

ไฟโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค



นางสาวกชกร ชันอาสา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PYROLYSIS OF PALM OIL IN MICROCHANNEL REACTOR

Miss Kodchakon Kun-asa



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

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ไฟโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่อง

จุลภาค

โดย

นางสาวกชกร ชันอาสา

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.ลลิตา อัตนโถ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชดารา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.ลลิตา อัตนโถ)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป สามารถ)

กขกร ชั้นอาสา : ไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค (PYROLYSIS OF PALM OIL IN MICROCHANNEL REACTOR) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.ลลิตา อ้วนโถ, 114 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคโดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่ในช่วง 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในช่วง 2 ถึง 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง บนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาและแมกนีเซียมออกไซด์ ในขั้นต้นได้มีศึกษาการไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ โดยพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ลดลง ในการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาสามารถเพิ่มปริมาณการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ในส่วนของเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาลงในพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์จึงมีการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และอลูมินามีการยึดติดกับพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ได้ดี เมื่อทำการไพโรไลซิสโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลองมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์มากกว่าร้อยละ 99 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากเกินไปจะส่งผลต่อการสลายตัวของสารโมเลกุลใหญ่กลายเป็นแก๊ส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 80.84 และร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 34.63 ในส่วนภาวะที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมที่น้ำหนัก 0.21 กรัม สามารถส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันให้ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด โดยร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 42.91 ร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 85.79 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษานำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มาใช้ใหม่โดยพบว่า ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ลดลงเนื่องจากของแข็งที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาควิชา	เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5771902823 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS: PALM OIL, PYROLYSIS, MICROCHANNEL REACTOR

KODCHAKON KUN-ASA: PYROLYSIS OF PALM OIL IN MICROCHANNEL REACTOR.

ADVISOR: ASSOC. PROF. PRASERT REUBROYCHAROEN, Ph.D., CO-ADVISOR:

LALITA ATTANATHO, Ph.D., 114 pp.

The aim of this studying was to determine the optimal condition of palm oil pyrolysis over magnesium oxide (MgO) and alumina (Al₂O₃) catalyst in a microchannel reactor. The influence of operating variables reaction temperature 400 to 500 °C and mass of catalyst 0.1 to 0.3 grams was evaluated. Firstly, studying of palm oil pyrolysis in Pyrolysis-GC/MS were investigated. In case of non-catalytic pyrolysis, the result showed that increasing of reaction temperature had an effect on raising of hydrocarbon compound and decreasing of triglyceride. In case of using catalyst, MgO and Al₂O₃ were found that increased triglyceride cracking. In part of microchannel reactor, initial with catalyst was coated on surface of reactor. Adhesive catalyst on reactor surface was tested. Result showed that MgO and Al₂O₃ can be attached on the reactor surface. For non-catalytic pyrolysis, the result showed that reaction temperature had positive effect on hydrocarbon compound. However, the partly decomposition which led to the increasing of gas product was observe at high temperature. The optimal reaction temperature was 450 °C and flow rate of palm oil 2 ml/hr. This condition showed liquid yield 80.84 % and hydrocarbon compound yield 34.63 %. In catalytic pyrolysis, the higher hydrocarbon compound obtain when using MgO, due to the catalyst increased decarboxylation and decarbonylation reaction. The optimal reaction temperature was 450 °C and flow rate of palm oil 2 ml/hr. over 0.21 g magnesium oxide catalyst. This condition showed liquid yield 85.79 % and hydrocarbon compound yield 42.91 %. In addition, degenerateness of magnesium oxide was investigated. The catalyst showed lower potential, due to solid from pyrolysis cover on active site of catalyst.

