่วนใหญ่ใช้เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สโซลีน ซึ่งเป็นแหล่ง “พลังงานปฐมภูมิ” ที่มีความสำคัญ ถึงร้อยละ 84 โดยปริมาตรของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในปิโตรเลียมถูกเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียม รวมทั้งแก๊สโซลีน ดีเซล น้ำมันเจ็ต น้ำมันให้ความร้อน และน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ ตลอดจนแก๊สปิโตรเลียมเหลว น้ำมันดิบที่มีโครงสร้างทางเคมีระดับความหนาแน่นต่ำ ให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากที่สุด แต่แหล่งสำรองน้ำมันที่มีความหนาแน่นทางโครงสร้างเคมีระดับต่ำและกลางของโลกได้หมดไปแล้ว โรงกลั่นน้ำมันจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนน้ำมันหนักและยางมะตอยเพิ่มขึ้น โดยใช้วิธีการอันซับซ้อนและเทคโนโลยีขั้นสูง ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลก น้ำมันดิบมีองค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอนมากเกินไปและไฮโดรเจนไม่เพียงพอ กระบวนการเหล่านี้โดยทั่วไปแล้วมีทั้งกระบวนการนำคาร์บอนออกจากโมเลกุลหรือการเพิ่มไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุล และกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (fluid catalytic cracking) เพื่อเปลี่ยนโมเลกุลที่ยาวและซับซ้อนในน้ำมันเป็นโมเลกุลขนาดสั้น

การขนส่งของน้ำมันทำได้ง่ายและค่อนข้างสมบูรณ์ เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันมีสูงทำให้น้ำมันกลายเป็นพลังงานที่สำคัญของโลกตั้งแต่กลางทศวรรษ 1950 ปิโตรเลียมยังเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เคมีหลายชนิด รวมทั้ง แก๊สซิเมนต์ ตัวทำละลาย ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และพลาสติก ปริมาตรของไฮโดรเจนที่ไม่ได้ใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงาน ร้อยละ 16 ถูกเปลี่ยนมาเป็นวัตถุดิบเหล่านี้ ปิโตรเลียมพบในชั้นหินเนื้อพรุนในชั้นหินบางพื้นที่ของเปลือกโลก นอกจากนี้ยังมีปิโตรเลียมในทรายน้ำมัน การบริโภคน้ำมันในปัจจุบันอยู่ที่ 84 ล้านบาร์เรลต่อวัน (13.4×10^6 ม.3) หรือ 4.9 กิโลเมตรต่อปี ทำให้ปริมาณน้ำมันคงเหลือสามารถใช้ต่อไปได้อีก 120 ปี หากความต้องการในปัจจุบันคงที่

2.1.2 แก๊สธรรมชาติ [7]

แก๊สธรรมชาติเป็นแก๊สเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้ เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซล แก๊สธรรมชาติสำหรับยานพาหนะ (Natural Gas for Vehicle หรือ NGV) โดยทั่วไปแก๊ส NGV คือแก๊สธรรมชาติที่ถูกอัดจนมีความดันสูง

คุณสมบัติโดยทั่วไปของแก๊ส NGV

มีส่วนของอะตอมคาร์บอนน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ มีคุณสมบัติเป็นแก๊สทำให้การเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์กว่า และปริมาณไอเสีย ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ใช้แก๊สธรรมชาติที่มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อเพลิงอื่น

เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่ก่อให้เกิดควันดำหรือสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพประชาชน จึงสามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งนับวันจะยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น

แก๊สธรรมชาติเป็นปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่มีอยู่ทั่วไปในโลกตั้งแต่โบราณกาลแล้ว หลายล้านปีก่อนพื้นผิวโลกส่วนใหญ่เต็มไปด้วยสัตว์และพืชนานาพันธุ์ เมื่อสัตว์และพืชตายลงก็จะทิ้งซากทับถมกับโคลนทราย ที่ก้นทะเลช้าแล้วช้าเล่า ซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ ต่อมาชั้นซากสิ่งมีชีวิต โคลนทรายและกากตะกอนเหล่านี้ก็กดอัดกันแน่นจนกลายเป็นหินชั้น หรือเรียกว่าหินดินดาน หินตะกอน ส่วนซากพืชของพืชและสัตว์แปรสภาพเป็นแก๊สและน้ำมันเนื่องด้วยความร้อน ความกดดัน และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่ซับซ้อนบนผิวโลก ซากพืชซากสัตว์รวมตัวกันขึ้นเป็นสารประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลัก แหล่งกักเก็บปิโตรเลียมเกิดจากการปรับตัวของเปลือกโลก สภาพของชั้นหินจะเกิดการโค้งงอ เลื่อนตัวออกจากกัน ทำให้ปิโตรเลียมปิโตรเลียมที่สะสมอยู่ในชั้นหินเดิมถูกแรงถูกบีบอัดให้เคลื่อนตัวอยู่ในโครงสร้างชั้นหินที่มีรูพรุน เปรียบเสมือนน้ำอยู่ในฟองน้ำ กลายเป็นแหล่งน้ำมันดิบหรือแก๊สธรรมชาติ ซึ่งอยู่ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 100 ฟุต จนถึงหลายกิโลเมตร สารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของถ่านหิน น้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ

ประเทศไทยมีการสำรวจพบแหล่งแก๊สธรรมชาติที่อ่าวไทย เมื่อปี พ.ศ. 2524 โดยการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดแทนการใช้ถ่านหินและน้ำมันเตาที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

การนำแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย เข้ามาใช้เป็นการพึ่งพาพลังงานที่มีอยู่ในประเทศอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด คุณภาพสูง ราคาถูก ทำให้ปริมาณการใช้แก๊สธรรมชาติสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันภาครัฐ และเอกชน ก็พยายามนำแก๊สธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกเหนือจากการนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและยานพาหนะ

แก๊สธรรมชาติ เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้า เนื่องจากมีต้นทุนการลงทุนที่ต่ำและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหินและน้ำมัน ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงหันมาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแก๊สธรรมชาติร้อยละ 50 ของเชื้อเพลิงที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า [8]

2.2 ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณภาพน้ำมัน [9]

ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงได้มาจาก “กระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม” ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีหลายชนิด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายและกว้างขวาง ทั้งทางตรงและทางอ้อม คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับการพัฒนาควบคู่กับพัฒนาการของเครื่องยนต์ที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้จึงขอยกตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันทั่วไป 2 ชนิดคือ น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล

2.2.1 น้ำมันเบนซิน [7]

น้ำมันเบนซิน เป็นน้ำมันที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่น และจากการแยกแก๊สธรรมชาติเหลวหรือแก๊สโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินจะเติมสารเพื่อเพิ่มคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น สารเพิ่มค่าออกเทน สารต้านทานการรวมตัวกับอากาศ สารป้องกันสนิม สารป้องกันการกัดกร่อนในถังน้ำมัน จึงเหมาะกับการใช้งานในยานพาหนะ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือเครื่องยนต์ทั่วไป เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องปั่นไฟ เป็นต้น

ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเบนซิน

1. ค่าออกเทน ค่าแสดงความสามารถในการต้านทานการชิงจุดระเบิดก่อนเวลาที่กำหนดในเครื่องยนต์เบนซิน หรือเป็นตัวเลขที่แสดงความต้านทานการน็อคของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน ก่อนกระบวนการเผาไหม้จะสิ้นสุดภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ การน็อคทำให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์แต่ละแบบมีค่าออกเทนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์
2. ปริมาณตะกั่ว แม้ในปัจจุบันจะไม่มีเติมตะกั่วในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนแล้ว แต่อาจมีการปนเปื้อนจากน้ำมันดิบ หรือกระบวนการในการผลิตได้ จึงต้องมีการกำหนดปริมาณมาตรฐานเพื่อควบคุมปริมาณไว้
3. ปริมาณกำมะถัน เมื่อกำมะถันในน้ำมันถูกเผาไหม้จะสามารถกัดกร่อนเครื่องยนต์ให้สึกหรอ นอกจากนั้นยังเป็นฝุ่นทำให้เครื่องยนต์สกปรกและเป็นมลพิษทางอากาศ
4. ปริมาณฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสมักจะมาจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเบนซิน สามารถทำให้เครื่องกรองไอเสียชำรุดเสียหาย

5. การกักกรอง น้ำมันที่มีสิ่งปนเปื้อน เช่น กำมะถัน จะก่อให้เกิดการกักกรองชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ทำให้เครื่องยนต์สึกหรอ

6. เสถียรภาพต่อการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นค่าที่บอกลักษณะความสามารถของน้ำมันที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนแล้วได้อย่างเหนียว มีผลกระทบต่อห้องเผาไหม้

7. ปริมาณยางเหนียว เมื่อน้ำมันที่มีสารประกอบไนโตรเจน ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดยางเหนียว เป็นสิ่งสกปรกในห้องเผาไหม้

8. อัตราการระเหย อัตราการระเหย เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกว่าน้ำมันมีองค์ประกอบส่วนหนักเบาอย่างไร อัตราการระเหยน้ำมันมีผลต่อการสตาร์ทเครื่องยนต์ การเร่งเครื่องยนต์

9. ความดันไอความดันไอต้องไม่เกินมาตรฐานกำหนดเพื่อป้องกันปัญหาไอน้ำมันอุทขขวางต่อทางเดินน้ำมัน

10. ปริมาณสารเบนซิน เบนซินเป็นสารจำพวกแอโรมาติก สารแอโรแมติก มีค่าออกเทนสูง แต่มีพิษต่อระบบทางเดินหายใจ

11. ปริมาณสารแอโรแมติก สารแอโรแมติกจะมีค่าออกเทนสูง แต่มีสารแอโรแมติกบ้างตัว เช่น เบนซิน โพลีไซคลิกแอโรแมติก ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็ง

12. สารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันเบนซิน เติมเพื่อเพิ่มคุณภาพในการใช้งาน ประกอบด้วยสารเหล่านี้

- สารทำความสะอาด ช่วยชะล้างสิ่งสกปรกและตกค้างในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง
- สารต้านการรวมตัวกับอากาศ ช่วยป้องกันไม่ให้เบนซินรวมตัวกับออกซิเจน
- สารป้องกันสนิมและการกัดกร่อน

2.2.2 น้ำมันดีเซล [9, 10]

น้ำมันดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีช่วงจุดเดือดและความชื้นใต้อุณหภูมิสูงกว่าเบนซิน พื้นฐานการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศ อย่างมากในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ แตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซินที่เป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียน

น้ำมันดีเซลที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว หรือที่เรียกว่า โซล่า มักใช้กับยานยนต์ เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า หรือที่เรียกว่า น้ำมันซีโล้ มักใช้กับเรือขนาดใหญ่และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

อันตรายจากน้ำมันดีเซลคล้ายกับอันตรายจากน้ำมันเบนซิน เพียงแต่ในน้ำมันดีเซลไม่มีองค์ประกอบของตะกั่ว

ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

1. การติดไฟ เป็นค่าบ่งบอกความสามารถในการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ และป้องกันการน็อคเครื่องยนต์ระหว่างทาง
2. ความสะอาด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของน้ำมันดีเซล โดยต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังเผาไหม้ เช่น ต้องมีตะกอน น้ำ กากและเขม่าให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. การกระจายตัวของฝอย ความหนืดหรือความข้นใสจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของการกระจายตัวของน้ำมันดีเซล
4. อัตราการระเหยตัว บอกถึงการมีผลต่อ จุดเดือด จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ
5. สี โดยปกติ สีของน้ำมันดีเซลไม่ได้เป็นตัวสำคัญที่กำหนดคุณภาพของน้ำมัน ส่วนใหญ่น้ำมันดีเซลจะมีสีชาอ่อน แต่ในกรณีที่สีเปลี่ยนแปลงไปมาก เช่น เป็นสีเขียว หรือสีดำคล้ำ ควรตั้งข้อสังเกตว่ามีการปลอมปนของน้ำมันก๊าด น้ำมันเตา เป็นต้น
6. ปริมาณกำมะถัน หากสูงเกินไปย่อมก่อให้เกิดการกัดกร่อนเครื่องยนต์ ลักษณะการกัดกร่อน ภายหลังการเผาไหม้สารประกอบกำมะถัน จะเกิดแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์ รวมกับน้ำเกิดสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด กัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ สารประกอบกำมะถันที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนจะอยู่ในรูปแบบ เช่น เมอร์แคปแทน
7. ความหนาแน่นและความข้นใส มีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด

2.3 พลังงานทดแทน[11, 12]

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ยกตัวอย่างเช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น พลังงานทดแทนอีกหนึ่งประเภทคือ แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล เป็นต้น การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดลอง ทดสอบ พัฒนา ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ และชีวมวล เป็นต้น

เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต

ปัจจุบันการวางแผนการใช้เอทานอล เพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันเบนซินสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกันการวางแผนที่จะนำไบโอดีเซลมาทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลยังมีข้อจำกัดอยู่มาก เนื่องมาจากการที่ประเทศไทยมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ไม่เพียงพอ ดังนั้น ในการวิจัยและพัฒนา “เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซล” จึงมีความสำคัญ

2.4 ไขมันสัตว์ [13]

สัตว์มีไขมันสะสมร้อยละ 12-20 ของน้ำหนัก โดยกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกาย เซลล์ไขมันสัตว์เป็นทรงกลมขนาดใหญ่สะสมอยู่ใต้กล้ามเนื้อบริเวณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน การสร้างเซลล์ไขมันสัตว์เกิดได้ตลอดเวลา เมื่อสัตว์เจริญเติบโตเซลล์ไขมันจะมีขนาดใหญ่ตามขนาดของร่างกาย สัตว์แต่ละชนิดมีไขมันสะสมไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อาหาร ถิ่นอาศัย ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันในสัตว์แต่ละชนิดทำให้มีปริมาณแตกต่างกัน

2.4.1 ไขมันหมู [13, 14]

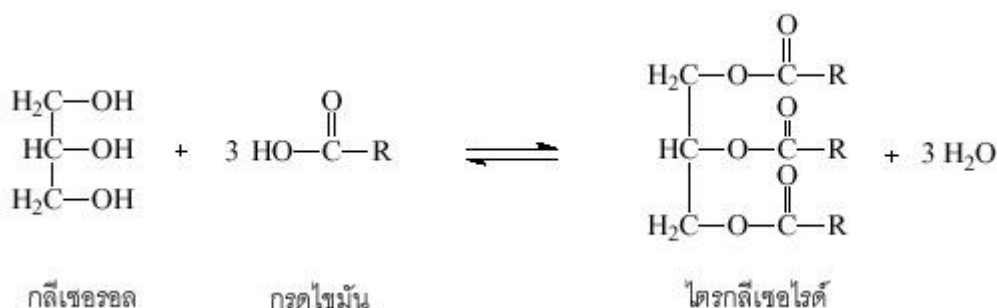
ไขมันหมูมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 60 และมีกรดไขมันชนิดโอเลอิกซึ่งเป็นไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย บำรุงผิวและช่วยปรับฮอร์โมนต่างๆในร่างกาย คนมักนิยมนำมาประกอบอาหารและแปรรูปเพราะเป็นอาหารที่ดีต่อสุขภาพ

2.4.2 ไขมันวัว [15]

ไขมันวัว เป็นไขมันสัตว์ที่คนมักมองข้าม ไม่นิยมนำมาประกอบอาหาร เนื่องจากมีกลิ่นแรง ไขมันอิ่มตัวสูง ประกอบกับปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ตระหนักถึงอันตรายจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลมากขึ้น การบริโภคมากจะก่อให้เกิดปัญหาด้านการควบคุมน้ำหนักและ ทำให้ส่งผลเสียต่อร่างกายหลายประการ เช่น เป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดอุดตัน โรคมะเร็ง เป็นต้น

ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบทั่วไปของไขมันวัว

ไขมันวัวเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยกรดไขมันหรือไตรกลีเซอไรด์ ประมาณร้อยละ 95 ถึง 99.8 โดยน้ำหนัก[16] ส่วนประกอบที่เหลือเป็นส่วนสารอินทรีย์อื่นๆที่ปนเปื้อนอยู่ในไตรกลีเซอไรด์



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของไขมันวัว

ปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ [2]

องค์ประกอบของไขมันวัวส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ มีขั้นตอนการสลายตัวดังนี้

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ของไตรกลีเซอไรด์เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ
2. ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของกลีเซอรอลเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนและน้ำ
3. ปฏิกิริยาการตั้งหมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมันอิสระ เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกิริยาเหม็นหืนในไขมันวัว [17]

การเหม็นหืนของไขมันวัวมีสาเหตุเกิดจาก

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน ได้แอลดีไฮด์และกรดไขมันโมเลกุลเล็ก ซึ่งมีกลิ่นเหม็นหืน
2. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างไขมันกับน้ำ โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นเหม็น

ชนิดของกรดไขมัน [18]

กรดไขมันเกิดจากการนำไตรกลีเซอไรด์มาไฮโดรไลซ์เกิดเป็นโซ่ตรง และมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 12-24 อะตอม กรดไขมันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีประมาณ 40 ชนิด แบ่งประเภทได้ดังนี้

1. กรดไขมันอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ หรือ $C_nH_{2n+1}COOH$ ชนิดที่พบมากในไขมันวัว ได้แก่ กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก เป็นต้น
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคู่อย่างน้อย 1 พันธะ ซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอนน้อยกว่าไขมันอิ่มตัว 2 อะตอม มีสูตรทั่วไป $C_nH_{2n-2}O_2$ หรือ $C_nH_{2n-1}COOH$ ชนิดที่พบมากในไขมันวัว ได้แก่ กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิก เป็นต้น

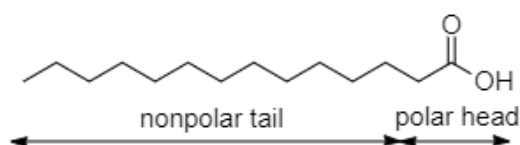
สมบัติและโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวบางชนิด [17]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติและโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

ชื่อ	จำนวนคาร์บอน	โครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดไขมันอิ่มตัว			
กรดลอริก	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44
กรดไมริสติก	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54
กรดปาล์มติก	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	53
กรดสเตียริก	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	70
กรดอะราคิไดนิก	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
กรดปาล์มติก	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	32
กรดโอเลอิก	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13
กรดไลโนเลอิก	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ (cis)	-5
กรดไลโนเลอิก	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ (cis, cis)	-11
กรดอะราคิไดนิก	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ (all cis)	-50

สมบัติทางกายภาพของกรดไขมัน [17]

- สมบัติด้านโครงสร้าง กรดไขมันมีโครงสร้างทางเคมีปลายด้านหนึ่งเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีขั้ว อีกปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างกรดไขมัน

2. สมบัติด้านจุดเดือดและจุดหลอมเหลว กรดไขมันอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนหรือเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมคาร์บอน ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าของกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันแต่มีพันธะคู่ต่างกัน จะพบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าจะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่า กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน แต่มีจำนวนพันธะคู่ต่างกัน จำนวนพันธะคู่ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวลดลง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบองค์ประกอบร้อยละโดยมวลกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของไขมันหมูและไขมันวัว

ชนิดของกรดไขมัน	ไขมันหมู	ไขมันวัว
ชนิดไม่อิ่มตัว (ร้อยละโดยมวล)		
ไลโนเลนิก	-	0.50
ไลโนเลอิก	6.00	1.80
โอเลอิก	47.5	41.8
ปริมาณรวม	53.5	44.1
ชนิดอิ่มตัว (ร้อยละโดยมวล)		
สเตียริก	11.9	24.1
ปาล์มิติก	28.3	24.9
ปริมาณรวม	40.2	49.0

2.5 กระบวนการแตกตัว (Cracking) [19]

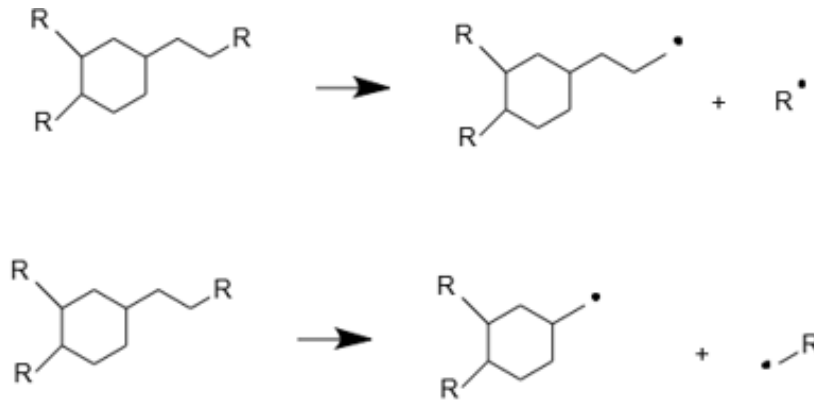
เป็นกระบวนการแยกสลาย ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กลง แบ่งออกเป็น

2.5.1 กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) [5]

การเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยใช้อุณหภูมิสูง การแตกตัวชนิดนี้ควรเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่สูงหรือต่ำจนเกินไปจึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนจัดเป็นปฏิกิริยาประเภท ราบดิคอลเสรีหรือฟรียาดีคอล (Free radical) เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและคอนเดนเซชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนมากได้ตะกอนน้ำมันที่มีความหนืดสูง นอกจากนั้นการทำปฏิกิริยานี้ยังทำให้เกิดโค้กขึ้น

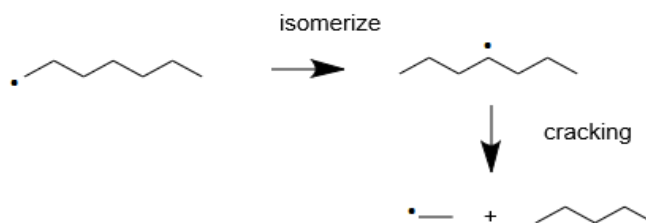
ขั้นตอนการแตกตัวด้วยความร้อนประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. การเริ่มต้น (initiation) คือ การเกิดอนุมูลอิสระขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้แขนยึดระหว่างอะตอมคาร์บอนแตกออกจากกัน และเกิดเป็นอนุมูลอิสระอันเป็นต้นกำเนิดของปฏิกิริยาอื่นๆต่อไป



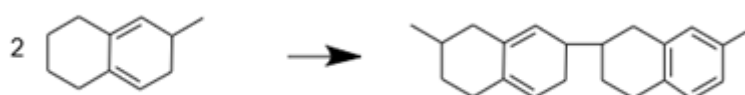
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างปฏิกิริยา initiation

2. การเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain-Carrying) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง คือการเปลี่ยนรูปไอโซเมอร์ (isomerize) และแตกตัว (cracking) เป็นโมเลกุลย่อยต่อไป



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างปฏิกิริยา Chain-Carrying

3. การหยุดปฏิกิริยา (Termination) อนุมูลอิสระจะหยุดปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง โดยการทำปฏิกิริยารวมเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ขึ้น