Department: Chemical Technology Student's Signature

Field of Study: Chemical Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2016 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความช่วยเหลือที่ดีของรองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ซึ่งให้คำแนะนำและแนะแนวทางการวิจัย มาโดยตลอด ขอขอบคุณ ดร.ลลิตา อตันโถ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวางแผนการวิจัย ให้ความรู้และแนะแนวทาง ตลอดจนการเขียนเขียนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป สามารถ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) รวมถึงขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง สารเคมีต่างๆตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทำการทดลอง ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณแม่ผู้อบรมสั่งสอนให้กำลังใจช่วยเหลือและให้โอกาสทางการศึกษาที่ดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญตาราง.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำมันปิโตรเลียม	4
2.2 สมบัติและองค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมันพืช.....	5
2.2.1 ไตรกลีเซอไรด์.....	6
2.2.2 โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์.....	6
2.2.3 กรดไขมัน	7
2.3 เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืช	9
2.4 น้ำมันปาล์ม.....	10
2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.5.1 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา	12

2.5.2	กัมมันตภาพหรือความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์	14
2.5.3	สัดส่วนของการเลือกทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	14
2.5.4	ตำแหน่งกัมมันต์บนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	15
2.5.5	สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์	15
2.5.6	สมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	17
2.5.7	การเสื่อมสลายของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	18
2.6	ไพโรไลซิส	18
2.7	อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช	22
2.8	ไพโรไลซิสเชิงของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	24
2.8.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช.....	25
2.8.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาในไพโรไลซิสน้ำมันพืช.....	26
2.9	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช	27
2.9.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ต่อเนื่อง	27
2.9.2	เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	27
2.10	เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค	28
2.11	วิธีการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	30
2.11.1	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีโซล-เจล	30
2.11.2	Suspension deposition	31
2.11.3	วิธีการผสมระหว่างวิธีโซล-เจลและ Suspension deposition	32
2.12	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3	เครื่องมือและการทดลอง.....	37
3.1	สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	38

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา.....	38
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม	38
3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	42
3.3 การเตรียมสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาและการขึ้นรูปบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์.....	45
3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์	45
3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา.....	45
3.3.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา	45
3.4 การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์	46
3.5 วิธีการดำเนินงานไพโรไลซิสในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	46
3.6 การทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม	46
3.7 การดำเนินงานไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค.....	47
3.8 การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ใหม่.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	48
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม	48
4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณ โมนอกลิเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์และไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันปาล์ม.....	48
4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม	48
4.1.3 การวิเคราะห์น้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค Temperature Gravimetric Analysis (TGA).....	50
4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD)	50
4.3 การทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	51

4.4 การกำหนดภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบ ช่องจุลภาคเป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	55
4.4.1 อุณหภูมิในการทดลอง.....	55
4.4.2 อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม.....	55
4.4.3 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	55
4.4.4 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	55
4.5 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊ส โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Pyrolysis – GC/MS).....	56
4.5.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิส แก๊สโครมาโท กราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	56
4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิส แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ภาวะที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	61
4.6 การหาภาวะที่เหมาะสมในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม และองค์ประกอบของเชื้อเพลิง เหลวที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค.....	63
4.6.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิในไพโรไลซิสที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำมัน ปาล์ม.....	63
4.6.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในไพโรไลซิสที่มีต่อผลิตภัณฑ์จาก การแตกตัวของน้ำมันปาล์ม.....	70
4.6.3 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการ แตกตัวของน้ำมันปาล์ม.....	75
4.6.4 การศึกษาผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่มีต่อผลิตภัณฑ์ จากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม.....	82
4.6.5 การศึกษาผลการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ในไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม.....	87
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	93

5.2 ข้อเสนอแนะ	95
รายการอ้างอิง	96
ภาคผนวก ก.....	102
ภาคผนวก ข.....	103
ภาคผนวก ค.....	110
ภาคผนวก ง	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	114



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์.....	6
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์	6
รูปที่ 2.3	สัดส่วนปริมาณการผลิตน้ำมันพืชในตลาดโลก.....	11
รูปที่ 2.4	ลักษณะของผลปาล์ม	11
รูปที่ 2.5	ผลของอุณหภูมิต่อเชื้อเพลิงเหลวช่วงดีเซล.....	23
รูปที่ 2.6	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยา ต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.7	โครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์	26
รูปที่ 2.8	ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	26
รูปที่ 2.9	วิถุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา.....	27
รูปที่ 2.10	เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค.....	28
รูปที่ 2.11	เปรียบเทียบการขยายกำลังการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครและเครื่องปฏิกรณ์ ทั่วไป.....	29
รูปที่ 2.12	วิธีโชน-เจลและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเตรียม	31
รูปที่ 3.1	แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิส.....	39
รูปที่ 3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม.....	39
รูปที่ 3.3	ส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค	40
รูปที่ 3.4	ปั๊มแรงดันสูง.....	41
รูปที่ 3.5	เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส.....	41
รูปที่ 3.6	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	42
รูปที่ 3.7	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับแก๊ส	43
รูปที่ 3.8	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับของเหลว	44

รูปที่ 3.9 เครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	44
รูปที่ 4.1 ผลของ TGA และ DTA ของน้ำมันปาล์ม.....	50
รูปที่ 4.2 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	51
รูปที่ 4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา	53
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทดสอบการยึดติดตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม โดย (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (ค) ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา.....	54
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อส่วนประกอบตั้งต้นของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที.....	57
รูปที่ 4.6 โครมาโทแกรมได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที.....	58
รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิต่อจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที.....	59
รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ ในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที.....	60
รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	63
รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	64
รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊สในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	65

- รูปที่ 4.12** ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละโดยมวลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและกรดไขมันอิสระ ในผลิตภัณฑ์ของเหลว ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง66
- รูปที่ 4.13** ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง69
- รูปที่ 4.14** ผลต่ออัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....70
- รูปที่ 4.15** ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ของผลิตภัณฑ์ ของเหลว แก๊สและของแข็ง ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....71
- รูปที่ 4.16** ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่ได้จากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....72
- รูปที่ 4.17** ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละโดยมวลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและกรดไขมันอิสระ ในผลิตภัณฑ์ของเหลว ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....73
- รูปที่ 4.18** ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....74
- รูปที่ 4.19** ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 75
- รูปที่ 4.20** ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....76

- รูปที่ 4.21** การกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง78
- รูปที่ 4.22** ผลิตภัณฑ์แก๊สจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....81
- รูปที่ 4.23** ผลน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค82
- รูปที่ 4.24** ผลของ TGA และ DTA ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ หลังทำไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.19 กรัม.....83
- รูปที่ 4.25** ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและสารประกอบ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค.....84
- รูปที่ 4.26** ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง85
- รูปที่ 4.27** ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค.....86
- รูปที่ 4.28** ผลของจำนวนครั้งในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค87
- รูปที่ 4.29** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ของเหลวไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในแต่ละครั้งที่ใช้งาน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (ก) ครั้งที่ 1 (ข) ครั้งที่ 2 (ค) ครั้งที่ 3.....89

รูปที่ 4.30 การเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์.....90

รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจากที่ได้จากการปรับค่ากับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจริงที่ได้จากการทดลอง.....102



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ.....	5
ตารางที่ 2.2	สมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช	7
ตารางที่ 2.3	งานวิจัยที่ผ่านมาของไพโรไลซิสน้ำมันพืช	25
ตารางที่ 2.4	ข้อดีข้อเสียของเทคนิคโซล-เจล	30
ตารางที่ 2.5	งานวิจัยที่ผ่านมาของการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาบนวัสดุชนิดต่างๆ.....	32
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม.....	48
ตารางที่ 4.2	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	49
ตารางที่ 4.3	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่ได้จากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบออกซิเจน อุนหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที.....	62
ตารางที่ 4.4	องค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	68
ตารางที่ 4.5	องค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	79
ตารางที่ 4.6	ผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค อุนหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	80
ตารางที่ 4.7	งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับไพโรไลซิสน้ำมันพืช	92
ตารางที่ ก.1	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	104
ตารางที่ ก.2	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบในของเหลวด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกสโคปโทรมิเตอร์	105

- ตารางที่ ก.3** ผลร้อยละผลได้ของของเหลว แก๊ส และของแข็งของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ..... 107
- ตารางที่ ก.4** ผลร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละของสารประกอบออกซิเจนต ร้อยละของกรดไขมันอิสระ ของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ..... 108
- ตารางที่ ก.5** ผลร้อยละของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบออกซิเจนต ของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ..... 109