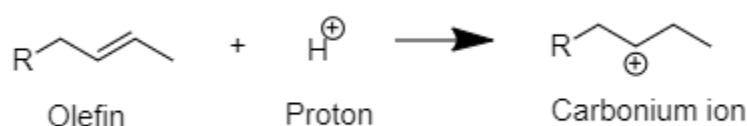
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างปฏิกิริยา Termination

2.5.2 กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) [1, 17]

กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา คือกระบวนการที่เกิดผ่านคาร์โบเนียมอิออน (Carbonium ion) ซึ่งตรงข้ามกับกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งอาศัยฟรีแรดิคอล (Free Radical) ฟรีแรดิคอลของไฮโดรคาร์บอนเกิดจากการที่ไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมไป แต่ตัวมันจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ส่วนคาร์โบเนียมอิออนเกิดจากการที่ไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรอิออนที่มีประจุลบไป ตัวมันเองจึงมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า

ขั้นตอนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

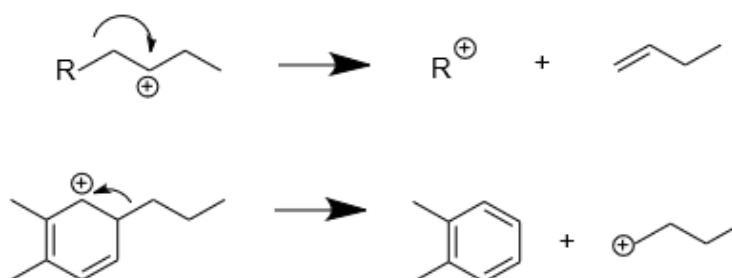
1. การเกิดคาร์โบเนียมอิออน ซึ่งโปรตอนจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีส่วนสำคัญกับคาร์โบเนียมอิออน อาจเกิดขึ้นจากโอเลฟิน พาราฟินส์หรือแอโรแมติก ดังแสดงในรูป 2.8



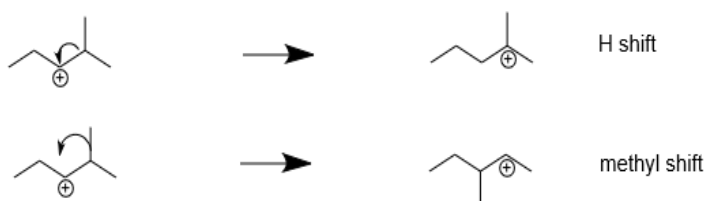
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเกิดคาร์โบเนียมอิออน

2. ปฏิกิริยาห่วงโซ่ของคาร์โบเนียมอิออน ประกอบด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

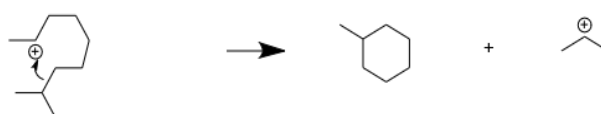
ปฏิกิริยา Cracking



ปฏิกิริยา Isomerization



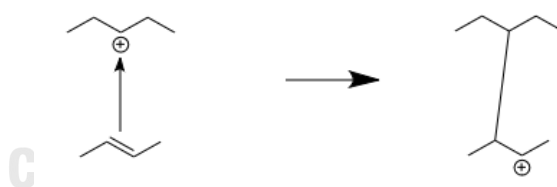
ปฏิกิริยา Cyclization



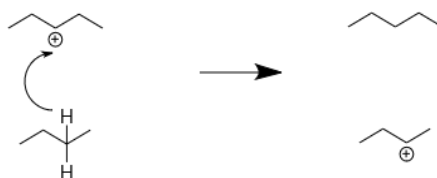
ปฏิกิริยา Olefin formation



ปฏิกิริยา Polymerization



ปฏิกิริยา Intermolecular exchange



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเกิดคาร์โบเนียมไอออน

2.5.3 กระบวนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) [20, 21]

การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการรวมระหว่างการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจนให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักได้เป็นพาราฟินส์และแนฟทีน จึงกล่าวได้ว่าไฮโดรเจนถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี 2 หน้าที่หรือ dual function คือ มีหน้าที่ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนโมเลกุลและมีหน้าช่วยเติมไฮโดรเจนในโมเลกุล

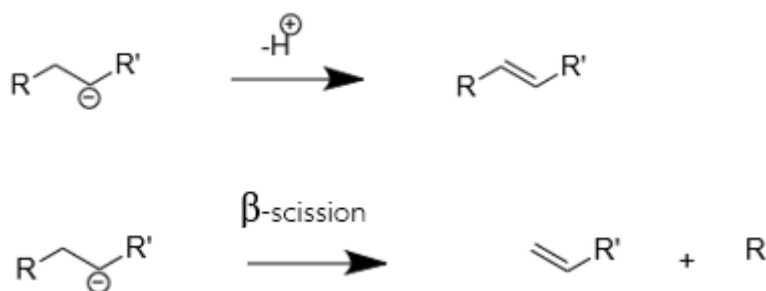
ขั้นตอนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

เกิดการบ่อนิยมไอออนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



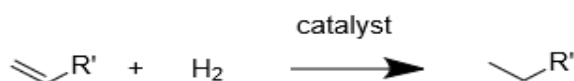
มีการจัดเรียงตัวใหม่โดยการกำจัดโปรตอนในโมเลกุลของโอเลฟินหรือเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งบีต้า

(β -scission)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

เติมไฮโดรเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโมเลกุล



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม

2.6 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) [22]

กระบวนการไพโรไลซิส คือกระบวนการแตกสลายทางความร้อนเคมีของสารอินทรีย์ด้วยความร้อนหรือปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลงได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ขั้นแรก การสลายตัวของสารที่ระเหยได้ง่ายออกจากวัตถุดิบ ขั้นที่สอง การแตกตัวของวัตถุดิบ โดยองค์ประกอบที่แตกตัวได้ที่ภาวะที่ใช้จะแตกตัวให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง จนเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ ในกระบวนการไพโรไลซิสมักทำที่อุณหภูมิ 400-1,000 องศาเซลเซียส การเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับชนิด และพันธะเคมีที่อยู่ในสารประกอบนั้นๆ

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา [23, 24]

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือสารช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาให้ต่ำลง ข้อดีของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ คือ

1. ช่วยในการแตกตัวของวัตถุดิบ
2. ช่วยเลือกผลิตภัณฑ์ได้อย่างเฉพาะเจาะจง
3. ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์
4. ช่วยให้สัดส่วนของกากน้ำมันน้อยลง
5. ช่วยลดมลพิษบางตัวที่เกิดจากการปนเปื้อนของวัตถุดิบ

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มี 2 ประเภท คือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคที่แตกต่างกับสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งที่เป็นของแข็งในการเร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นที่อยู่ในวัฏภาคแก๊สหรือของเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากันที่ผิวของตัวปฏิกิริยา

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา [1]

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญเช่น พื้นผิว (surface area) ปริมาตรรูพรุน (pore volume) ขนาดรูพรุน (pore size) และการกระจายตัวของรูพรุน (pore size distribution)

พื้นที่ผิว (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยามีความสำคัญมาก เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยา การเพิ่มพื้นที่ผิวทำได้ด้วยการลดขนาดของวัสดุที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่วิธีนี้ทำได้ยาก วิธีเพิ่มพื้นที่ผิวที่ดีที่สุดจึงได้แก่ การทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดโพรงเล็กๆจำนวนมาก

ขนาดและจำนวนรูพรุน (pore and number of pores) บอกปริมาณพื้นที่ผิวภายในตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งที่มีพื้นที่ผิวสูงจะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้การกระจายตัวของตำแหน่งกัมมันต์ (active site) มีสูง ขนาดของรูพรุนที่เลือกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับโมเลกุลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากขนาดของโพรงมีความสำคัญต่อความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขนาดของโพรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. โพรงชนิดไมโครพอร์ กลุ่มของโพรงเล็กกว่า 2 นาโนเมตร หรือรัศมีเฉลี่ยของโพรงน้อยกว่า 1 นาโนเมตร
2. โพรงชนิดเมโซพอร์ กลุ่มที่มีขนาดโพรงระหว่าง 2 และ 50 นาโนเมตร หรือรัศมีเฉลี่ยของโพรงระหว่าง 1 และ 25 นาโนเมตร
3. โพรงชนิดแมโครพอร์ กลุ่มที่มีขนาดโพรงใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร หรือมีรัศมีเฉลี่ยของโพรงใหญ่กว่า 25 นาโนเมตร

การดูดซับและการคายซับ [24]

การดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) เป็นขั้นตอนสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ การดูดซับคือ การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง ตัวดูดซับ (adsorbent) กับตัวถูกดูดซับ (adsorbate) บนตำแหน่งกัมมันต์ (active site) เพื่อให้โมเลกุลเหล่านั้น เกิดปฏิกิริยาต่อไป การคายซับ คือ การแตกออกของพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ทำให้ตำแหน่งกัมมันต์กลับคืนมา การดูดซับแบ่งออกเป็น การดูดซับทางกายภาพ และดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (vander waals forces) มีค่าความร้อนของการดูดซับน้อยกว่า 25 กิโลจูลต่อโมล เป็นกระบวนการคายความร้อน ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ และไม่มีการแตกพันธะ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของตัวดูดซับ

การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) การดูดซับทางเคมีอย่างง่าย คือ การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) โดยตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมสร้างเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น ด้วยพันธะเคมีที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงถึง 60-85 กิโลจูลต่อโมล ไม่

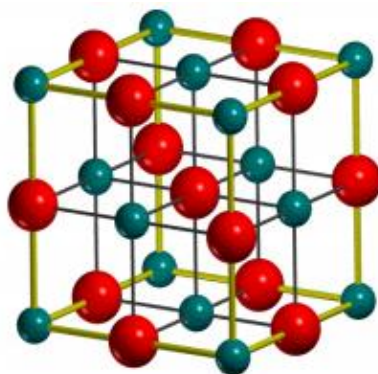
สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับหรือตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำได้ยาก

ตารางที่ 2.3 การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับเชิงเคมี [25]

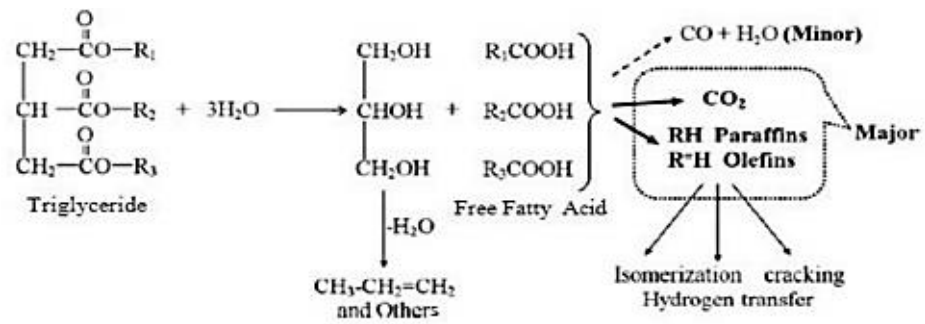
ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
ค่าความร้อนการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50 ถึง 400 กิโลจูลต่อโมล
อุณหภูมิที่เกิดจากการดูดซับ	ต่ำ	สูง
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
รูปแบบชั้นในการดูดซับ	ดูดซับแบบชั้นเดียวและดูดซับได้หลายชั้น	ดูดซับแบบชั้นเดียว
อัตราเร็วในการดูดซับ	เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว	เกิดขึ้นอย่างช้าๆ

2.7.1 แมกนีเซียมออกไซด์ [26]

ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีความเป็นเบส ทนความร้อน มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูง ในปฏิกิริยาไพโรไลซิสของสารตั้งต้นประเภท ไตรกลีเซอไรด์ การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้ ในตอนแรกเมื่อให้ความร้อนแก่ไตรกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์จะสลายตัวให้องค์ประกอบของกรดไขมัน และกลีเซอรอล อิทธิพลของความร้อนจะส่งผลให้โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์สลายตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนนอกไซด์ ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) ตามลำดับ



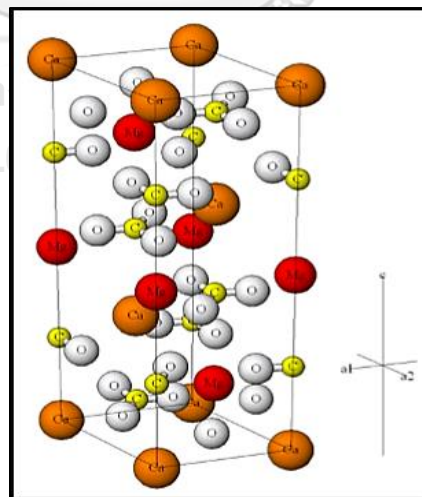
รูปที่ 2.12 โครงสร้างผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

2.7.2 โดโลไมต์ [27]

โดโลไมต์ (dolomite) เป็นแร่หรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต [CaMg(CO₃)₂] เป็นส่วนใหญ่ ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายหินปูน (CaCO₃) โดโลไมต์ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางรุนแรงนัก โดโลไมต์จะหนักและแข็งกว่าหินปูนเล็กน้อย มีหลายสีเช่น สีขาว สีเทาและเทาเข้ม เป็นต้น โดโลไมต์ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทุติยภูมิที่ทำให้อนุมูลแมกนีเซียมเข้าแทนที่อนุมูลแคลเซียมในโครงสร้างแร่เดิมได้ ในประเทศไทยพบมากในภูเขาหินปูน เกิดเป็นชั้น หินปูนโดโลไมต์ (dolomitic limestone) พบมากในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ประโยชน์ของโดโลไมต์เป็นสินแร่หลักของโลหะแมกนีเซียม มักใช้เป็นวัสดุทนไฟ ทำปูนซีเมนต์ ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับแก้วและกระจก โดโลไมต์มีโครงสร้างผลึกแบบ rhombohedral แสดงดังรูป 2.13



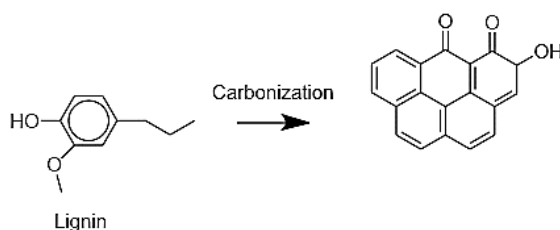
รูปที่ 2.14 โครงสร้างผลึกของโดโลไมต์

2.7.3 ถ่านกัมมันต์ [25]

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) คือผลิตภัณฑ์ของคาร์บอน ซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดกลางถึงเล็ก มีพื้นที่ดูดซับสูงทำให้มีสมบัติการดูดซับที่ดี ใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่น สีหรือแก๊ส โดยทั่วไป มักจะเลือกวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเป็นของเหลือทิ้งหรือมีราคาถูก มีปริมาณคาร์บอนสูง มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ มีปริมาณเถ้าต่ำและมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บไว้นานๆ โดยนำวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม มาผ่านกระบวนการกระตุ้นให้มีพื้นที่ผิวสูงที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีการจุในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก

การเตรียมถ่านกัมมันต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์ คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ด้วยการก่อกัมมันต์เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (surface area) หรือทำให้พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น กรรมวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบและสมบัติที่ต้องการ โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นแรกเรียกว่า การคาร์บอนไนซ์ (carbonization) เป็นการให้ความร้อนทำให้สารระเหยเกิดการสลายตัวเชิงความร้อนจนเหลือเหลือเฉพาะกากของแข็งในรูปคาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็ง เรียกว่า ถ่าน (charcoal) ส่วน ขั้นตอนที่สองเรียกว่า การก่อกัมมันต์ (activation) เป็นการทำให้ผิวถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 2.15 ปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์

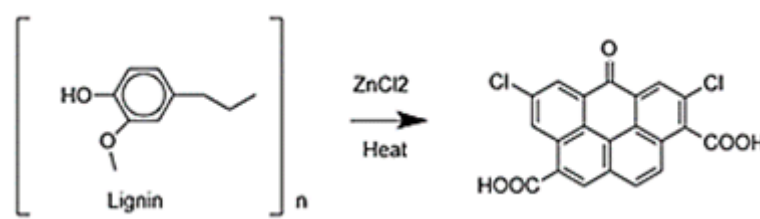
1. การคาร์บอนไนซ์ (carbonization)

การคาร์บอนไนซ์ถือเป็นการไพโรไลซิสอีกแบบหนึ่งเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงเพื่อไล่ความชื้นและสารที่ระเหยได้ง่ายออกจากโมเลกุลของถ่านกัมมันต์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์ถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่เป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น การคาร์บอนไนซ์ให้ได้ถ่านที่ต้องการสามารถปรับตัวแปรต่างๆได้ดังนี้ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน ตัวกลางของปฏิกิริยา เป็นต้น

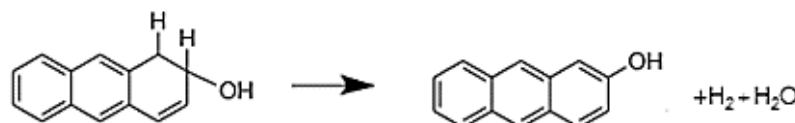
2. การกระตุ้นการก่อกัมมันต์ (activation)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

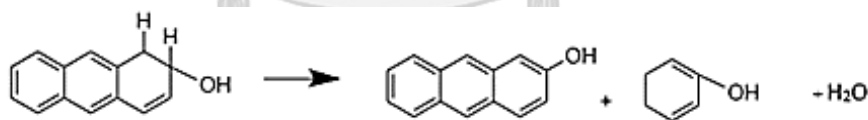
- กระตุ้นทางเคมี สารเคมีจะทำปฏิกิริยาบนผิวของคาร์บอน สารเคมีที่มักใช้ในการกระตุ้นทางเคมีคือ $ZnCl_2$ และ $NaCl$ กระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีทำให้ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดใหญ่
- กระตุ้นทางกายภาพ เป็นการทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ร่วมกับการใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ [25]



รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อกระตุ้นทางกายภาพ [25]

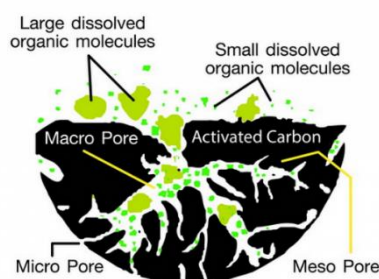


รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อกระตุ้นด้วยกายภาพโดยมีการกำจัดโมเลกุลสิ่งแปลกปลอม และได้ผลิตภัณฑ์ [25]

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ลักษณะรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์มีลักษณะจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ มีจำนวนมาก จัดเรียงตัวกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เปรียบเทียบเหมือนหลอดแก้วขนาดเล็กคล้ายหลอด (capillary tube) โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์ตามขนาดของรูพรุน ขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร ขนาดกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 2 ถึง 50 นาโน

เมตร และขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร การกระจายของขนาดของรูพรุนจะขึ้นกับวิธีการกระตุ้นและชนิดของวัสดุที่ใช้



รูปที่ 2.19 รูพรุนภายในถ่านกัมมันต์

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tani และคณะ[2] ศึกษาการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ ลงบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างชนิดกัน เพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันพืช โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักลงบนตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) ถ่านกัมมันต์ และตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 50 มิลลิลิตร ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 5-20 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวพา อัตราการป้อน 50 มิลลิลิตรต่ออนาที จากงานวิจัยพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้ได้เชื้อเพลิงเหลวสูงที่สุด คือร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนมาก ทำให้ส่งเสริมปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้ดี ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

จารุ นาถกรณกุล[1] ศึกษาการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตรทำการศึกษาที่ภาวะต่อไปนี้ คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400-450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมัน 3-9 มิลลิลิตรต่ออนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50-150 มิลลิลิตรต่ออนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30-60 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของดีเซล คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการป้อนน้ำมัน และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของดีเซลมากที่สุดที่ร้อยละ 70 โดยปริมาณ เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน

น้ำมัน 3 มิลลิลิตรต่อนาที่ อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 102.5 มิลลิลิตรต่อนาที่ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 48.2 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์

Fortes และคณะ[28] ศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากน้ำมันผลหมาก ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 700-800 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10, 20 และ 30 วินาที ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic) แอลดีไฮด์ (aldehyde) ไฮโดรคาร์บอน (cycloalkane) ไดอีน (diene) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอะตอมคาร์บอนที่ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชัน แอลคอกซีคาร์บอนิล (alkoxycarbonyl group, COOR) และยืนยันด้วย 2-propanal ที่พบในปริมาณมากซึ่งเกิดจากการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ ที่อยู่ในน้ำมันพืช

กรกช จันทโรสภาพิศ[17] ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไขวัวเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบแบตช์ ใช้การทดลองแบบแฟลททอเรียลสองระดับ อุณหภูมิที่ศึกษา 400-430 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30-90 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.25-1 โดยน้ำหนัก และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ จากงานวิจัยพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนของแนฟทา คือ อุณหภูมิ เวลา ในการทำปฏิกิริยา อัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยา และ อัตราการไหลระหว่างอุณหภูมิกับความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ มีสัดส่วนของแนฟทา เครโซลีน และดีเซลร้อยละ 33.68, 9.22 และ 21.00 โดยน้ำหนัก

เชษฐา จึงเจริญพาณิชย์[3] ศึกษาปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร ทำการศึกษาที่ภาวะอุณหภูมิ 380-430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว 60-180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 100-300 มิลลิลิตรต่อกรัม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30-60 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ ใช้การทดลองแบบแฟลททอเรียลสองระดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน พบว่าที่ภาวะการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์คือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันใช้แล้ว 66.60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อน

แก๊สตัวพา 100 มิลลิลิตรต่อนาที แลปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก จะได้ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว 74.78 โดยน้ำหนัก ผลได้ของเนฟทาร้อยละ 20.17 โดยน้ำหนัก ผลได้ของเคโรซีนร้อยละ 10.39 โดยน้ำหนัก และผลได้ของดีเซลร้อยละ 43.82 โดยน้ำหนัก

ฉัตรทิศา อ้อยใจ[4] ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลไซน์โดโลไมต์ สำหรับกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยพบว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลไซน์โดโลไมต์ที่เหมาะสม และได้พื้นที่ผิวมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสน้ำมันพืชใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ คือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลา 60 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.50 โดยน้ำหนักของน้ำมันพืชใช้แล้ว ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 55.01 โดยน้ำหนัก มีองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดเป็นเนฟทาร้อยละ 42.00 กากน้ำมันร้อยละ 8.00 และเมื่อทดสอบค่าความเป็นกรดพบว่ามีความเป็นกรด 0.50 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน



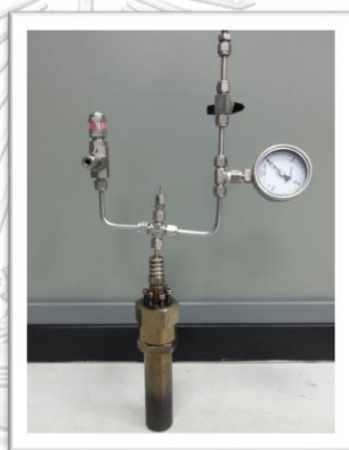
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโคโลไมต์ที่ผสมถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบที่เกิดขึ้น โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองได้ดังนี้