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันวิกฤตด้านพลังงานส่งผลให้ราคาน้ำมันมีความผันผวน และปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวม จากการเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ กระทรวงพลังงานจึงได้มีการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ยกตัวอย่างเช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล [1]

น้ำมันพืชถือว่าเป็นหนึ่งในพลังงานชีวมวลที่สำคัญสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งมีหลากหลายประเภท เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน หรือน้ำมันปาล์ม จากการรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่าน้ำมันปาล์มคือน้ำมันพืชที่มีกำลังการผลิตสูงสุดในประเทศไทย และมีกำลังการผลิตสูงขึ้นทุกปีในช่วงปี พ.ศ. 2556 ถึง 2558 น้ำมันปาล์มจึงมีปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว [2]

ไพโรไลซิสของน้ำมันพืชเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งเกิดผ่านกระบวนการแตกสลายทางความร้อนเคมี ของน้ำมันพืชในสภาวะไร้ออกซิเจนได้สารประกอบอินทรีย์ซึ่งสามารถนำไปผลิตน้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซลได้ ที่ผ่านมามีการพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้สามารถผลิตน้ำมันที่มีองค์ประกอบที่มีความเจือจางมากขึ้น และสามารถใช่วัตถุดิบได้หลากหลาย โดยไม่จำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อผสมออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย โดยไม่ต้องมีกระบวนการล้างผลิตภัณฑ์จึงไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ความหนืดต่ำ สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในไพโรไลซิสมีอยู่หลากหลายประเภท เช่น เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนหรือเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของการถ่ายเทมวล (Mass transfer) และความร้อน (Heat transfer) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโคร (Microtechnology) เช่น เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่มีลักษณะของช่องในการทำปฏิกิริยาที่มีขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของช่องในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร [3] ซึ่งส่งผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์กับปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์สูง ทำให้การถ่ายเทมวลและความร้อนเกิดขึ้นได้ดีและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลดลง นอกจากนี้การเพิ่มกำลังการผลิต (Scaling up) ของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ทำ

ได้โดยการเพิ่มจำนวนของเครื่องปฏิกรณ์ (Numbering up) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ไม่แตกต่างจากเดิม ซึ่งแตกต่างจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่นที่ทำการขยายขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนแปลงไป

ในงานวิจัยนี้สนใจการพัฒนากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวด้วยไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค เพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันพืชเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวให้ไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ ซึ่งยังต้องการงานวิจัยที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการผลิต ดังนี้ อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา และการนำมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค
- 1.2.2 หากภาวะที่เหมาะสมของไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

องค์ความรู้ด้านการผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค
- 1.4.2 ศึกษาภาวะและปัจจัยต่างๆในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ค้นหาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ
- 1.5.2 เตรียมระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค
- 1.5.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ซิลิกา (Silica, SiO_2) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) และ อลูมินา (Alumina, Al_2O_3)
- 1.5.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาโดย เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (X-ray Diffractometer, XRD)

1.5.5 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Pyrolysis-Gas chromatograph/Mass spectrometer, Pyrolysis - GC/MS) โดยปัจจัยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

- อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส

- ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยประกอบด้วย ซิลิกา แมกนีเซียมออกไซด์ และ อลูมินา

1.5.6 ขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

1.5.6 ทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์

1.5.7 ดำเนินการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

- อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 400 425 450 475 และ 500 องศาเซลเซียส

- อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่ 2 4 และ 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

- ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ และ อลูมินา

- น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ 0.1-0.3 กรัม

- การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

1.5.8 วิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม ซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ในสถานะ ของเหลว แก๊ส ของแข็ง โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของของเหลว และแก๊สที่เกิดขึ้นโดย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer, GC/MS) และ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)