3.1 เครื่องปฏิกรณ์และส่วนประกอบ

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Micro reactor)

มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 70 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้า(Stainless steel 316) ด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊สและมีวาล์วนิรภัย มีชุดสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิระหว่างทำการทดลองภายใต้สภาวะความดัน 10 บาร์



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก 70 มิลลิลิตร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature Control)

ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปขดลวดความร้อน มีความสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถึง ± 15 องศาเซลเซียส

3.1.3 ขดลวดทนความร้อน injection

แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 350 วัตต์

3.1.4 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type)

ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลอง

3.1.5 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์

มีชุดมอเตอร์และควบคุมความเร็วรอบการแกว่งเครื่องปฏิกรณ์โดยชุดควบคุม

ความเร็ว



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลและชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์

3.1.6 ชุดกรองสุญญากาศ

เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศ แยกส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากส่วนที่
กากของแข็งโดยกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศและชุดเครื่องแก้ว

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.8 นาฬิกาจับเวลา

3.1.9 ตู้อบ

3.1.10 เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร ขวดใส่ตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น (Simulated Distillation gas chromatograph, DGC)

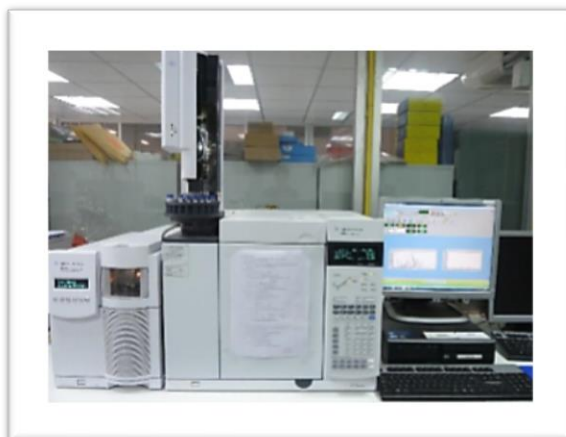
ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยการจำลองการกลั่นตามมาตรฐานการวิเคราะห์แบบ ASTM D 2887 ประกอบด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ รุ่น GC7890 ของบริษัท Agilent จำกัด มีคอลัมน์ DB-HT-SIMULATED (5 m x 0.530 mm) ของบริษัท J&W scientific



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่นและคอลัมน์ DB-1

3.2.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ รุ่น GC7890A มีเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น GCMS S975C เป็นดีเทคเตอร์ ของบริษัท Agilent จำกัด โดยใช้ capillary column ของบริษัท J&W Scientific จำกัด รุ่น HP-5MS มีองค์ประกอบของ Dimethylpolysiloxane และมีขนาด 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร หนา 0.25 ไมโครเมตร สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในช่วงอุณหภูมิ -60 ถึง 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.2.3 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน (CHNO/S analysis)

เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน รุ่น TruSpec CHNO/S ของบริษัท LECO จำกัดตามวิธีการในมาตรฐาน ASTM D3170



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ CHNO/S รุ่น TruSpec จากบริษัท LECO จำกัด

3.3 สารตั้งต้นและสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.3.1 ไขมันวัว

3.3.2 แมกนีเซียมออกไซด์จากบริษัท Panreac จำกัด

3.3.3 โดโลไมต์จากบริษัท แอล.เอส.เอ็ม.(1999) จำกัด

3.3.4 ถ่านกัมมันต์จากบริษัท Panreac จำกัด

3.3.5 แก๊สไฮโดรเจน (99.99%) ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตรจากบริษัท พีไอจี จำกัด

3.3.6 แก๊สไนโตรเจน ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตรจากบริษัท พีไอจี จำกัด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 เตรียมไขมันวัว

ให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนไขมันวัวก้อนสีขาวให้เป็นน้ำมันเหลวสีเหลืองใส เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิท อุณหภูมิห้อง ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศ

3.4.2 วิเคราะห์สมบัติไขมันวัว

3.4.2.1 วิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

3.4.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.4.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบไขมันวัวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.4.2.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.4.2.5 วิเคราะห์องค์ประกอบไขมันวัวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่นเพื่อทราบการกระจายองค์ประกอบไขมันวัวตามคาบจุดเดือด

3.4.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

เตรียมแมกนีเซียมออกไซด์โดยการนำแมกนีเซียมออกไซด์อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและเก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.4 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์

เตรียมดีโกลไมต์โดยทำการแคลไซน์ดีโกลไมต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [4] ทิ้งให้เย็นและเก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.5 ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา

ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์กับถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และตัวเร่งปฏิกิริยาดีโกลไมต์กับถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 [1]

3.4.6 วิเคราะห์สมบัติตัวเร่งปฏิกิริยา

3.4.6.1 วิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

3.4.6.2 วิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน

3.4.7 ออกแบบการทดลองโดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ

3.4.7.1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 380 400 420 และ 440 องศาเซลเซียส

3.4.7.2 เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 45 60 และ 75 นาที

3.4.7.3 ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 0 1 และ 5 บาร์

3.4.7.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาในหัวข้อ 3.4.3 3.4.4 และ 3.4.5 ปริมาณร้อยละ 1 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ แตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

3.4.8 การทดลองแปรรูปไขมันวัวให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

3.4.8.1 เตรียมเครื่องปฏิกรณ์และวงแหวนให้พร้อมใช้งานและชั่งน้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์และวงแหวน ใส่ไขมันวัวตามอัตราส่วนที่กำหนด ปริมาตร 15 กรัม

3.4.8.2 ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาในหัวข้อ 3.4.3 3.4.4 และ 3.4.5 ตามภาวะที่กำหนดและใส่ในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมชั่งน้ำหนักรวมก่อนการทดลอง (น้ำหนักรวมเครื่องปฏิกรณ์ แหวนรอง ไขมันวัว และตัวเร่งปฏิกิริยาในหัวข้อ 3.4.3 3.4.4 และ 3.4.5) ปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ให้แน่น

3.4.8.3 นำเครื่องปฏิกรณ์ที่ประกอบแล้วมาใส่อากาศที่อยู่ภายในด้วยการอัดแก๊สไนโตรเจนแล้วปล่อยออก ตรวจสอบรอยรั่วของบริเวณข้อต่อด้วยน้ำยาล้างจาน

3.4.8.4 ต่อเครื่องปฏิกรณ์กับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล ชุดควบคุมอุณหภูมิและขดลวดให้ความร้อน หุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน เปิดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิโดยตั้งอุณหภูมิตามที่กำหนด เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์คงที่เท่ากับที่ตั้งไว้พร้อมเปิดอุปกรณ์ควบคุมการแกว่ง

3.4.8.5 เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด ทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ถอดฉนวนกันความร้อนและขดลวดให้ความร้อนออก ปล่อยแก๊สที่อยู่ภายในเครื่องออก

3.4.8.6 เปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์และชั่งน้ำหนักรวมหลังการทดลอง (น้ำหนักรวมเครื่องปฏิกรณ์ แหวนรอง ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ผลิตภัณฑ์ของแข็งและตัวเร่งปฏิกิริยา)

3.4.8.7 แยกผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวออกจากผลิตภัณฑ์ของแข็งโดยการกรองแบบสุญญากาศด้วยกระดาษกรองใยแก้วยี่ห้อ Whatman เบอร์ 40 เก็บผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวในขวดแก้ว เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.9 วิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว

3.4.9.1 วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.4.9.2 วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.4.9.3 วิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.4.9.4 วิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่นเพื่อทราบการกระจายองค์ประกอบไขมันวัวตามคาบจุดเดือด

3.4.10 การคำนวณผลจากการทดลอง

3.4.10.1 ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว = $W1/W2 \times 100$

3.4.10.2 ร้อยละผลได้ของแข็ง = $W3/W2 \times 100$

3.4.10.3 ร้อยละผลได้ของแก๊ส = $100 - W4 - W5$

3.4.10.4 สัดส่วนกากน้ำมันในเชื้อเพลิงเหลว = $Y1 \times Y2 / 100$

3.4.10.5 สัดส่วนดีเซลในเชื้อเพลิงเหลว = $Y3 \times Y2 / 100$

W1 = น้ำหนักเชื้อเพลิงเหลวจากการทดลอง

W2 = น้ำหนักไขมันวัว

W3 = น้ำหนักของแข็งจากการทดลอง

Y1 = ร้อยละผลได้สัดส่วนกากน้ำมันจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

Y2 = ร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลว

Y3 = ร้อยละผลได้สัดส่วนดีเซลจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

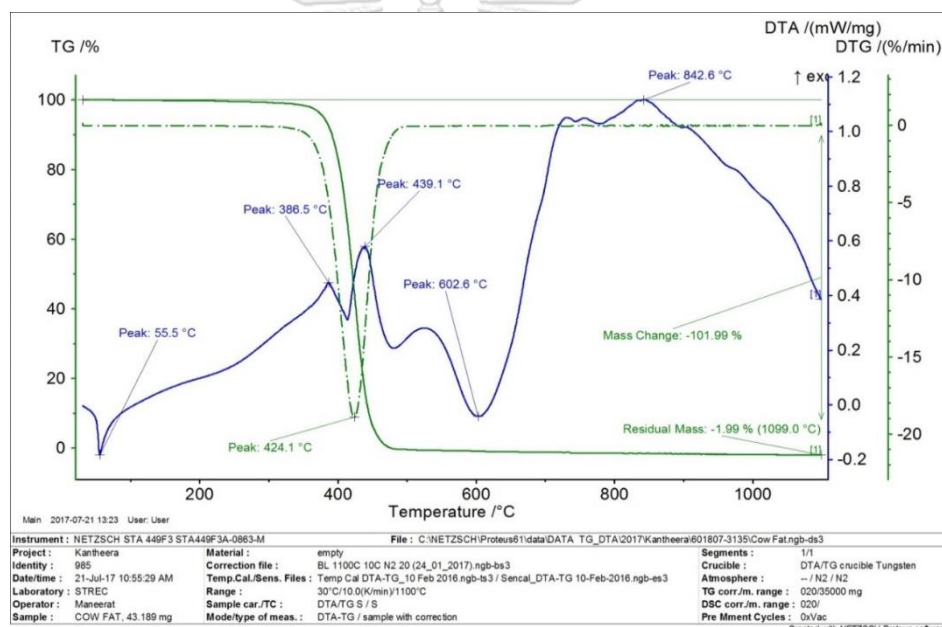
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติของไขมันวัวและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และ โดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

ในการทดลองไพโรไลซิสไขมันวัวจำเป็นต้องทดสอบสมบัติของไขมันวัวซึ่งเป็นสารตั้งต้นก่อน ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติไขมันวัวกับผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมประกอบกับการศึกษาสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 สมบัติการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน



รูปที่ 4. 1 ค่าการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัว

รูปที่ 4.1 แสดงค่าการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัวโดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง ถึงอุณหภูมิ -1100 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจน อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิสูญเสียความชื้น ต่อมาที่อุณหภูมิ 386.5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิไขมันวัวเกิดการแตกสลายในช่วงแรก และที่อุณหภูมิ 424 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไขมันวัวสลายตัวทางความร้อน มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด จึงเลือกอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส

4.1.2 สมบัติเชื้อเพลิงและองค์ประกอบแบบแยกธาตุของไขมันวัว

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชื้อเพลิงวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และองค์ประกอบแบบแยกธาตุของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแบบแยกธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน

สมบัติเชื้อเพลิง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	39.87
องค์ประกอบแบบแยกธาตุของไขมันวัว(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
คาร์บอน	63.64
ไฮโดรเจน	3.46
ไนโตรเจน	9.87
ออกซิเจน	23.03
อัตราส่วนโดยโมลไฮโดรเจน/คาร์บอน	0.65
อัตราส่วนโดยโมลออกซิเจน/คาร์บอน	0.27

ตารางที่ 4.1 พบว่าองค์ประกอบแบบแยกธาตุของไขมันวัวก่อนทำกระบวนการไพโรไลซิสมีคาร์บอนร้อยละ 63.64 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนร้อยละ 3.46 โดยน้ำหนัก ไนโตรเจนร้อยละ 9.87 โดยน้ำหนักและออกซิเจน 23.03 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อน 39.87 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

4.1.3 องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของไขมันวัว

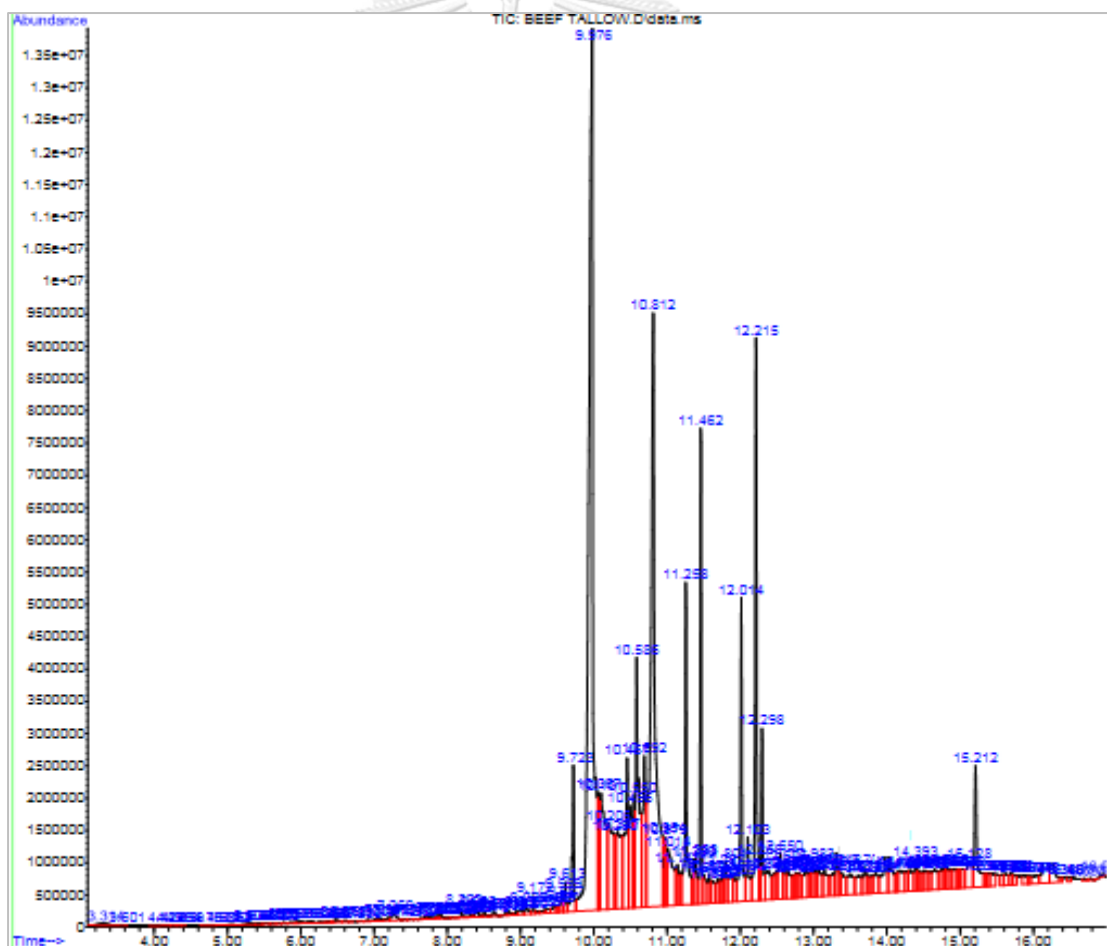
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงตามคาบจุดเดือดของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น

จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบทาง เชื้อเพลิง	จำนวนคาร์บอน	ร้อยละโดยน้ำหนัก
IBP-200	แนฟทา	C ₅ -C ₁₂	10.00
200-250	เคโรซีน	C ₁₂ -C ₁₅	7.50
250-370	ดีเซล	C ₁₅ -C ₃₃	16.88
370-FBP	กากน้ำมัน	>C ₃₃	65.63

จากตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สารตั้งต้นไขมันวัวโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) พบว่าองค์ประกอบกากน้ำมันสูงถึงร้อยละ 65.63 โดยน้ำหนัก เนื่องจากกากน้ำมัน

เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง เพราะมีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงทั่วไป[1] จึงต้องนำมาปรับปรุงโดยการเปลี่ยนโครงสร้างของไขมันวัวให้มีขนาดที่เหมาะสมและมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงกับรถยนต์ ด้วยการทำกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) เพื่อเปลี่ยนสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวให้มีขนาดเล็กลงจนมีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิง

4.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของไขมันวัวแสดงดังรูป 4.2 และตาราง 4.3 วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของไขมันวัว

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของไขมันวัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์

Retention time	องค์ประกอบ (ชื่อวิทยาศาสตร์)	องค์ประกอบ (ชื่อสามัญ)	จำนวนคาร์บอน	สูตรโมเลกุล
กรดไขมันอิ่มตัว				
9.720	เฮกซะเดคาโนอิก	ปาล์มิติก	C 16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
9.976	เฮกซะเดคาโนอิก	ปาล์มิติก	C 16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
10.586	9-ออกตะเตคาโนอิก	สเตียริก	C 18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
11.258	6- ออกตะเตคาโนอิก	สเตียริก	C 18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
11.462	1,15-เพนตะเตคาโนอิก	เพนตะเตไชริก	C 15:0	C ₁₅ H ₂₈ O ₄
15.212	เฮกซะเดคาโนอิก	ปาล์มิติก	C 16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
กรดไขมันไม่อิ่มตัว				
10.812	Cis-9-ออกตะเตคาโนอิก	โอเลอิก	C 18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
12.014	Cis-9-ออกตะเตคาโนอิก	โอเลอิก	C 18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
กลีเซอรอลและกลูโคส				
12.215	9,12-ออกตะไดอิน-1-ออล	9,12-ออกตะไดอิน-1-ออล	C 8	C ₈ H ₁₃ O
12.298	D-กลูโคไพราโนส	กลูโคส แบบไพราโนส	C 6	C ₆ H ₁₂ O ₆

จากตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไขมันวัวพบองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว 3 ชนิด ได้แก่ ปาล์มิติก สเตียริก และเพนตะเตไชริกและกรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ชนิด ได้แก่ โอเลอิก นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบของกลีเซอรอลและกลูโคส

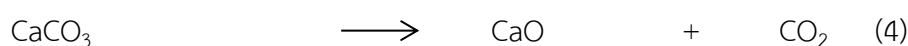
4.2 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 องค์ประกอบธาตุออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์		ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์	
ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง	ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
แมกนีเซียม	98.0	แมกนีเซียม	38.1
แคลเซียม	1.06	แคลเซียม	58.9
ซิลิกา	0.64	ซิลิกา	0.976
อลูมิเนียม	0.175	อลูมิเนียม	0.598
ฟอสฟอรัส	0.045	ฟอสฟอรัส	0.325
ซัลเฟอร์	0.037	ซัลเฟอร์	0.214
เหล็ก	0.026	เหล็ก	0.567
อื่นๆ	0.018	อื่นๆ	0.382

ตารางที่ 4.4 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีองค์ประกอบธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียม ร้อยละ 98.0 และ 1.06 โดยน้ำหนักแห้ง ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์มีองค์ประกอบธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียม ร้อยละ 38.1 และ 58.9 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยามีองค์ประกอบธาตุออกไซด์ของโลหะแมกนีเซียมและแคลเซียมมาก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมันเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยเสริมปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมันทำให้ได้สายไฮโดรคาร์บอน ดังสมการเคมีที่ 1,2 และแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวเป็นแคลเซียมออกไซด์หรือแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้เร่งปฏิกิริยาเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องดังสมการเคมีที่ 3,4 [2]



4.2.2 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวหรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวรูพรุน ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดโลไมต์และถ่านกัมมันต์

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุน (ตารางเมตรต่อ กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ กรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
แมกนีเซียมออกไซด์ (อบที่อุณหภูมิ 105 องศา เซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง)	33.24	0.140	11.05
โดโลไมต์ (แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง)	19.21	0.044	12.07
ถ่านกัมมันต์	836.2	0.458	2.192

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าพื้นที่ผิวรูพรุน ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดโลไมต์ และถ่านกัมมันต์โดยอาศัยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนพื้นที่ผิวรูพรุนตามวิธีการของ BET พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาตามตาราง 4.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวรูพรุนสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ ทำให้มีบริเวณที่เป็นตำแหน่งว่างในการเกิดปฏิกิริยามาก ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนสูง (836.2 ตารางเมตรต่อกรัม) จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งเสริมให้สารตั้งต้นแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น อีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียรและทนอุณหภูมิสูง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาขนาดรูพรุนเฉลี่ยพบว่าขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดโลไมต์ และถ่านกัมมันต์เป็นรูพรุนชนิดมีไซเฟอร์ทำให้มีความจำเพาะต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์ส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวได้ผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีน ดีเซลและกากน้ำมัน [29]

4.3 อธิบายกลไกการแตกสลายโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนดำเนินการพร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง แก๊สและหาภาวะที่เหมาะสม

หลังจากทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติของไขมันวัวและตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะทำการอธิบายกลไกการแตกสลายโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนดำเนินการพร้อมทั้งแปรตัวแปรอุณหภูมิ การทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาตาม

วิธีการทดลองข้างต้น โดยมีการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง และแก๊สและหาภาวะเหมาะสมที่ให้ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันน้อยที่สุดโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายเชิงความร้อน (Thermal Cracking) และการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และตัวเร่งปฏิกิริยาดีโอไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

4.3.1 การแตกสลายเชิงความร้อน (Thermal cracking)

อธิบายกลไกการแตกสลายโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ ดำเนินการพร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปร (อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และความดันไฮโดรเจน) ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง แก๊สและภาวะเหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ไขมันวัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ โมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อเกิดการแตกสลายเชิงความร้อน จะเกิดโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนมาก จำพวก ไตรกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ กรดไขมัน เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์และอีเทอร์ การแตกสลายเชิงความร้อน อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการแตกสลายของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ไปเป็นอนุมูลอิสระ (radical) และเกิดการแตกสลายต่อเนื่องไปเป็นโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จำพวกแก๊สไฮโดรเจน (H_2) มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (decarbonylation) โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดขึ้นเมื่อรวมตัวกับแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เกิดปฏิกิริยามีเทนเนชัน (Methanation) ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทน (CH_4) [2] ในช่วงแรกของการแตกสลายด้วยความร้อน อุณหภูมิจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัว (รูปที่ 4.3) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวลดลงและผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็งลดลง (รูปที่ 4.5) เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ปฏิกิริยาเกิดได้นานขึ้น อิทธิพลของอุณหภูมียังคงมีผลต่อการแตกตัวของโมเลกุล แก๊สไฮโดรคาร์บอน โมเลกุลขนาดเล็กแตกสลายมากขึ้น และอิทธิพลความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (รูปที่ 4.7) ไม่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว แต่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สและผลิตภัณฑ์ของแข็ง

เมื่อวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิ 380 และ 400 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง เป็นไขที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าค่าการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัวที่ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (TG-DTA) ซึ่งสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 424 องศาเซลเซียส