1.5.9 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลงานวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน ประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานมาหลากหลายปี เช่นเดียวกับทั่วโลก ราคาน้ำมันที่มีความผันผวน ส่งผลให้การลงทุนเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้รับความสนใจมากขึ้น ทั้งนี้การพัฒนาเชื้อเพลิงเหลวในประเทศไทยยังได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาล เพื่อนำมาใช้พลังงานทดแทนทั้งประกอบด้วย แก๊สธรรมชาติ (NGV) การใช้แก๊สโซฮอลล์ (Gasohol) และไบโอดีเซล (Bio-diesel) ถึงแม้ว่าการใช้ แก๊สโซฮอลล์จะเป็นทางเลือกใหม่และช่วยประหยัดการนำเข้าน้ำมัน แต่การผลิตแก๊สโซฮอลล์ในปัจจุบันยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด และปัญหาต้นทุนการผลิตเอทานอลที่สูงขึ้น ดังนั้น จึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวเพื่อทดแทนพลังงานปิโตรเลียมในหลากหลายกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นวัตถุดิบการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน

2.1 น้ำมันปิโตรเลียม [4]

ปิโตรเลียม มาจากคำในภาษาละติน 2 คำ คือ เพตรา แปลว่า หิน และโอเลียม ซึ่งแปลว่า น้ำมันโดยรวมแล้วหมายถึง น้ำมันที่ได้จากหิน ตามนิยาม ปิโตรเลียมหมายถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ตามธรรมชาติมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือคาร์บอนและไฮโดรเจน โดยอาจมีธาตุโลหะชนิดอื่น เช่น กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน ปนอยู่ด้วย ปิโตรเลียมเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือ แก๊ส ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปิโตรเลียม ความร้อน และความกดดันของสภาพแวดล้อมที่ปิโตรเลียมนั้นถูกกักเก็บ

ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันดิบ ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน รวมตัวกันเป็นไฮโดรคาร์บอนอะตอม ซึ่งส่วนใหญ่จะมีจำนวนตั้งแต่ 4 อะตอมขึ้นไป นอกจากนี้ยังมีธาตุหรือสารอื่นๆประกอบอยู่ด้วย เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน วานาเดียม เหล็ก และนิกเกิล การนำน้ำมันดิบมาใช้ประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องผ่านกระบวนการกลั่นทำได้โดยการแยกองค์ประกอบของน้ำมันดิบ เป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยความต่างของจุดเดือด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบมีหลากหลายชนิด สามารถสรุปได้ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ

ผลิตภัณฑ์	จำนวน	ช่วงของจุด	สถานะที่ 25	ประโยชน์
การกลั่น	อะตอมของ	เดือด	(°C)	
น้ำมันดิบ	คาร์บอน	(°C)		
แก๊ส	C ₁ -C ₄	น้อยกว่า 30	แก๊ส	- สารเคมีวัสดุสังเคราะห์ - เชื้อเพลิง
แนฟทา	C ₅ -C ₁₂	30 - 170	ของเหลว	- น้ำมันเบนซิน - สารเคมี
น้ำมันก๊าด	C ₁₀ -C ₁₄	170 - 250	ของเหลว	- เชื้อเพลิงเครื่องบิน - น้ำมันก๊าด
น้ำมันดีเซล	C ₁₄ -C ₁₉	250 - 340	ของเหลว	- น้ำมันดีเซล
น้ำมันหล่อลื่น	C ₁₉ -C ₃₅	มากกว่า 350	ของเหลว	- น้ำมันหล่อลื่น
น้ำมันเตา	C ₃₅ -C ₄₀	มากกว่า 400	ของเหลว	- เชื้อเพลิง
ไข	C ₄₀ -C ₅₀	มากกว่า 400	กึ่งเหลวกึ่งแข็ง	- เทียนไข เครื่องสำอาง ยา
ยางมะตอย	มากกว่า 50	มากกว่า 400	กึ่งเหลวกึ่งแข็ง	- ทำถนน วัสดุกันซึม

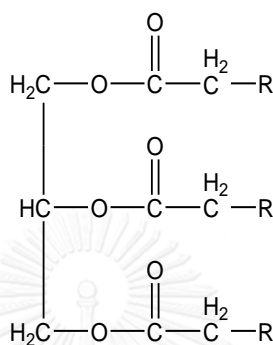
สำหรับหัวข้อต่อไป จะเป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยไฟโรว์ไลซิสน้ำมันพืช ทั้งในด้านของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยไฟโรว์ไลซิส รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประกอบกับการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 สมบัติและองค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมันพืช