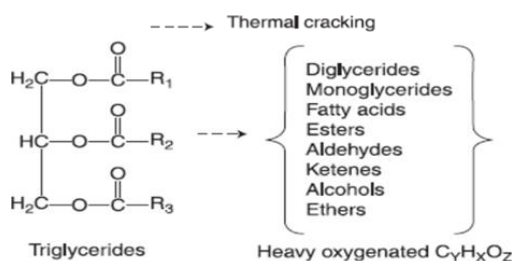
การแตกสลายเชิงความร้อนมีวัตถุประสงค์เพื่อแตกโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กจนมีลักษณะใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.4 4.6 และ 4.8 พบว่าภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันหรือสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ น้อยที่สุด คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (รูปที่ 4.4) ทำให้กากน้ำมันโมเลกุลขนาดใหญ่แตกสลายมากขึ้นจากร้อยละ 39.89 เป็นร้อยละ 25.62 โดยน้ำหนัก ตามลำดับเมื่อให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยานานขึ้นจาก 30 เป็น 45 นาที (รูปที่ 4.6) สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 32.00 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 25.62 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานทำให้ปฏิกิริยาการแตกสลายโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นขนาดเล็กมากขึ้น และอิทธิพลความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (รูปที่ 4.8) เมื่อความดันไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1 บาร์ สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 30.40 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 25.62 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการใช้ไฮโดรเจนร่วมเปรียบเหมือนการเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

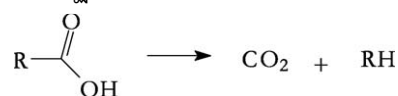
4.3.1.1 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ การแตก

สลายเชิงความร้อน (Thermal cracking) ผ่านอนุมูลอิสระ (radical)

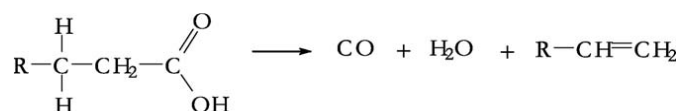
4.3.1.1.1 ปฏิกิริยาการแตกสลายไตรกลีเซอไรด์เป็นโมเลกุลสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนสูง



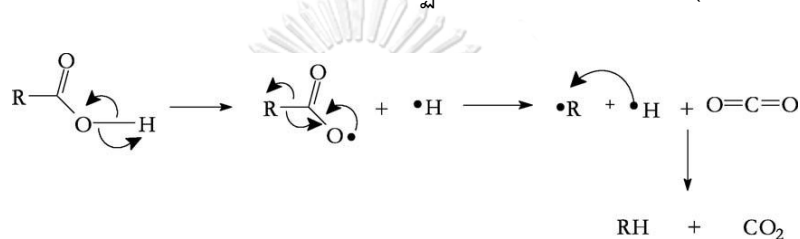
4.3.1.1.2 ปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation)



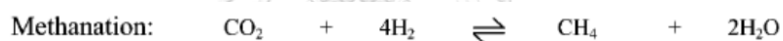
4.3.1.1.3 ปฏิกริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (decarbonylation)



4.3.1.1.4 กลไกการเกิดปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation)

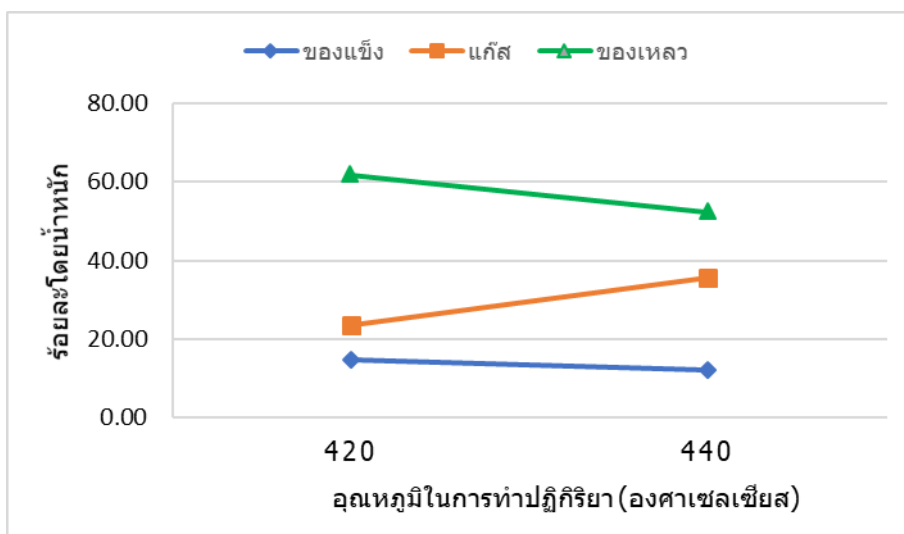


4.3.1.1.5 ปฏิกริยามีเทนเนชัน (Methanation)

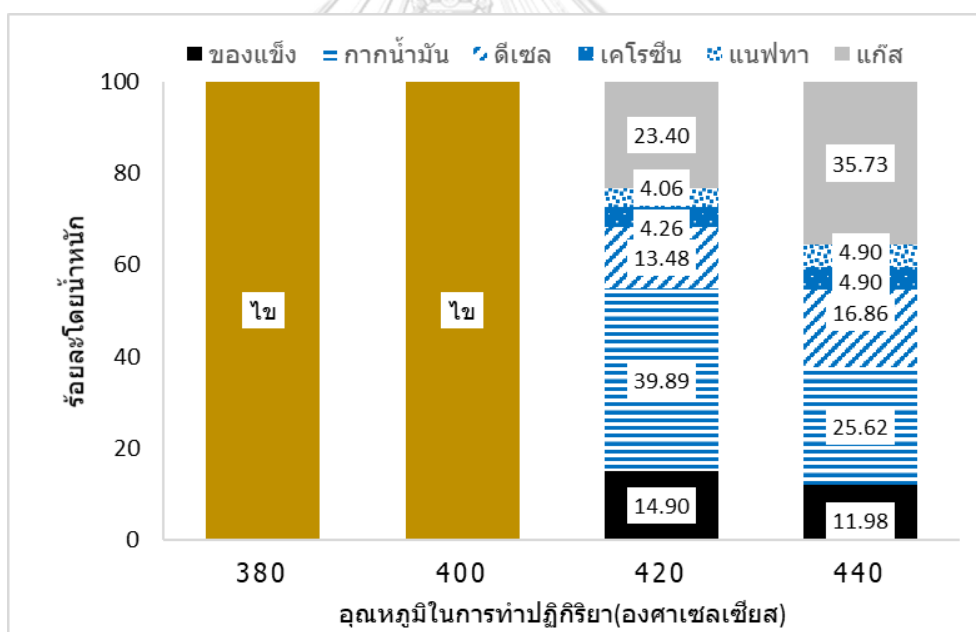


4.3.1.2 ผลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส และหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของกากน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกริยาในช่วง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

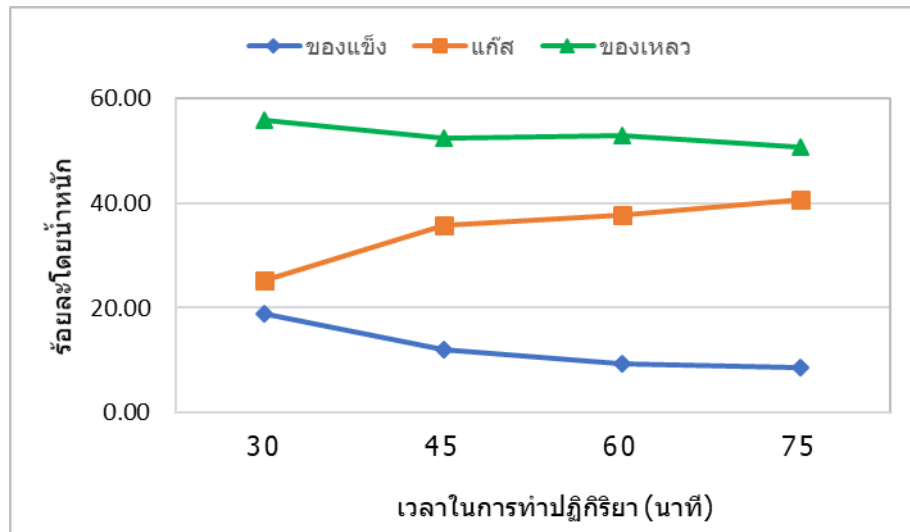


รูปที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิเมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

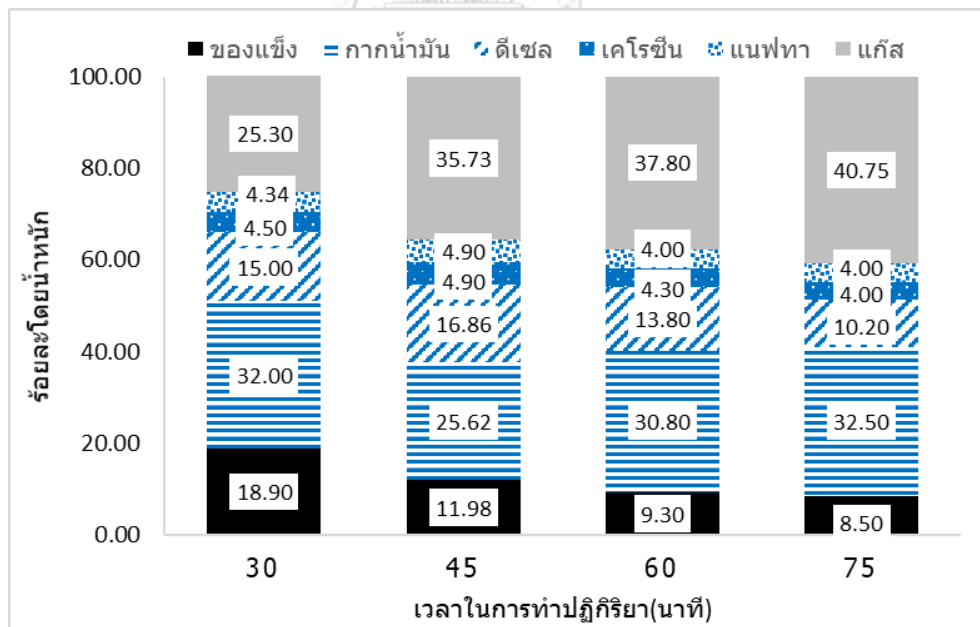
4.3.1.3 ผลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของกากน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัว

แปรเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 ถึง 75 นาที ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ แสดงดังรูป 4.5 และ 4.6



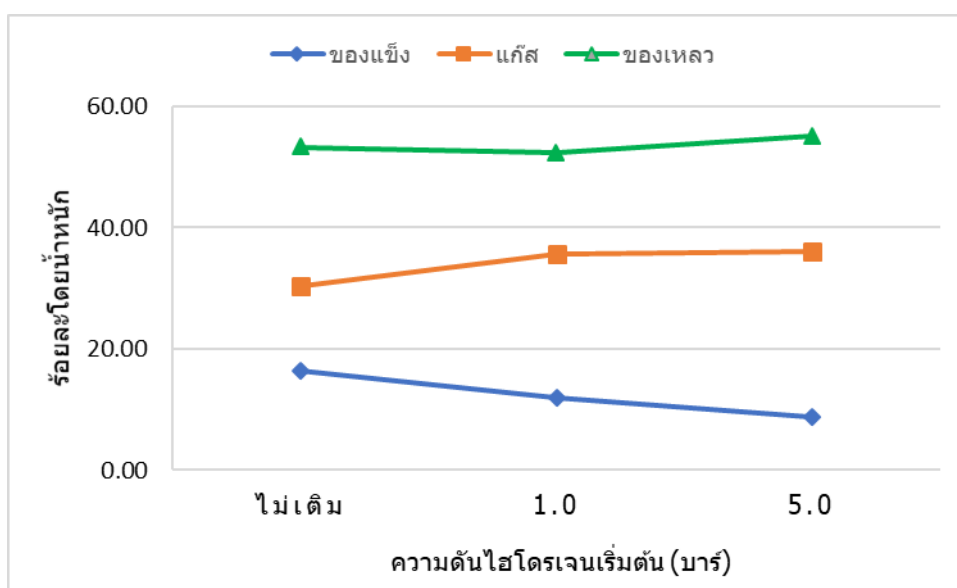
รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์



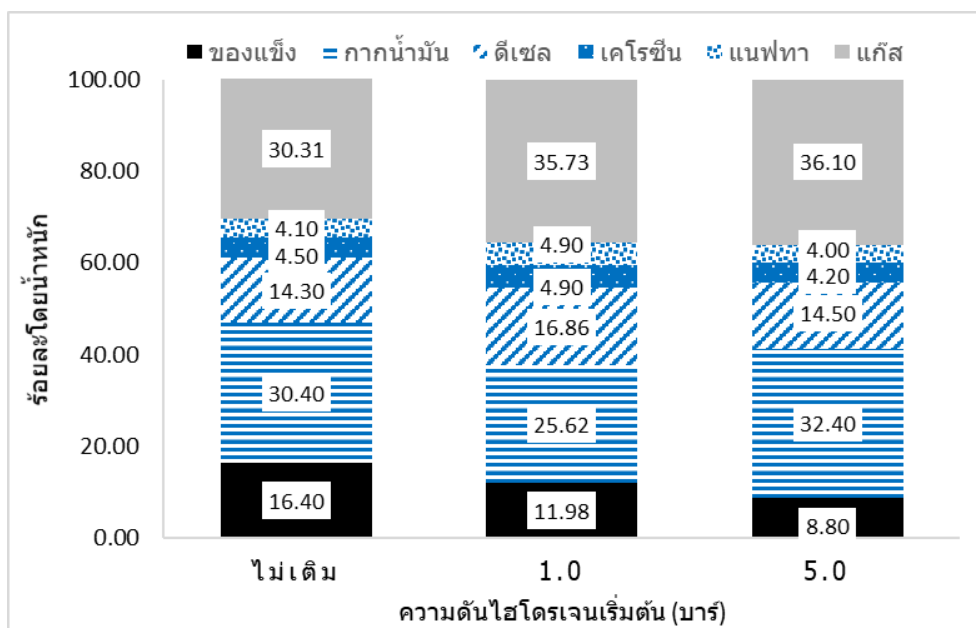
รูปที่ 4.6 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

4.3.1.4 ผลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของกากน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นในช่วง ไม่เติมความดันไฮโดรเจน ถึง 5 บาร์ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที แสดงดังรูป 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที

4.3.1.5 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.6 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวแปร				
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ แดกสลายด้วยความร้อน	440	45	1	0	25.62

4.3.2 การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

อธิบายกลไกการแตกสลายโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา ดำเนินการพร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปร (อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา) ที่มีต่อร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง แก๊สและภาวะเหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนากาน้ำมันน้อยที่สุด

4.3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

ไขมันวัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ โมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน เกิดโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนสูง จำพวก ไตรกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ กรดไขมัน เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์และอีเทอร์ จากงานวิจัย [2] การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะแมกนีเซียม รวมตัวกับหมู่คาร์บอกซิล (-COO) ในกรดไขมัน ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน (RH) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO₃) บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO₃) ที่เกิดขึ้นสลายตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน (RH) นอกจากนี้สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ยังส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาที่บริเวณพื้นที่ผิว ได้แก่ ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) หรือเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนในโมเลกุลมอนอกลิเซอไรด์ ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) หรือเกิดแก๊สไฮโดรเจน (H₂) และ ปฏิกิริยาการกำจัดไฮโดรเจน (Hydrogen Elimination) ในผลิตภัณฑ์ ได้ผลิตภัณฑ์สายไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้นแล้ว บริเวณผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ตำแหน่งว่องไว (active site) ของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เกิดผลิตภัณฑ์ของแข็ง (coke) ที่บริเวณผิวของเร่งปฏิกิริยา

การแตกสลายด้วยความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เกิดโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ของแข็งลดลง (รูปที่ 4.9) เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานขึ้น (รูปที่ 4.11) ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) โมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มความดันไฮโดรเจน (รูปที่ 4.13) เปรียบเหมือนการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น

และการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) (รูปที่ 4.15) ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สมากขึ้น

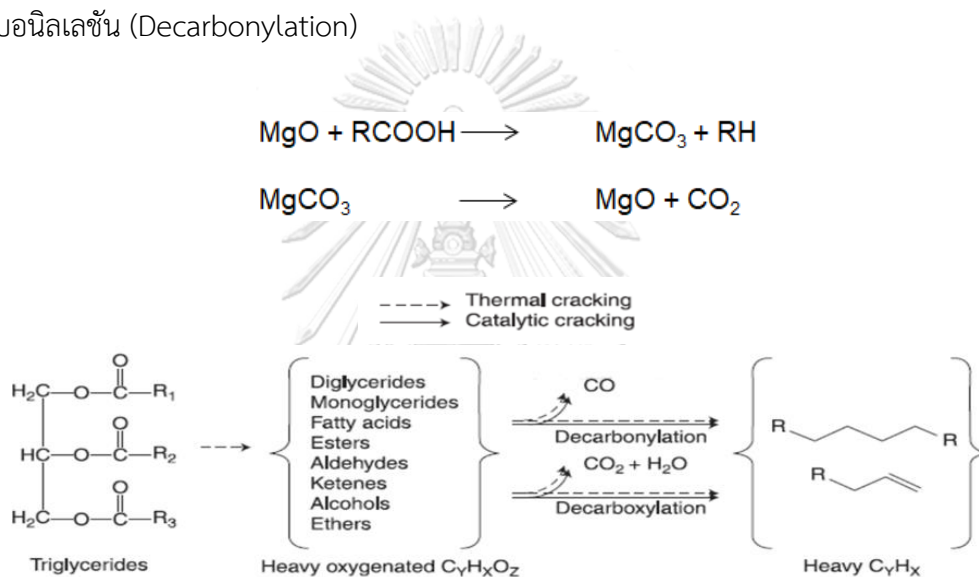
เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.10 พบว่าที่อุณหภูมิ 380 และ 400 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง เป็นไขที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าค่าการสลายตัวทางความร้อนของไขมันวัวที่ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (TG-DTA) ซึ่งสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 424 องศาเซลเซียส

การแตกสลายเชิงความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีวัตถุประสงค์เพื่อแตกสลายโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์สัดส่วนกากน้ำมันในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.10 4.12 4.14 และ 4.16 พบว่าภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ น้อยที่สุด คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบไปด้วยการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ทำให้กากน้ำมันที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.10) กากน้ำมันมีค่าร้อยละ 24.69 โดยน้ำหนัก เพิ่มอุณหภูมิเป็น 440 องศาเซลเซียส สัดส่วนกากน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 31.20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากโมเลกุลขนาดเล็กรวมตัวเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 เป็น 45 นาที (รูปที่ 4.12) สัดส่วนกากน้ำมันมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 34.40 เป็นร้อยละ 24.69 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานพร้อมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการแตกสลายอย่างต่อเนื่องของกากน้ำมันที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แตกสลายเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เมื่อความดันไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1 บาร์ (รูปที่ 4.14) สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 30.60 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 24.69 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความดันไฮโดรเจนเปรียบเหมือนการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้โมเลกุลกากน้ำมันขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้นและ (รูปที่ 4.16) การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) เพียงอย่างเดียวและการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมพบว่า การแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว สัดส่วนกากน้ำมันมีปริมาณร้อยละ 39.89 โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 26.90 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 24.69 โดยน้ำหนัก

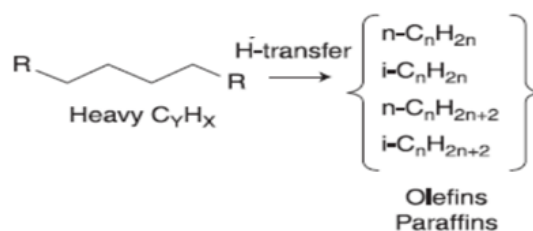
ตามลำดับ เนื่องจากการให้ความร้อนร่วมกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้การแตกสลายโมเลกุลจากน้ำมันขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น

4.3.2.1.1 ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์หรือ การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

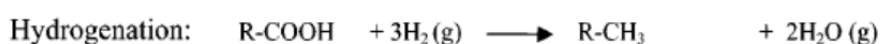
4.3.2.1.1.1 ปฏิกริยาการแตกสลายไตรกลีเซอไรด์เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนสูงและการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation)



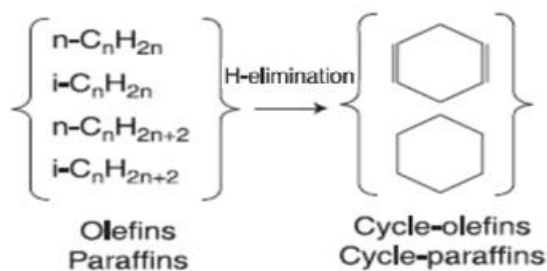
4.3.2.1.1.2 ปฏิกริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer)



4.3.2.1.1.3 ปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

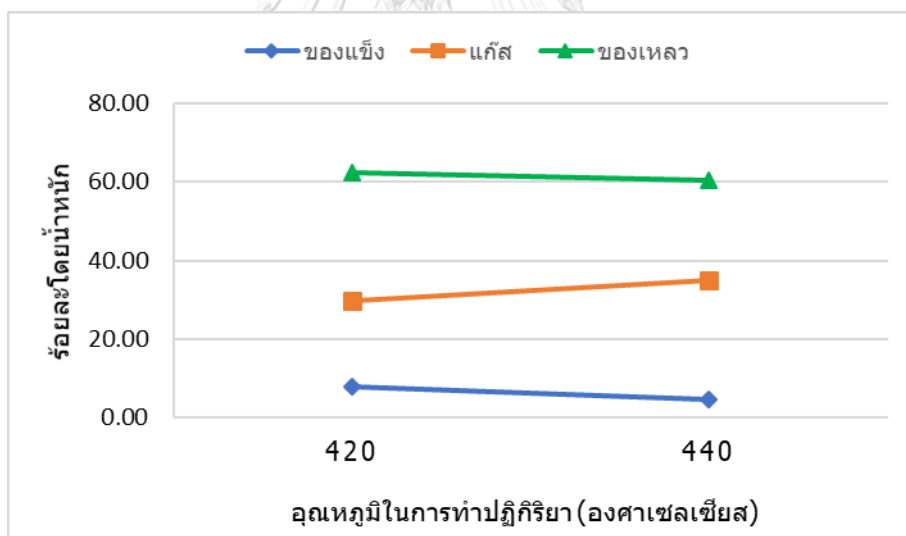


4.3.2.1.1.4 ปฏิกริยาการกำจัดไฮโดรเจน (Hydrogen Elimination)