ไขมันและน้ำมันพืชที่พบทั่วไปในพืชและสัตว์เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน หรือน้ำมันปาล์ม มีสารประกอบหลักคือไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 99 ในน้ำมันพืช นอกจากนั้นยังประกอบด้วย โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ซัลเฟอร์ (Sulphur) โทคอฟีรอล (Tocopherols) ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides) คาร์โรทีน (Carotenes) และน้ำ

2.2.1 ไตรกลีเซอไรด์

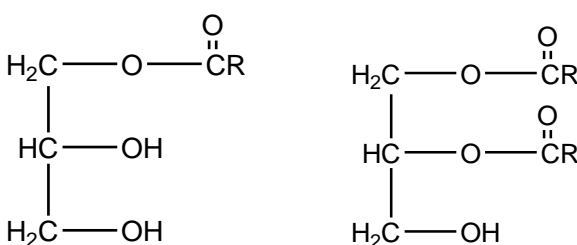
ลักษณะโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์หรือไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โครงสร้างทั่วไปของกลีเซอไรด์ แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยปกติแล้วในน้ำมันพืชตามธรรมชาติจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง สถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้องและในไขมันสัตว์จะประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัวสูง ทำให้มีสถานะของแข็งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์

2.2.2 โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์

ลักษณะโครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันหนึ่งและสองโมเลกุล ตามลำดับ โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ โดยแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยในโมโนกลีเซอไรด์จะมีหมู่ไฮดรอกซิลเหลืออยู่ 2 หมู่ และไดกลีเซอไรด์เหลือ 1 หมู่ โดยสารประกอบทั้งสองชนิดไม่ค่อยพบในธรรมชาติแต่จะพบในไขมันที่ไม่สมบูรณ์



โมโนกลีเซอไรด์

ไดกลีเซอไรด์

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์

2.2.3 กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ปลายหนึ่งของโมเลกุลเป็นหมู่คาร์บอกซิล ปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ทำให้กรดไขมันไม่ละลายในน้ำ ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเป็นสายโซ่ยาวที่อิมตัวและไม่อิมตัว จำนวนคาร์บอนของสายโซ่อยู่ในช่วง 14 ถึง 22 อะตอมสมบัติกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันพืชแสดงในตารางที่ 2.2

สมบัติทางกายภาพของกรดไขมันในน้ำมันพืช [5]

1. ลักษณะกายภาพของกรดไขมันขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนและสมบัติความอิมตัวหรือไม่อิมตัว โดยปกติ แล้วจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันจะแปรผันตรงตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ในขณะที่จะแปรผกผันกับความไม่อิมตัวของกรดไขมัน กล่าวคือ ในกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่ากรดไขมันขนาดเล็ก และในกรดไขมันอิมตัวจะมี จุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่ากรดไขมันที่ไม่อิมตัว

2. โครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่มีขั้วและไม่ขั้ว โดยส่วนที่มีขั้ว คือ คาร์บอกซิล และส่วนที่ไม่มีขั้ว คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่เชื่อมกับหมู่คาร์บอกซิล โดยขั้วของกรดไขมันจะลดลงเมื่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวขึ้น

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันที่ในน้ำมันพืช [5]

กรดไขมัน	น้ำหนัก โมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ปริมาณความร้อนจากการเผา ไหม้ (kJ/kg)
กรดคาไพโรลิก (8:0)	144.22	16.5	239.3	-
กรดคาพริก (10:0)	172.27	31.5	270	35,291.37
กรดลอริก (12:0)	200.32	44	131	36,828.26
กรดไมริสติก (14:0)	228.38	58	250.5	37,996.41
กรดปาล์มติก (16:0)	256.43	63	350	38,942.46
กรดสเตียริก (18:0)	284.48	71	360	39,653.28
กรดโอเลอิก (18:1)	282.47	16	286	39,361.92
กรดลิโนเลอิก (18:2)	280.45	-5	229-230	-
กรดลิโนเลนิก (18:3