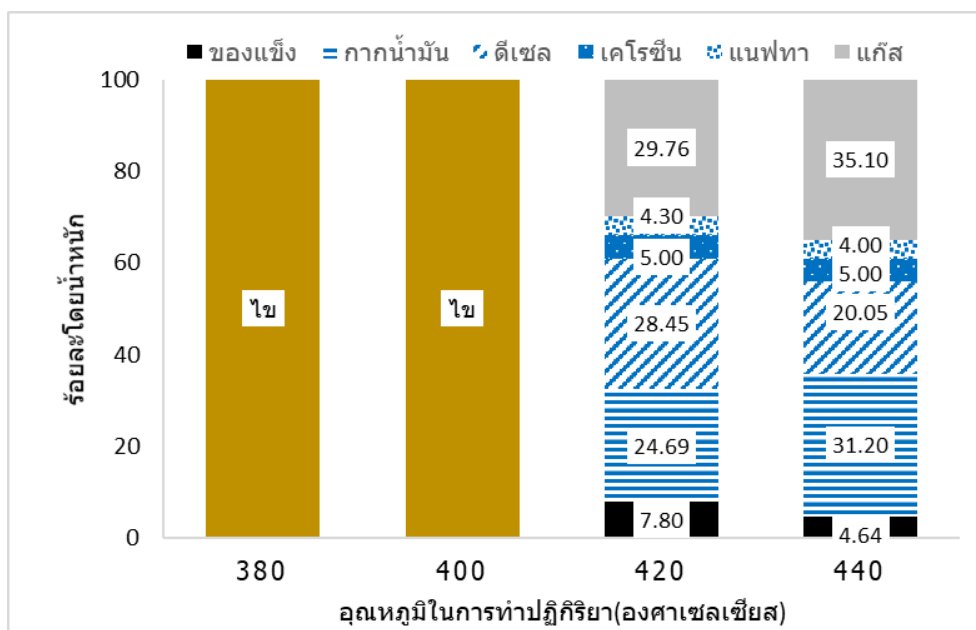


4.3.2.1.2 ผลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส และหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.9 และ 4.10



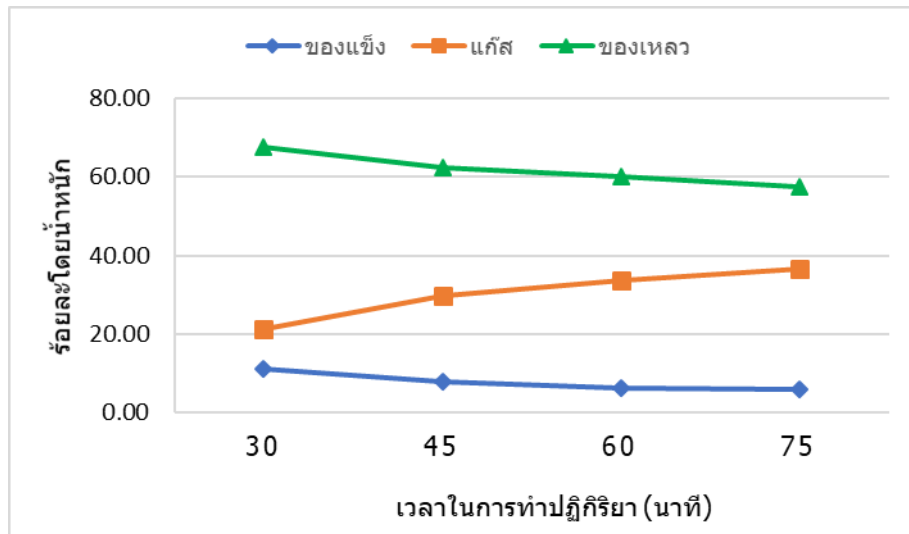
รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



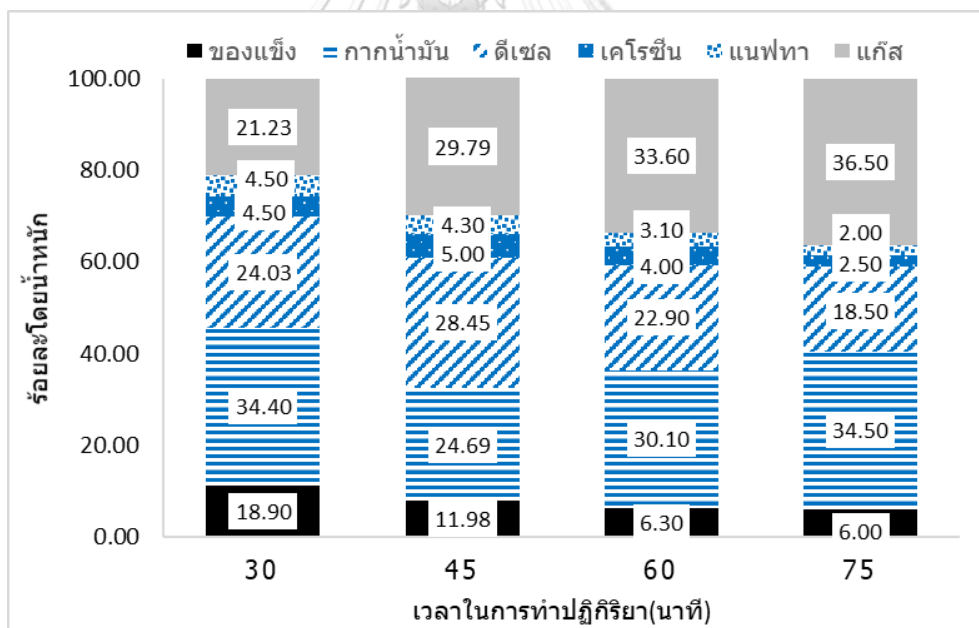
รูปที่ 4.10 อิทธิพลของอุณหภูมิจนการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.1.3 ผลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 ถึง 75 นาที ที่อุณหภูมิจนการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.11 และ 4.12



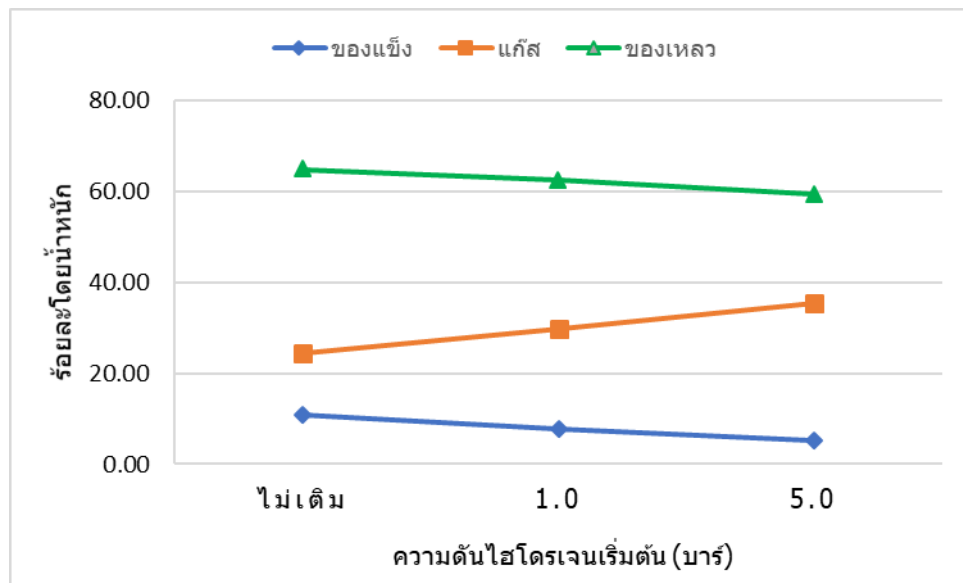
รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



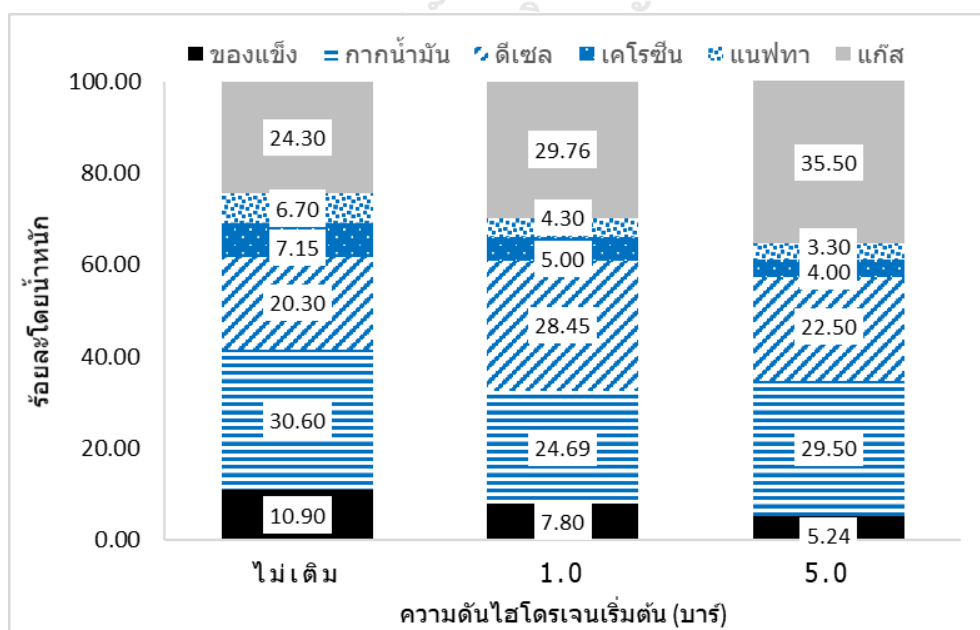
รูปที่ 4.12 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.1.4 ผลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกาก น้ำมันน้อยที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อไม่เติมความดันไฮโดรเจน ถึง 5 บาร์ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.13 และ 4.14



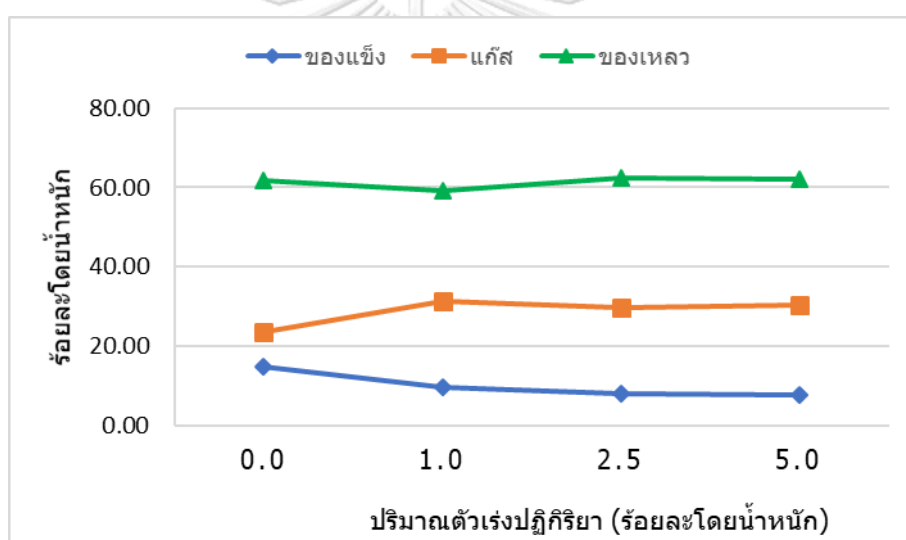
รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



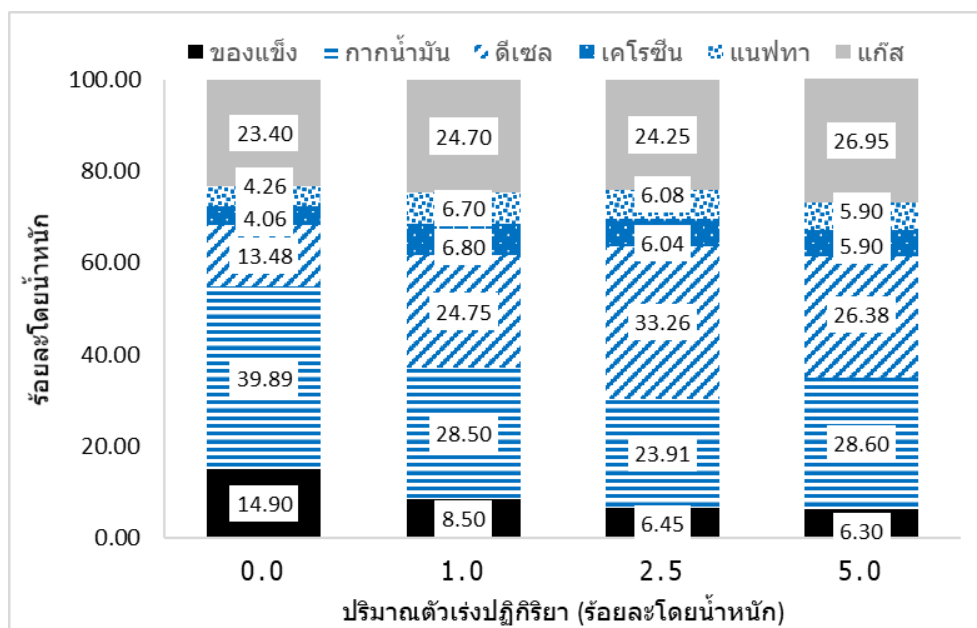
รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.1.5 ผลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมัน

ผลของร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลวและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงร้อยละ 0.0 ถึง 5.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ แสดงดังรูป 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์



รูปที่ 4.16 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

4.3.2.1.6 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.7 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวแปร				
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
แมกนีเซียมออกไซด์	420	45	1	2.5	24.69

4.3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ที่

อัตราส่วน 1:1

จากหัวข้อ 4.3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เกิดโมเลกุลขนาดเล็กจำพวกแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เมื่อศึกษา งานวิจัยที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส สารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแมกนีเซียมออกไซด์ งานวิจัย [3] พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแมกนีเซียมออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์จะเกิดองค์ประกอบของดีเซลในผลิตภัณฑ์ของเหลวมาก ทำให้งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการผสม ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อได้องค์ประกอบดีเซลใน ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ การผสมถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี โครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก มีพื้นที่ดูดซับสูงทำให้มีสมบัติการดูดซับดี มีความจำเพาะในการเลือกเกิด ผลิตภัณฑ์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่กีดขวาง (block) สายไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ ของกากน้ำมัน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ดีเซลมากขึ้น [3]

การแตกสลายด้วยความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม ออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ดี คาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เกิดโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สจำพวกไฮโดรคาร์บอนมาก (รูปที่ 4.17) และ เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น (รูปที่ 4.19) ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างทั่วถึง โมเลกุล ขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มความดันไฮโดรเจน (รูปที่ 4.21) เปรียบเหมือนการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊ส ไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น และ การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัม มันต์ (รูปที่ 4.23) ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอ นิลเลชัน (Decarbonylation) การแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.18 พบว่าที่อุณหภูมิ 380 และ 400 องศา เซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง เป็นไขที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าค่าการ สลายตัวทางความร้อนของไขมันวัวที่ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (TG-DTA) ซึ่งสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 424 องศาเซลเซียส

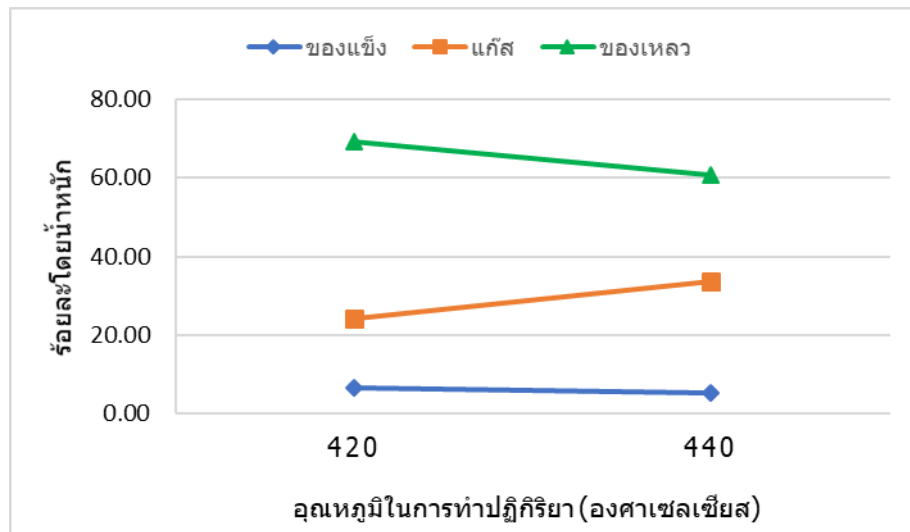
การแตกสลายเชิงความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม ออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อแตกสลายโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาด เล็กมากขึ้นและได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่มีองค์ประกอบของดีเซลมาก ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์สัดส่วน

กากน้ำมันและดีเซลในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลอง การกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.18 4.20 4.22 และ 4.24 พบว่าภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อย และดีเซลสูง คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบไปด้วยการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ทำให้กากน้ำมันที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.18) กากน้ำมันมีค่าร้อยละ 23.91 โดยน้ำหนัก การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ จะมีทั้งความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกสลายให้กากน้ำมันที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ลดลง สัดส่วนดีเซลร้อยละ 33.26 โดยน้ำหนัก สายไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กมีมากขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 เป็น 45 นาที (รูปที่ 4.20) สัดส่วนกากน้ำมันมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 33.30 เป็นร้อยละ 23.91 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานพร้อมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมถ่านกัมมันต์ ทำให้เกิดการแตกสลายอย่างต่อเนื่อง กากน้ำมันที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แตกตัวเป็นสายไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กมากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนดีเซลมีค่าร้อยละ 33.26 โดยน้ำหนัก เมื่อความดันไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1 บาร์ (รูปที่ 4.22) สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 29.50 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 23.91 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความดันไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา มีผลทำให้การแตกสลายโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้นและเกิดการแตกสลายอย่างต่อเนื่อง สัดส่วนดีเซลร้อยละ 33.26 โดยน้ำหนักและ (รูป 4.24) การแตกสลายโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว สัดส่วนกากน้ำมันมีค่าสูงถึงร้อยละ 39.89 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 28.50 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 23.91 โดยน้ำหนักและสัดส่วนดีเซลสูงถึงร้อยละ 33.26 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการให้ความร้อนร่วมกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ ทำให้การแตกโมเลกุลกากน้ำมันขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น

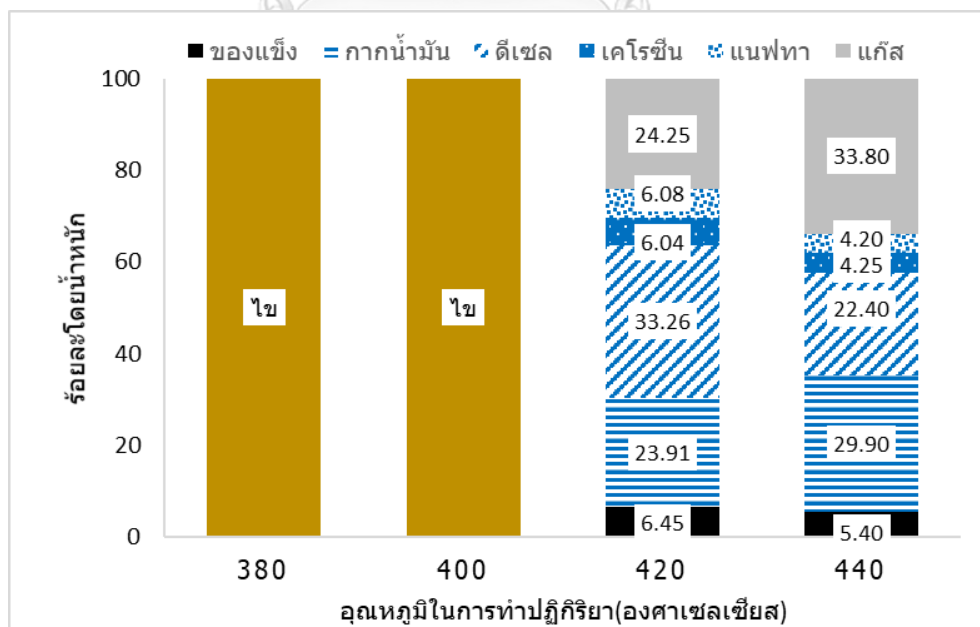
4.3.2.2.1 ผลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส และหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิใน

การทำปฏิกิริยาในช่วง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.17 และ 4.18



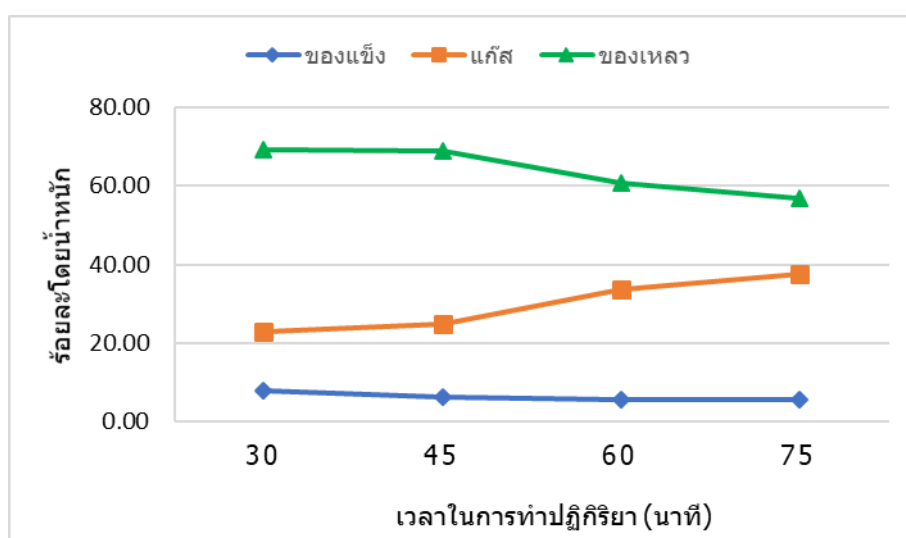
รูปที่ 4.17 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



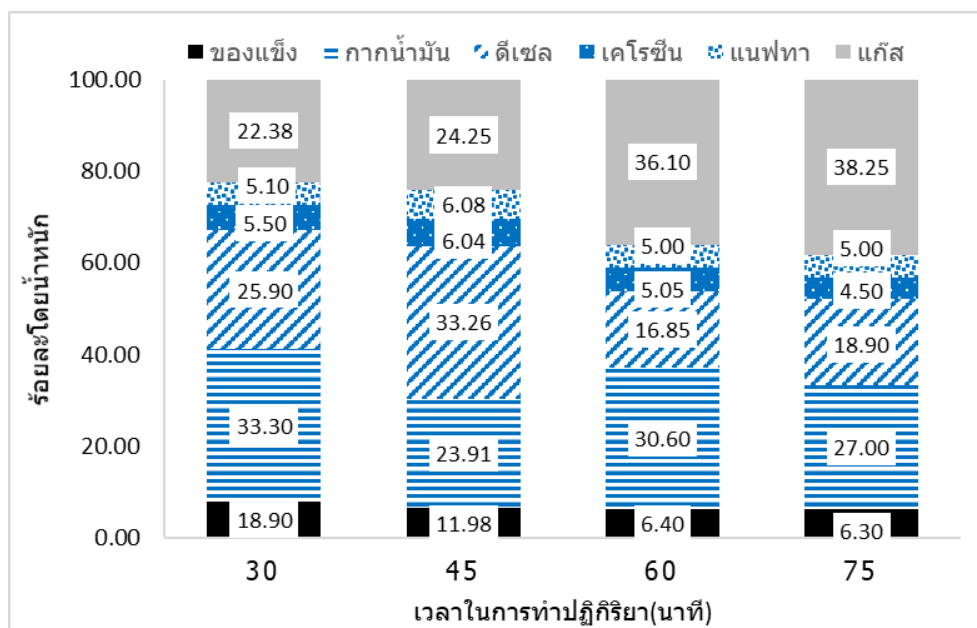
รูปที่ 4.18 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.2.2 ผลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 ถึง 75 นาที ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.19 และ 4.20



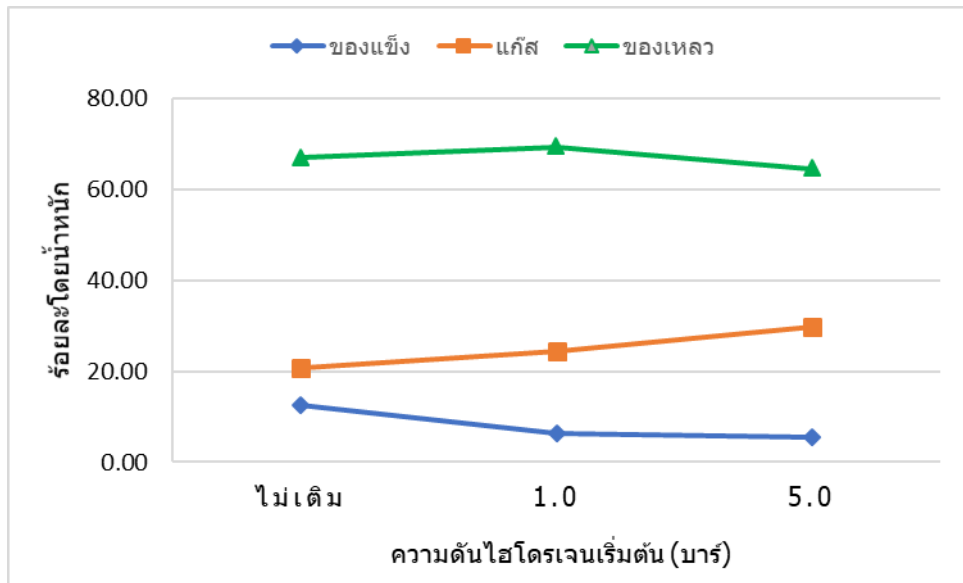
รูปที่ 4.19 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



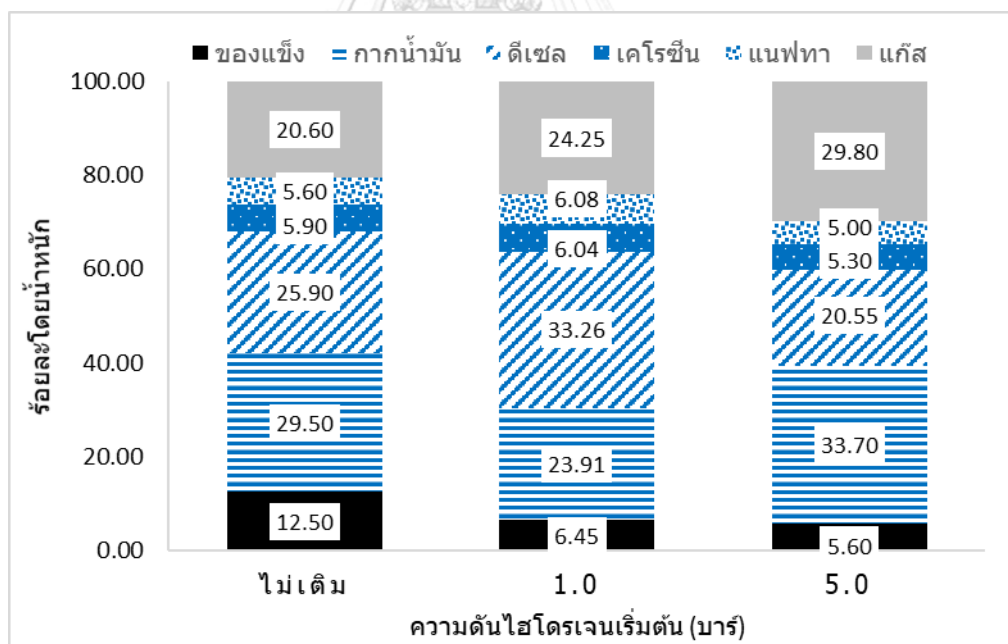
รูปที่ 4.20 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.2.3 ผลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ขongแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ขongแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อไม่เติมความดันไฮโดรเจน ถึง 5 บาร์ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.21 และ 4.22



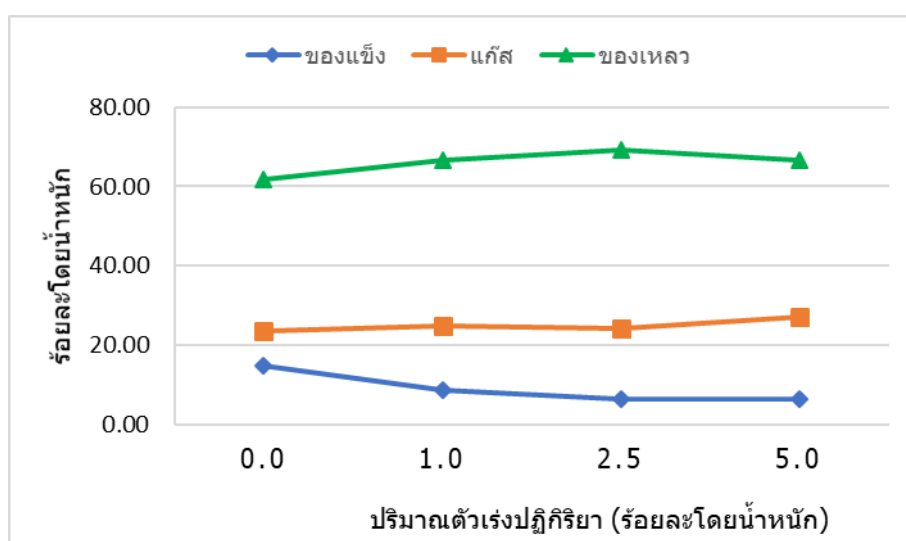
รูปที่ 4.21 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



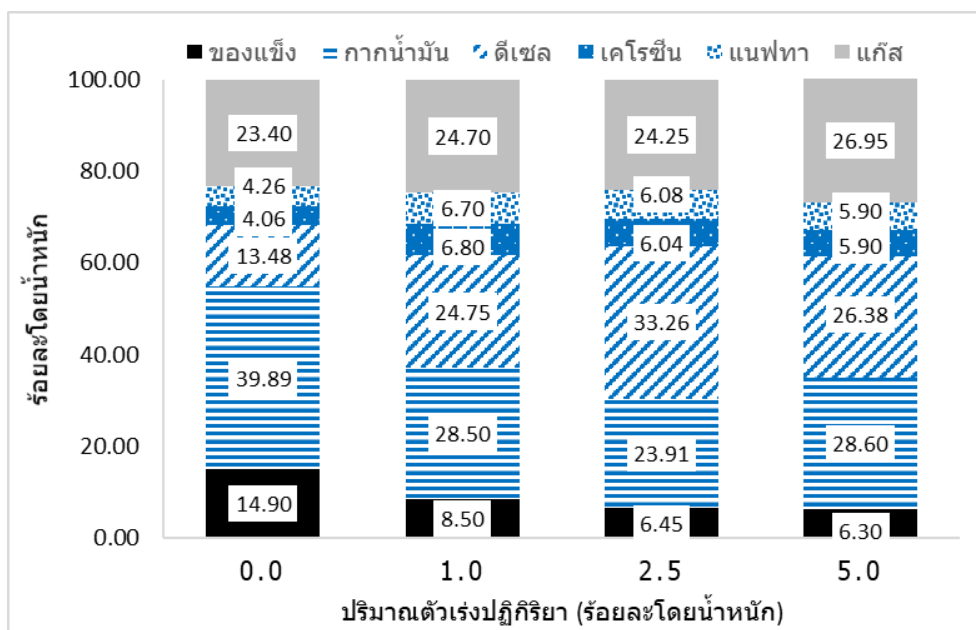
รูปที่ 4.22 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตของเหลวตามคาบจุดเตี๊อดที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.2.4 ผลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลวและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงร้อยละ 0.0 ถึง 5.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ แสดงดังรูป 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์



รูปที่ 4.24 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

4.3.2.2.5 ภาวะเหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดและดีเซลสูงที่สุด

ตารางที่ 4.8 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดและดีเซลสูงที่สุด

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวแปร					
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนกากน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1	420	45	1	2.5	23.91	33.26

4.3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ผสมถ่านกัมมันต์ที่

อัตราส่วน 1:1

จากงานวิจัย [2] ได้ทำการเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และโดโลไมต์ (MgO+CaO) พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) ได้ผลิตก๊าซไฮโดรคาร์บอน (RH) และโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะ 2 ชนิด คือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิล (-COO) ของกรดไขมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดองค์ประกอบคาร์บอเนต ($MgCO_3+CaCO_3$) ที่บริเวณผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จากงานวิจัย [1] ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ ได้ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลวที่มีองค์ประกอบดีเซลสูงถึงร้อยละ 70 โดยปริมาณ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์และถ่านกัมมันต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อได้องค์ประกอบดีเซลในผลิตภัณฑ์ของเหลวสูง

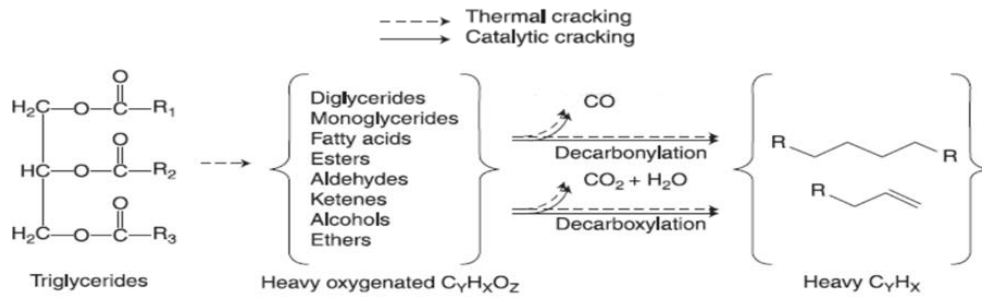
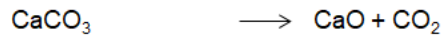
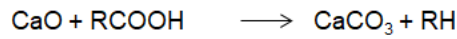
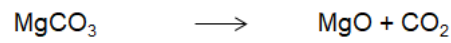
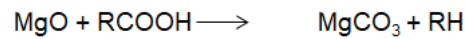
การแตกสลายด้วยความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ผสมถ่านกัมมันต์ ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เกิดโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.27 เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เกิดได้อย่างทั่วถึง โมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เมื่อเพิ่มความดันไฮโดรเจน ดังรูปที่ 4.29 เปรียบเหมือนการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น และรูปที่ 4.31 การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ผสมถ่านกัมมันต์ ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) การแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กของแก๊สจำพวกไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น

การแตกสลายเชิงความร้อนร่วมกับการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ (MgO+CaO) ผสมถ่านกัมมันต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อแตกโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น และได้ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลวที่มีองค์ประกอบของดีเซลมาก ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์สัดส่วนกาบน้ำมันและดีเซลในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น (DGC) ดังรูปที่ 4.26 4.28 4.30 และ 4.32 พบว่าภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกาบน้ำมันน้อยและ

ดีเซลสูง คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบไปด้วยการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ทำให้กากน้ำมันที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.26) กากน้ำมันมีค่าร้อยละ 20.64 โดยน้ำหนัก การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ($MgO+CaO$) ผสมถ่านกัมมันต์ จะมีทั้งความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวให้กากน้ำมันที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ลดลง สัดส่วนดีเซลร้อยละ 35.54 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กมีมากขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 เป็น 45 นาที (รูปที่ 4.28) สัดส่วนกากน้ำมันมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 26.38 เป็นร้อยละ 20.64 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานพร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาปฏิกิริยาโดโลไมต์ ($MgO+CaO$) ผสมถ่านกัมมันต์ ทำให้เกิดการแตกสลายอย่างต่อเนื่อง กากน้ำมันที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แตกสลายเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กมากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนดีเซลมีค่าร้อยละ 35.54 โดยน้ำหนัก เมื่อความดันไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1 บาร์ (รูปที่ 4.30) สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 35.60 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 20.64 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความดันไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา มีผลทำให้การแตกสลายโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้นและเกิดการแตกสลายอย่างต่อเนื่อง สัดส่วนดีเซลร้อยละ 35.60 โดยน้ำหนักและ (รูป 4.32) การแตกสลายโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว สัดส่วนกากน้ำมันมีค่าสูงถึงร้อยละ 39.89 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก สัดส่วนกากน้ำมันลดลงจากร้อยละ 18.64 โดยน้ำหนักและสัดส่วนดีเซลสูงถึงร้อยละ 39.44 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการให้ความร้อนร่วมกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ($MgO+CaO$) ผสมถ่านกัมมันต์ ทำให้การแตกโมเลกุลกากน้ำมันขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ประกอบกับการเติมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเพาะมากขึ้น

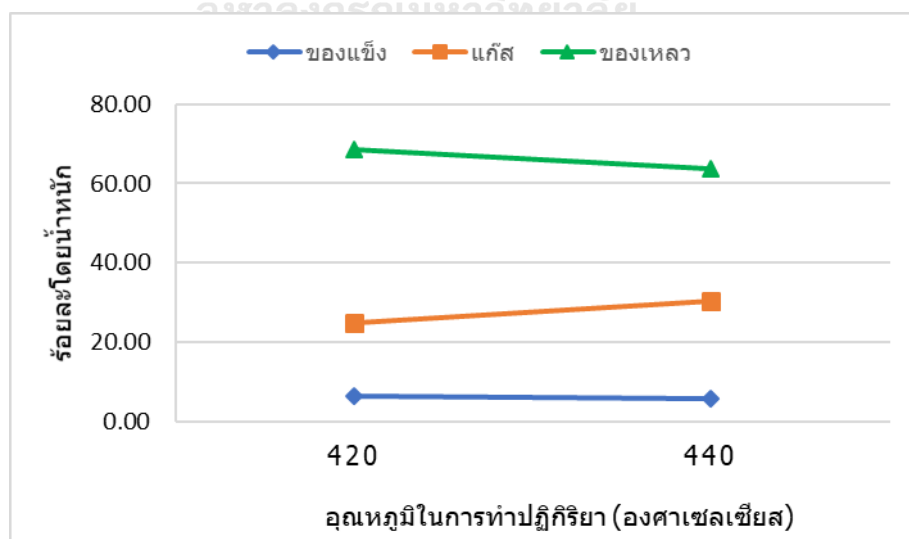
4.3.2.3.1 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์หรือ การแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

4.3.2.1.1.1 ปฏิกิริยาการแตกสลายไตรกลีเซอไรด์เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนสูงและการแตกสลายเชิงตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ ($MgO+CaO$) ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation)

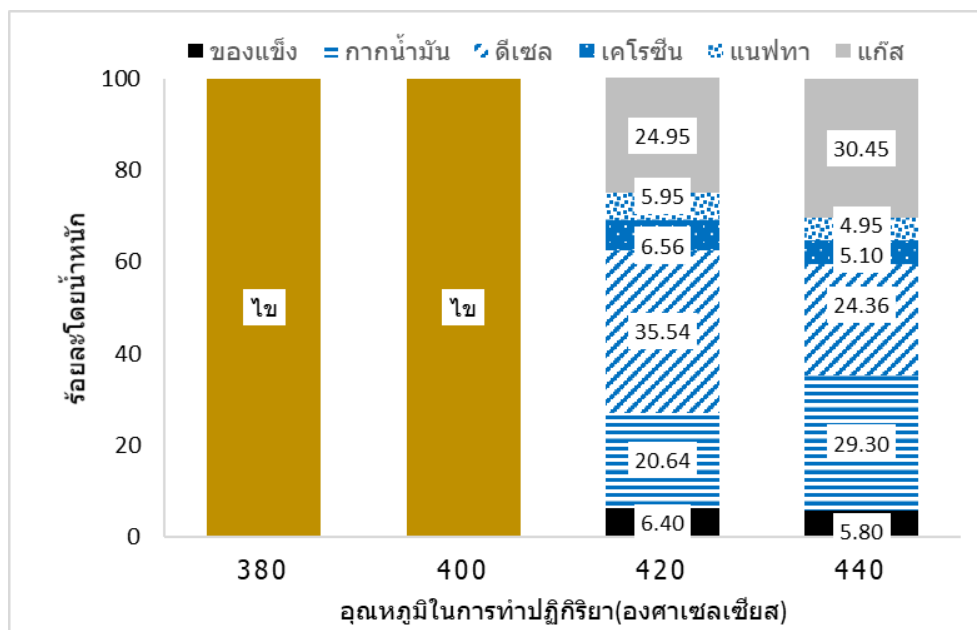


4.3.2.3.2 ผลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลวและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจน 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.25 และ 4.26



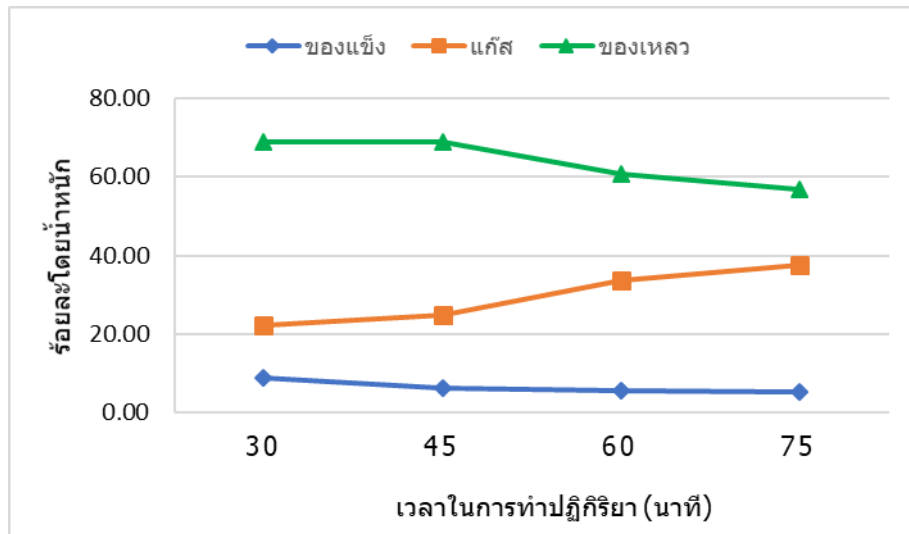
รูปที่ 4.25 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



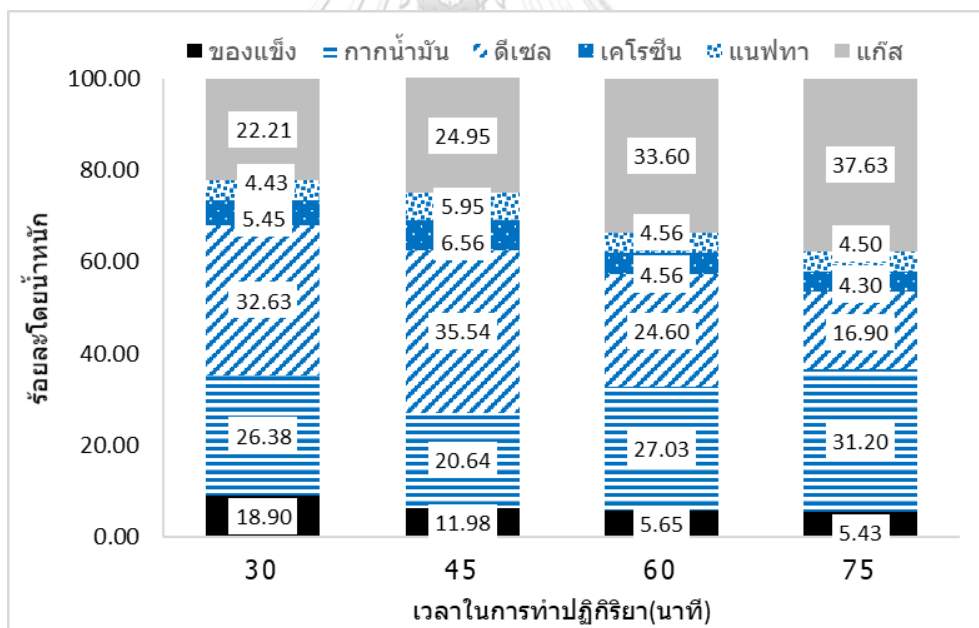
รูปที่ 4.26 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดที่ภาวะดำเนินการเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.3.3 ผลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 ถึง 75 นาที ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.27 และ 4.28



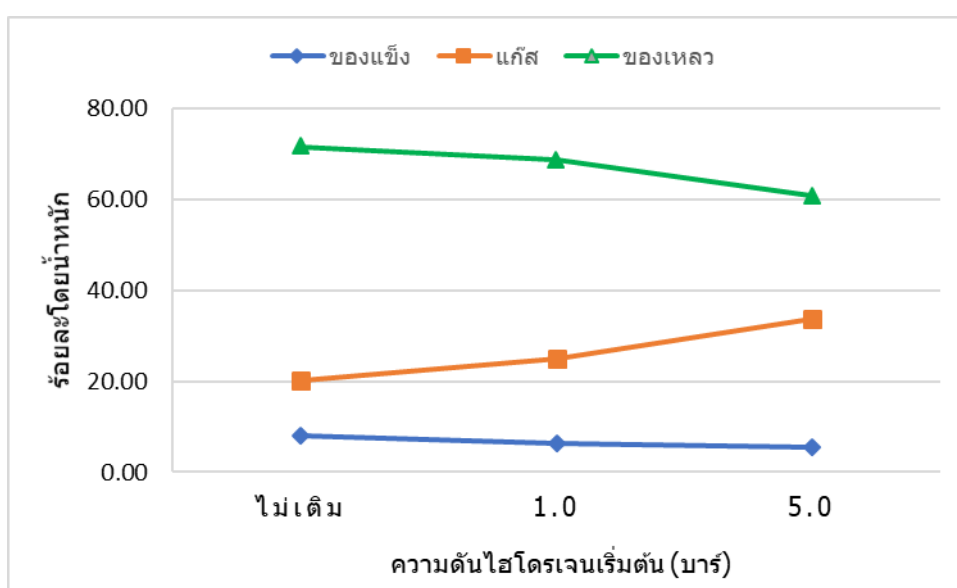
รูปที่ 4.27 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



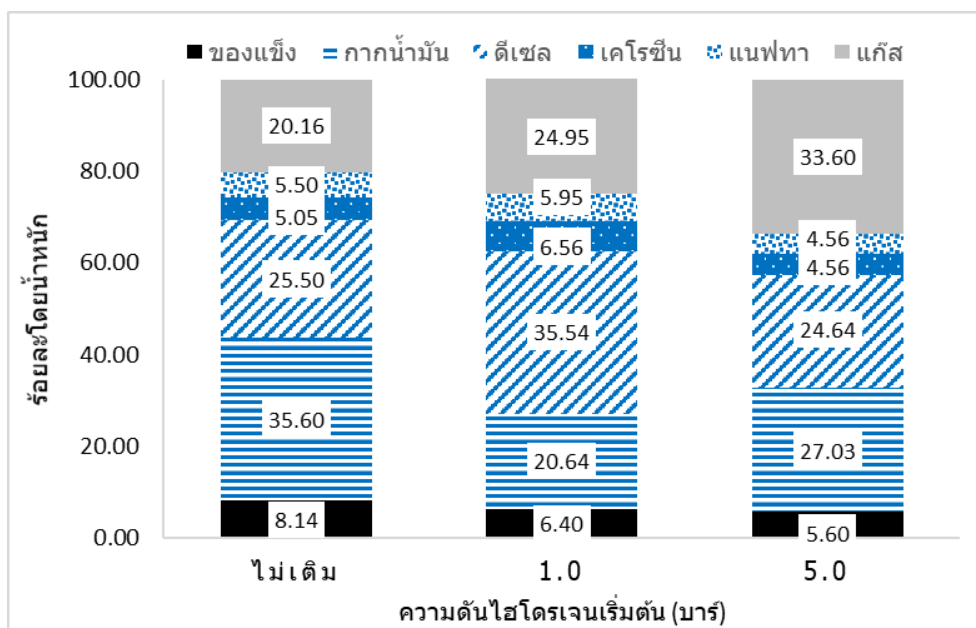
รูปที่ 4.28 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.3.4 ผลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อไม่เติมความดันไฮโดรเจน ถึง 5 บาร์ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.29 และ 4.30



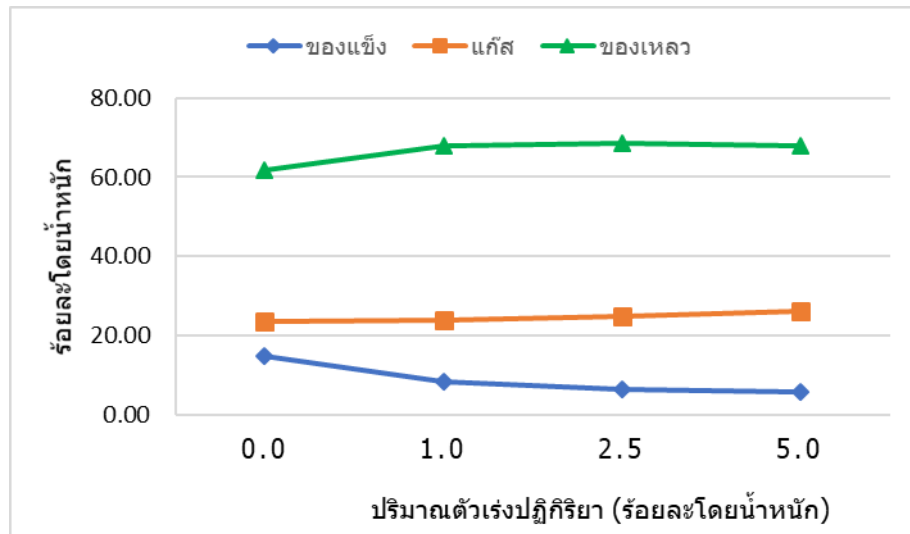
รูปที่ 4.29 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก



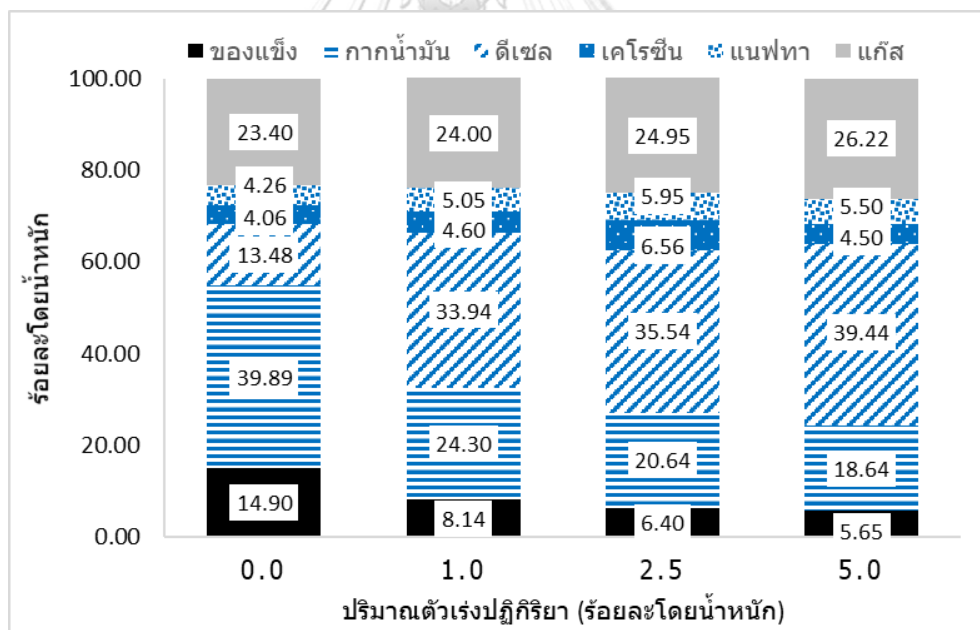
รูปที่ 4.30 อิทธิพลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

4.3.2.3.5 ผลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง แก๊สและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกากน้ำมันและดีเซล

ผลของร้อยละผลได้เชื้อเพลิงเหลวและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยและดีเซลสูงที่สุด เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงร้อยละ 0.0 ถึง 5.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาทีและความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ แสดงดังรูป 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.31 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์



รูปที่ 4.32 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด ที่ภาวะดำเนินการอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

4.3.4.5 ภาวะเหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อสัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด และดีเซลสูงที่สุด

ตารางที่ 4.9 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดและดีเซลสูงที่สุด

ชนิดตัวเร่ง ปฏิกิริยา	ตัวแปร					
	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลาในการ ทำปฏิกิริยา (นาท)	ความดัน ไฮโดรเจน เริ่มต้น (บาร์)	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	สัดส่วน กากน้ำมัน (ร้อยละ โดย น้ำหนัก)	สัดส่วน ดีเซล (ร้อยละ โดย น้ำหนัก)
โคโลไมต์ ผสมถ่านกัม มันต์ที่ อัตราส่วน 1:1	420	45	1	5	18.64	39.44

4.4 การวิเคราะห์ภาวะเหมาะสมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุดของกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

ตารางที่ 4.10 ภาวะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ตัวแปร	กระบวนการไพโรไลซิส			
	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การแตกตัวด้วยความร้อน	แมกนีเซียมออกไซด์	แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1	โดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	440	420	420	420
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	45	45	45	45
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	1	1	1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0	2.5	2.5	5.0

จากตารางที่ 4.10 พบว่าภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันที่น้อยที่สุดของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และโดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 มีอุณหภูมิเหมาะสมที่ 420 องศาเซลเซียส เหมือนกันซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากกรณีไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

จะมีเพียงความร้อน (Thermal Cracking) ที่ช่วยในการแตกตัวไขมันวัวเท่านั้น ในขณะที่กรณีเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีทั้งความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในการแตกตัว (Catalytic Cracking)

4.5 การวิเคราะห์คาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

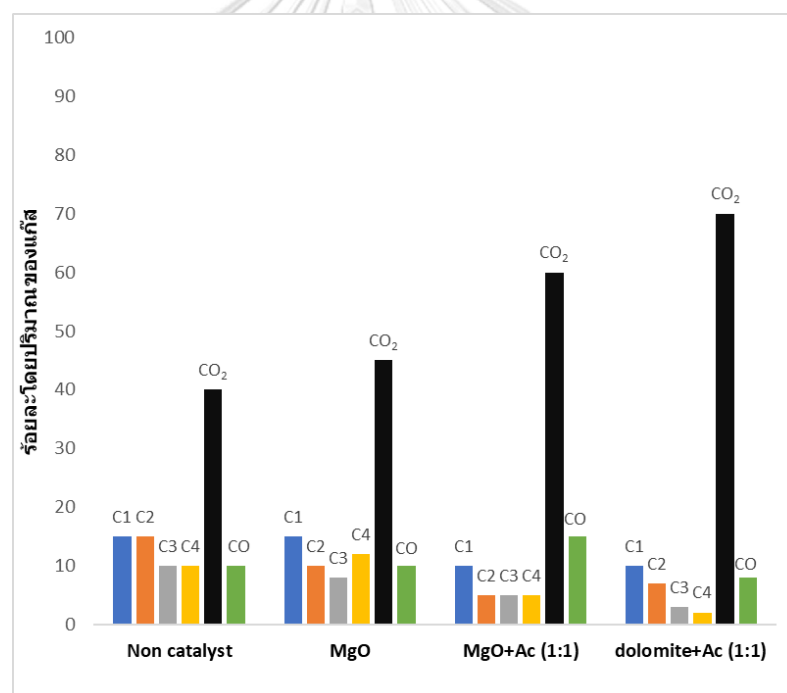
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวและผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะเหมาะสม

องค์ประกอบ (ร้อยละ)	กระบวนการไพโรไลซิส			
	ไม่เติมตัวเร่ง ปฏิกิริยา หรือ การ แตกตัวด้วย ความร้อน	แมกนีเซียม ออกไซด์	แมกนีเซียม ออกไซด์ผสม ถ่านกัมมันต์ที่ อัตราส่วน 1:1	โคโลไมต์ผสม ถ่านกัมมันต์ที่ อัตราส่วน 1:1
ผลิตภัณฑ์แก๊ส	35.73	29.76	24.25	26.22
ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง เหลว				
● แนฟทา	4.90	4.30	6.08	5.50
● เคโรซีน	4.90	5.00	6.04	4.50
● ดีเซล	16.86	28.45	33.26	39.44
● กากน้ำมัน	25.62	24.69	23.91	18.64
ผลิตภัณฑ์ของแข็ง	11.98	7.80	6.45	5.65

ตาราง 4.11 เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แก๊ส ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว และผลิตภัณฑ์ของแข็งจากกระบวนการที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) กับกระบวนการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) พบว่า ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์แก๊สที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และ ดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบตามคาบ

จุดเดือดดีเซล พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดกาน้ำมันในเชื้อเพลิงเหลวพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และผลิตภัณฑ์ของแข็งจากกระบวนการที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) สูงกว่ากระบวนการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

4.6 การวิเคราะห์ผลขององค์ประกอบแก๊สของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสมที่ได้สัดส่วนกาน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)



รูปที่ 4.33 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สจากกระบวนการไพโรไลซิส

จากรูป 4.33 พบว่าองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้ภาวะเหมาะสมเพื่อให้ได้สัดส่วนกาน้ำมันน้อยที่สุด พบองค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สชนิดอื่นๆแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ C₁(methane) , C₂(ethane +

ethylene) C_3 (propane + propylene) และ C_4 (butane + butene) สาเหตุที่ทำให้แก๊ส C_1 และ C_2 สูงเกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันวัว เกิดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลิกที่ละหู่ได้เป็นกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ จากนั้นไตรกลีเซอไรด์จะแตกตัวต่อเป็นโมโนกลีเซอไรด์ตามลำดับ จากนั้นโมโนกลีเซอไรด์จะเกิดการแตกตัวที่ให้ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์แทนจะได้ผลิตภัณฑ์กรดไขมัน และได้ $CH_2CHCHO\cdot$ radical โดย radical ดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมีเทน เอทิลีนและน้ำ ตามลำดับ [30, 31]

4.7 การวิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุและสมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกาบน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบแบบแยกธาตุและสมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันวัวและเชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสม

สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ภาวะเหมาะสม	ไขมันวัว	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ การแตกตัวด้วยความร้อน	แมกนีเซียมออกไซด์	แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1	โตโลไมด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1
องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					
● คาร์บอน	63.64	80.17	84.90	88.53	89.58
● ไฮโดรเจน	3.46	12.55	10.04	6.50	6.67
● ไนโตรเจน	9.87	ND	ND	ND	ND
● ออกซิเจน	23.03	7.28	5.06	4.97	3.75
อัตราส่วนโดยโมลไฮโดรเจน/คาร์บอน	0.65	1.88	1.41	0.88	0.89
อัตราส่วนโดยโมลออกซิเจน/คาร์บอน	0.27	0.06	0.05	0.04	0.03
สมบัติทางเชื้อเพลิง					

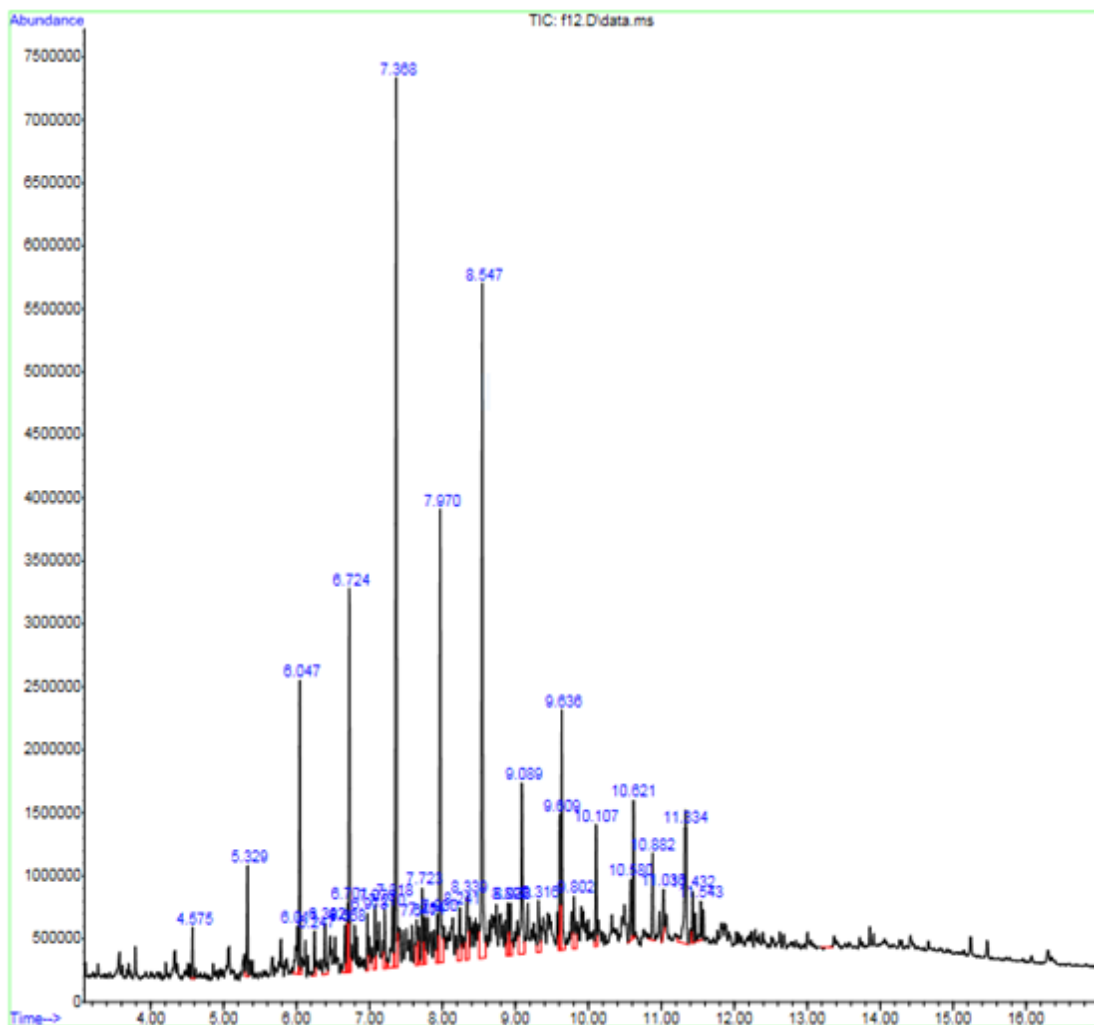
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	39.87	45.89	47.07	47.12	47.32
-------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

หมายเหตุ : ND คือพารามิเตอร์ดังกล่าวตรวจไม่พบ (NOT Detected)

จากตารางที่ 4.12 พบว่าไขมันวัวมีองค์ประกอบของธาตุออกซิเจนร้อยละ 23.03 โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบของไขมันวัวประกอบด้วยกรดไขมันที่มีธาตุออกซิเจนมากส่งผลให้สมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันวัวมีค่าความร้อน 39.87 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ซึ่งส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันทำให้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวมีองค์ประกอบของธาตุออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 7.28 ถึงร้อยละ 3.75 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ค่าความร้อนมีค่าสูง (ค่าความร้อน 45.89 ถึง 47.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวที่เหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

4.8.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)



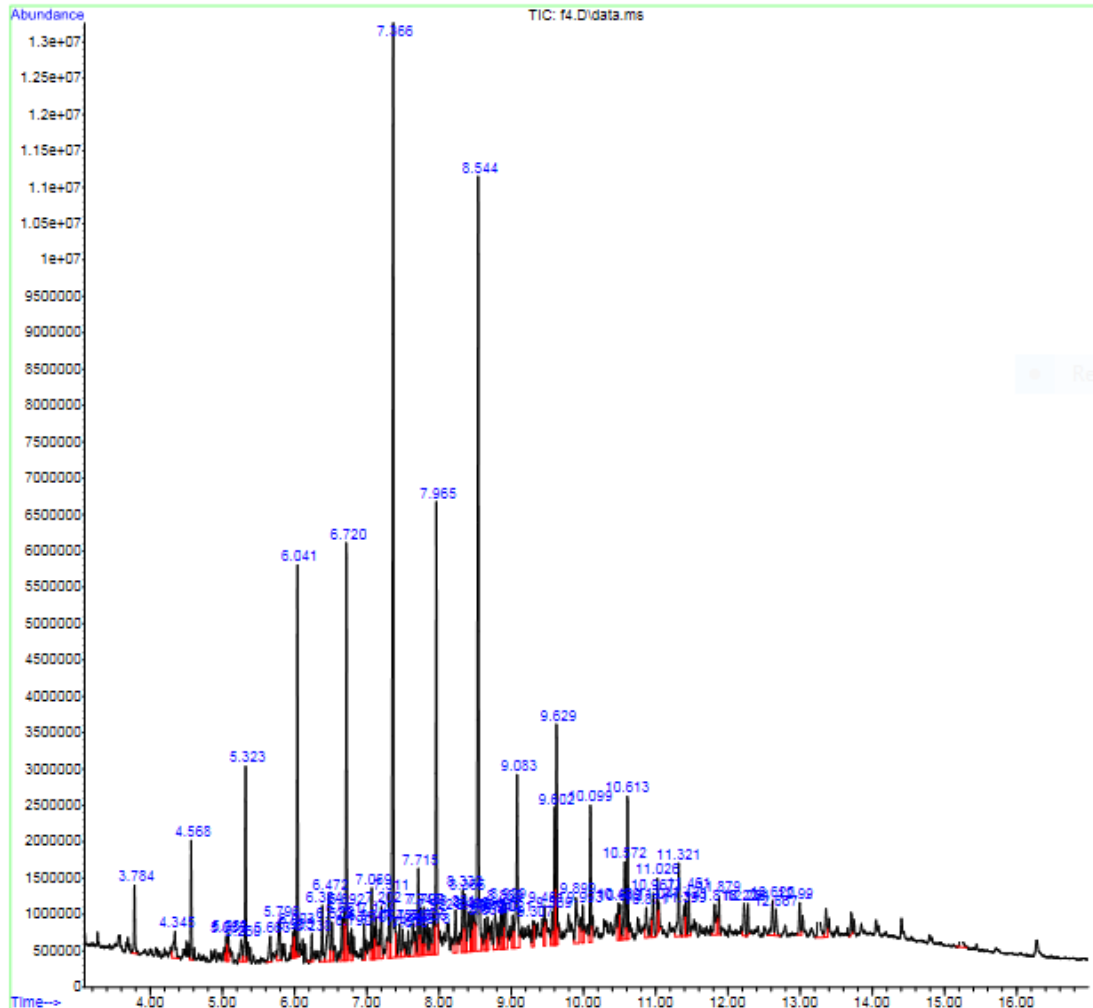
รูปที่ 4.34 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) ดังรูปที่ 4.34 พบองค์ประกอบส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอนุพันธ์ของหมู่ แอลเคน แอลคีน และแอลโคน์ ดังตาราง 4.13 และภาคผนวก

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
1	แอลเคน แอลคีน และแอลโคน์	93.7
2	คีโตน	4.80
3	คาร์บอกซิลิก	1.50

4.8.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์



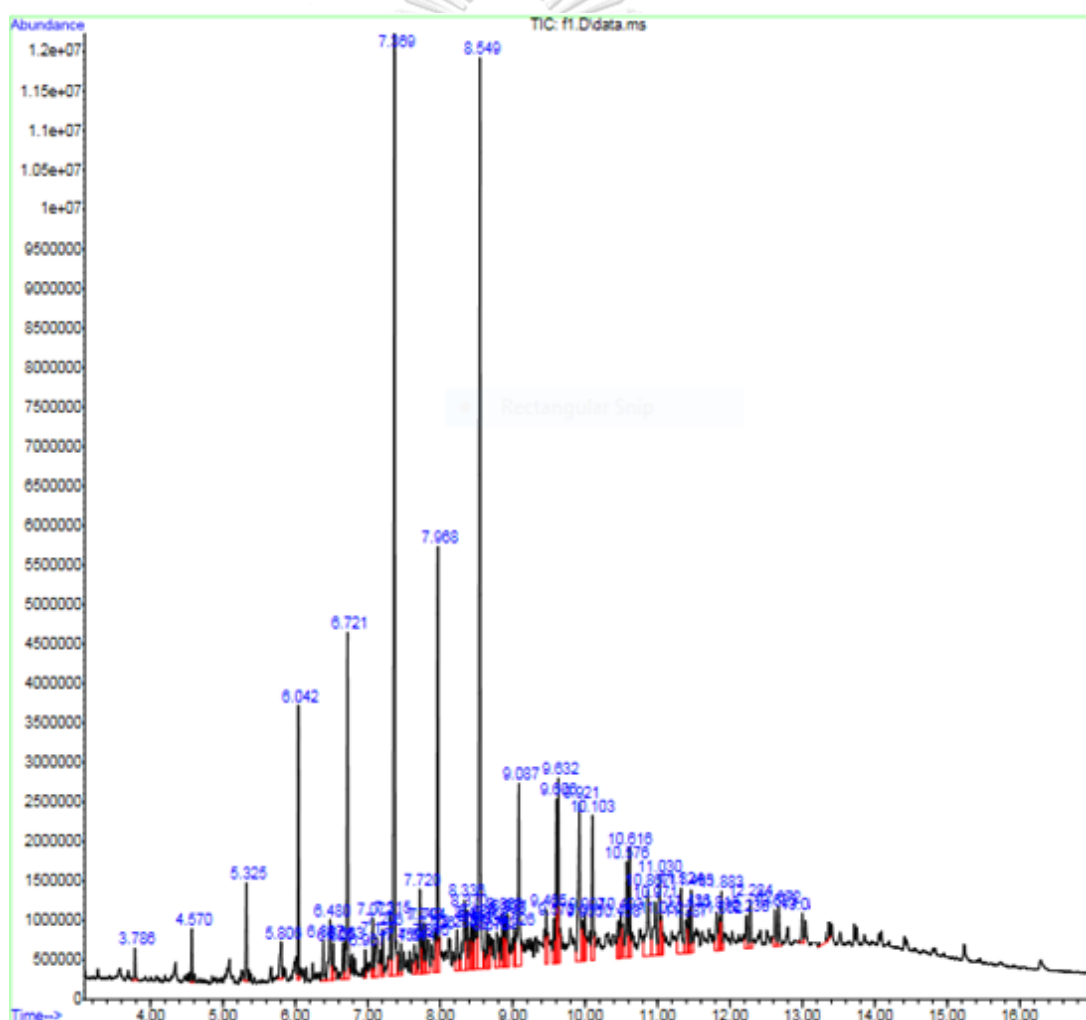
รูปที่ 4.35 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) ร่วมกับการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) แมกนีเซียมออกไซด์ ดังรูปที่ 4.35 พบองค์ประกอบส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอนุพันธ์ของหมู่ แอลเคน แอลคีน และแอลไคน์ ดังตาราง 4.14 และภาคผนวก ง

ตารางที่ 4. 14 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
1	แอลเคน แอลคีน และแอลไคน์	94.88
2	คีโตน	4.10
3	คาร์บอกซิลิก	1.02

4.8.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1



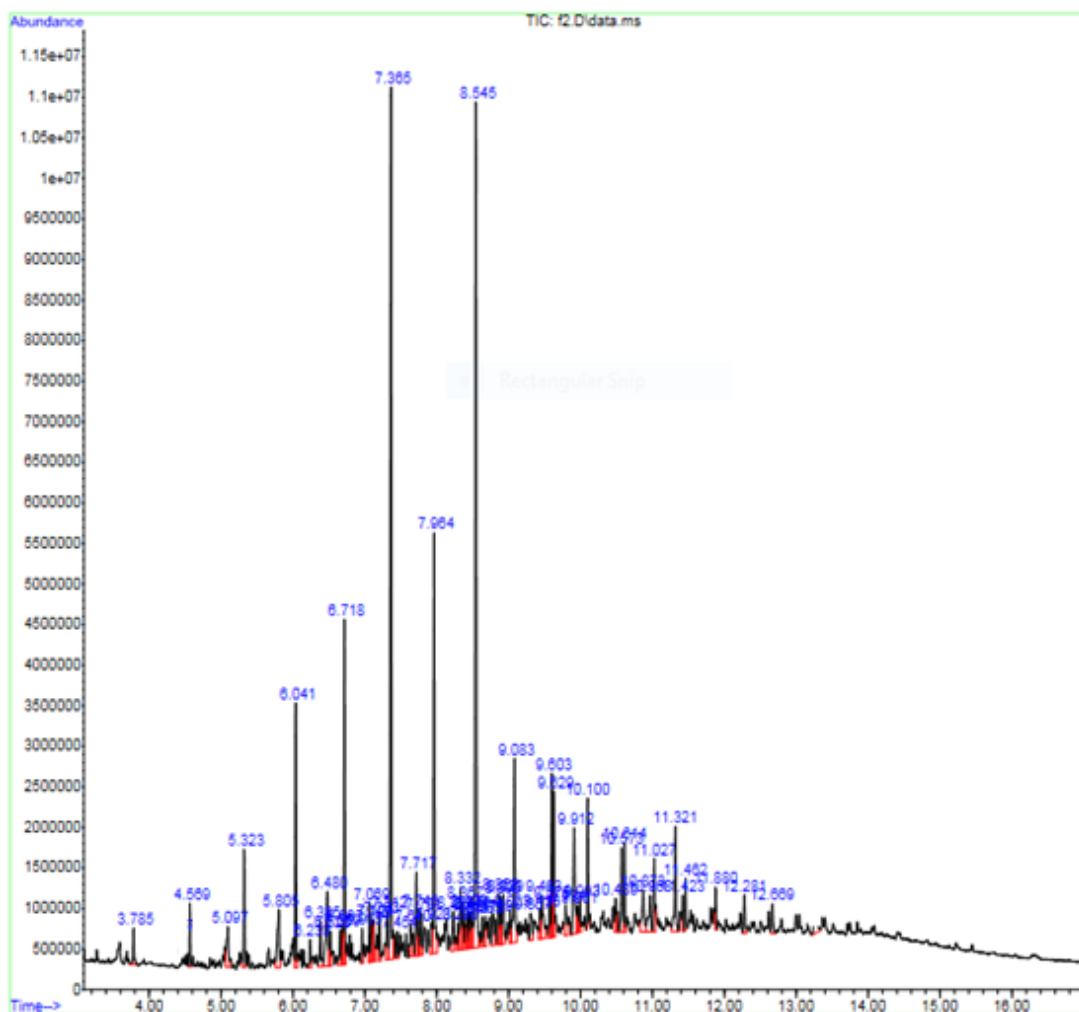
รูปที่ 4.36 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) ร่วมกับการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ดังรูปที่ 4.36 พบองค์ประกอบส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอนุพันธ์ของหมู่ แอลเคน แอลคีน และแอลไคน์ ดังตาราง 4.15 และภาคผนวก ง

ตารางที่ 4. 15 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
1	แอลเคน แอลคีน และแอลไคน์	98.65
2	คีโตน	1.35

4.8.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1



รูปที่ 4.37 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวเมื่อแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) ร่วมกับการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) โดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ดังรูปที่ 4.37 พบองค์ประกอบส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอนุพันธ์ของหมู่ แอลเคน แอลคีน และแอลคีน ดังตาราง 4.16 และภาคผนวก

ตารางที่ 4. 16 องค์ประกอบทางเคมีเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่ภาวะเหมาะสมเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
1	แอลเคน แอลคีน และแอลคีน	98.65
2	คีโตน	1.10

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไขมันวัวบน แมกนีเซียมออกไซด์และโคโลไมต์ที่ผสมด้วยถ่านกัมมันต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ภาวะเหมาะสมของกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

จากการศึกษาภาวะเหมาะสมของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ประกอบด้วยตัวแปรดังนี้ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 380 ถึง 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 ถึง 75 นาที ความดันไฮโดรเจน ไม่เต็ม ถึง 5 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดตามที่กล่าวข้างต้นในช่วงร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 โดยน้ำหนัก และเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) พบว่าภาวะเหมาะสมของตัวแปรเมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจน 1 บาร์ เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ภาวะเหมาะสมคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจน 1 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก

5.2 ผลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ต่อตัวแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลดลง 20 องศาเซลเซียส

5.3 ผลขององค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของกาน้ำมันและทีเซลในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้สัดส่วนกาน้ำมันน้อย และสัดส่วนทีเซลมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงกาน้ำมันของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และโคโลไมต์ผสมถ่านกัม

มันต์ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละ 24.69 23.91 และ 18.64 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงดีเซล มีค่าร้อยละ 28.45 33.26 และ 39.44 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

5.4 ผลของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ต่อองค์ประกอบธาตุออกซิเจนและสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และโดโลไมต์ร่วม (Catalytic Cracking) พบว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันและดีคาร์บอนิลเลชัน ทำให้องค์ประกอบของธาตุออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 7.28 ถึงร้อยละ 3.75 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันวัวที่มีค่าร้อยละ 23.03 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบของธาตุออกซิเจนที่สูงในไขมันวัวส่งผลให้สมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันวัวมีความร้อน 39.87 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) ค่าความร้อน 45.89 ถึง 47.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

5.5 ผลของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ผ่านกระบวนการแตกสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Catalytic Cracking) พบว่าผลิตภัณฑ์ของแข็งมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 7.80 ถึง ร้อยละ 5.65 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Thermal Cracking) ที่มีค่าร้อยละ 11.98 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น

5.6 ข้อเสนอแนะ

- 5.6.1 ศึกษาปฏิกิริยาไพโรไลซิสไขมันวัวในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่แบบต่อเนื่อง เพื่อเห็นการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนกาน้ำมันในปฏิกิริยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
- 5.6.2 ศึกษาความสามารถในการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่
- 5.6.3 ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาถูก

บรรณานุกรม

1. จารุ นาถกรณกุล, ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโตโลไมต์, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์. 2556, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. Tani, H., et al., Selective catalytic decarboxy-cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon. Catalysis Today 2011. 164: p. 410-414.
3. เชษฐา จิงเจริญพาณิชย์, ไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วด้วยแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. ฉัตติตา อ้อยใจ, ผลของการแคลไซน์โตโลไมต์ต่อไพโรไลซิสน้ำมันพืชใช้แล้ว, สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. ปราโมทย์ ไชยเวชและคณะ, ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. 2 ed. 2005.
6. จุฬาวินยานุกรม. น้ำมันดิบ. Available from: [www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%9A_\(Crude_Oil\)](http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%9A_(Crude_Oil)).
7. สารานุกรม. ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. Available from: <http://www.ptplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Pages/สารานุกรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี.aspx>.
8. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. แก๊สธรรมชาติ; Available from: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1997&Itemid=244.
9. จันทร์สุวรรณ, ว., เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีประยุกต์. , คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
10. รอบรู้เรื่องน้ำมัน. น้ำมันดีเซล. Available from: <http://www.ptplc.com/th/media-center/energy-knowledge/pages/petroleum-business.aspx>.
11. กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี พ.ศ. 2555-2564. Available from: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=41272.
12. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. พลังงานทดแทน. Available from: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=41272.

13. อารยา ชีพสาทิศ, การผลิตกรดไขมันจากกลีเซอไรต์ในไขมันหมูด้วยโซดาไฟ, วิศวกรรมเคมี 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. Kim, S., et al., Uncovering the nutritional landscape of food. PLOS ONE, 2015.
15. Solution. ไขมันวัว. Available from: www.foodnetworksolution.com.
16. ศรีสวัสดิ์, อ., การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชและไฮสตีร์, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์. 2529, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
17. กรกช จันทรโสภานิศ, การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไฮโดรเจน/ถ่านกัมมันต์, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
18. ปิยะวรรณ กฤษเศรษฐสกุล, การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยโซดาไฟ, วิศวกรรมเคมี 2548, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. กรมเชื้อเพลิงพลังงาน. กระบวนการแตกตัว. Available from: <https://dmfblogs.wordpress.com/2015/05/29/กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ>.
20. Harold, H., The Chemistry of Hydrocarbon fuel. Marcel Dekker, 1991.
21. Gary, J.H. and G.E. Handwerk, Catalytic hydrocracking and hydroprocessing. New York : Marcel Dekker, 1984.
22. พรชัย คติกำจร, การพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสยางธรรมชาติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสำหรับยานยนต์, วิศวกรรมศาสตร์. 2550, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
23. วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ, เคมีพื้นผิวและปฏิกิริยาเร่ง. 2554, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
24. จตุพร วิทยาคูณ, การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์. 2547, สาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
25. เขาวนวิศ อรรถานันท์, การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียสำหรับการทำกลีเซอรอลดิบให้บริสุทธิ์, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
26. กชกร ชันอาสา, ไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ 2559, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
27. กรมทรัพยากรธรณี. โดโลไมต์. Available from: http://www.dmr.go.th/index_.php.
28. Fortes, I. and P.J. Baugh, Pyrolysis-GC/MS studies of vegetable oils from Macauba fruit. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004. 72: p. 103-111.
29. ญัฐญา จันฮาบ, การแปรรูปรวมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์. 2558, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

30. J.Bensona, T., et al., Elucidation of catalytic cracking pathway for unsaturated mono-, di-, and triacylglycerides on solid acid catalysts. *Molecular Catalysis A: Chemical*, 2009. 303.
31. Morgan, T., et al., Catalysis deoxygenation of triglycerides to hydrocarbons over supported nickel catalysts. *Chemical Engineering* 2012. 189: p. 346-355.





ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองแสดงผลของตัวแปรต่อสัดส่วนกากน้ำมันและสัดส่วนดีเซลเมื่อไม่เติม
ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	สัดส่วนกากน้ำมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	380	45	0	1	0	0
2	400	45	0	1	0	0
3	420	45	0	1	39.89	13.48
4	440	45	0	1	25.62	16.86
5	440	30	0	1	32.00	15.00
6	440	45	0	1	25.62	16.86
7	440	60	0	1	30.80	13.80
8	440	75	0	1	32.50	10.20
9	440	45	0	ไม่เติม	30.40	14.30
10	440	45	0	1	25.62	16.86
11	440	45	0	5	32.40	14.50

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองแสดงผลของตัวแปรต่อสัดส่วนกากน้ำมันและสัดส่วนดีเซลเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	สัดส่วนกากน้ำมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
12	380	45	2.5	1	0	0
13	400	45	2.5	1	0	0
14	420	45	2.5	1	24.69	28.45
15	440	45	2.5	1	31.20	20.05
16	420	30	2.5	1	32.40	24.30
17	420	45	2.5	1	24.69	28.45
18	420	60	2.5	1	30.10	22.90
19	420	75	2.5	1	34.50	18.50
20	420	45	2.5	ไม่เติม	30.60	20.30
21	420	45	2.5	1	24.69	28.45
22	420	45	2.5	5	29.50	22.50
23	420	45	1.0	1	26.90	24.00
24	420	45	2.5	1	24.69	28.45
25	420	45	5.0	1	28.14	25.50

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองแสดงผลของตัวแปรต่อสัดส่วนกากน้ำมันและสัดส่วนดีเซลเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

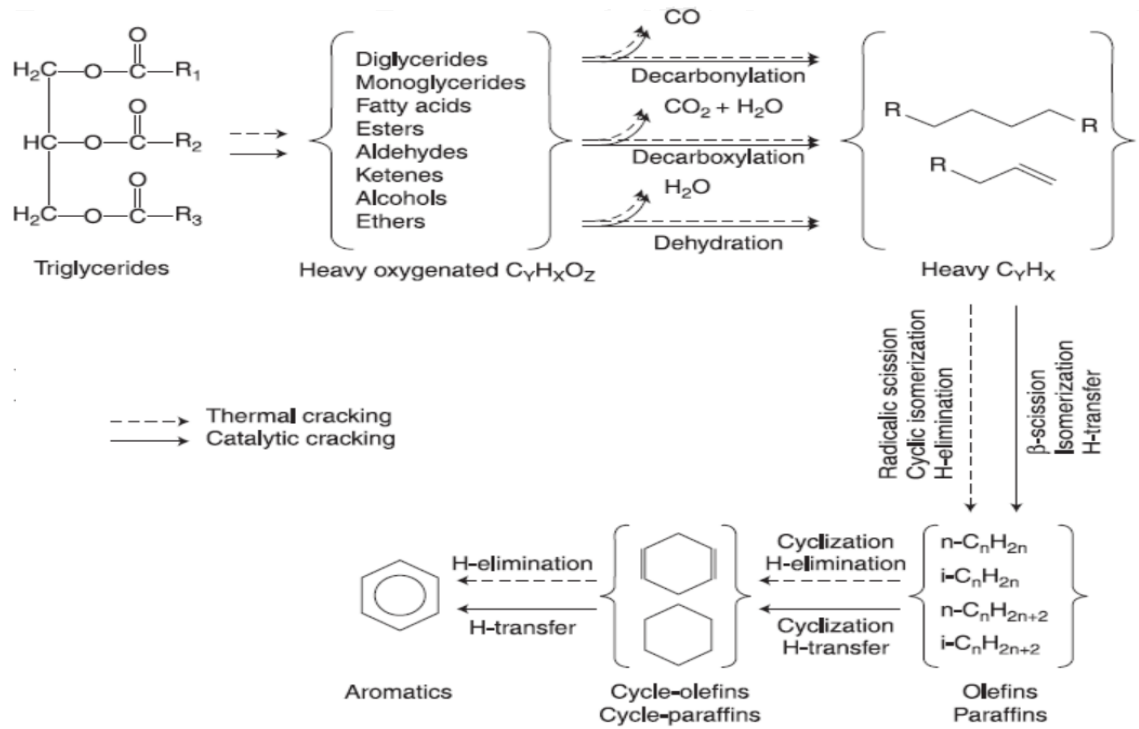
ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	สัดส่วนกากน้ำมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
26	380	45	2.5	1	0	0
27	400	45	2.5	1	0	0
28	420	45	2.5	1	23.91	33.26
29	440	45	2.5	1	29.90	22.40
30	420	30	2.5	1	33.30	25.90
31	420	45	2.5	1	23.91	33.26
32	420	60	2.5	1	30.60	16.85
33	420	75	2.5	1	27.00	18.90
34	420	45	2.5	ไม่เต็ม	29.50	25.90
35	420	45	2.5	1	23.91	33.26
36	420	45	2.5	5	33.70	20.55
37	420	45	1.0	1	28.50	24.75
38	420	45	2.5	1	23.91	33.26
39	420	45	5.0	1	28.60	267.38

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองแสดงผลของตัวแปรต่อสัดส่วนกากน้ำมันและสัดส่วนดีเซลเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	สัดส่วนกากน้ำมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สัดส่วนดีเซล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
40	380	45	2.5	1	0	0
41	400	45	2.5	1	0	0
42	420	45	2.5	1	20.64	35.54
43	440	45	2.5	1	29.30	24.36
44	420	30	2.5	1	26.38	32.63
45	420	45	2.5	1	20.64	35.54
46	420	60	2.5	1	27.03	24.60
47	420	75	2.5	1	31.20	16.90
48	420	45	2.5	ไม่เติม	35.60	25.50
49	420	45	2.5	1	20.64	35.54
50	420	45	2.5	5	27.03	24.60
51	420	45	1.0	1	24.30	33.94
52	420	45	2.5	1	20.64	35.54
53	420	45	5.0	1	18.64	39.44

ภาคผนวก ข

รูปที่ ข.1 สรุปปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนและการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในไขมันวัว



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไขมันวัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 โดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 และไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลองภายใต้ภาวะที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที ความดันไฮโดรเจน 1 บาร์และปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักไขมันวัวที่เป็นสารตั้งต้น	15.01	กรัม
น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา	0.38	กรัม
น้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์เปล่าพร้อมแหวนรองก่อนการทดลอง	945.01	กรัม
น้ำหนักรวมหลังการทดลองที่ผ่านการเช็ดด้วยทิชชู	945.05	กรัม
น้ำหนักรวมของกระดาศทิชชู กระดาศกรองก่อนอบ	2.82	กรัม
น้ำหนักรวมของกระดาศทิชชู กระดาศกรองหลังอบ	3.88	กรัม

วิธีการคำนวณ

ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊ส	=	958.76-954.29 = 4.47	กรัม
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส	=	(4.47/15.01)×100 = 29.76	โดยน้ำหนัก
ปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็ง (1)	=	945.05 - 945.01 = 0.04	กรัม
ปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็ง (2)	=	3.88 - 2.82 - 0.38 = 0.68	กรัม
ปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็ง (1) + (2) = (3)	=	0.04 + 0.68 = 0.72	กรัม
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง	=	(0.72/15.01)×100 = 4.83	โดยน้ำหนัก
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	(9.82/15.01)×100 = 65.41	โดยน้ำหนัก

การคำนวณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว

ร้อยละของเนฟทาในผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	9.375	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของเนฟทาในผลิตภัณฑ์	=	(9.375/65.41)×100 = 6.13	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของเคโรซีนในผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	9.375	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของเคโรซีนในผลิตภัณฑ์	=	(9.375/65.41)×100 = 6.13	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของดีเซลในผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	43.5	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของดีเซลในผลิตภัณฑ์	=	(43.5/65.41)×100 = 28.45	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของกาน้ำมันในผลิตภัณฑ์ของเหลว	=	37.75	โดยน้ำหนัก
ร้อยละของกาน้ำมันในผลิตภัณฑ์	=	(37.75/65.41)×100 = 24.69	โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวแตกสลายด้วยความร้อนที่ภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกากน้ำมันน้อยที่สุด

ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การแตกสลายด้วยความร้อน	
Retention time	องค์ประกอบ
4.575	Undecane
5.329	Dodecane
6.047	Tridecane
6.724	Tetradecane
7.368	Pentadecane
7.970	Hexadecane
8.547	Heptadecane
9.089	Octadecane
9.609	Heptadecane
9.636	Heptadecanone
10.107	Heptadecane
10.621	2-Nonadecanone
10.882	4,4'-Bis(tetrahydrothiopyran)
11.334	Tributyl acetylcitrate

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวของการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ภาวะเหมาะสมที่ให้สัดส่วนกาบน้ำมันน้อยที่สุด

แมกนีเซียมออกไซด์		แมกนีเซียมออกไซด์ผสมถ่านกัมมันต์ ที่อัตราส่วน 1:1		โดโลไมต์ผสมถ่านกัมมันต์ที่ อัตราส่วน 1:1	
Retention time	องค์ประกอบ	Retention time	องค์ประกอบ	Retention time	องค์ประกอบ
3.784	Decane	3.786	Decane	3.785	Decane
4.565	Undecane	4.570	Undecane	4.589	Undecane
5.323	Dodecane	5.326	Dodecane	5.323	Dodecane
6.041	Tridecane	6.042	Tridecane	6.041	Tridecane
6.720	Tetradecane	6.721	Tetradecane	6.718	Tetradecane
7.366	Pentadecane	7.369	Pentadecane	7.365	Pentadecane
7.965	Hexadecane	7.968	Hexadecane	7.964	Hexadecane
8.544	Heptadecane	8.549	Heptadecane	8.545	Heptadecane
9.083	Octadecane	9.087	Octadecane	9.083	Octadecane
9.602	Nonadecane	9.606	Nonadecane	9.603	Nonadecane
9.629	2- Heptadecanone	9.632	Heptadecane	9.629	Heptadecane
10.099	Eicosane	9.921	Cyclotetradecane, 1,7,11-trimethyl	9.912	Cyclotetradecane, 1,7,11-trimethyl
10.613	2- Nonadecanone	10.103	Eicosane	10.100	Eicosane
11.321	Tributyl acetylcitrate	10.578	Heneicosane	10.573	Heneicosane
		10.618	2-Nonadecanone	10.613	2-Nonadecanone
		11.030	Octadecane	11.021	Octadecane

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภัทรพร พรหมพันธุ์
วัน เดือน ปี เกิด	9 กุมภาพันธ์ 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
วุฒิการศึกษา	ประถมศึกษา บรรจงรัตน์วิทยา มัธยมตอนต้น บางมดวิทยา "สีสุกหวาดจวนอุปลัมภ์" มัธยมตอนปลาย ศึกษานารี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัษณ์มทิตล ในปีการศึกษา 2557 และเข้าศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/9 แกรนด์จรรยาต์น้อพาร์ทเมนต์ ตำบลปากเพี้ยว อำเภอเมือง จังหวัด สระบุรี 18000
ผลงานตีพิมพ์	เข้าร่วมงานประชุมวิชาการระดับชาติ เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับ บัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 10 เนื่องในโอกาสสถาปนามหาวิทยาลัยรามคำแหง ครบรอบ 47 ปี ในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยรามคำแหง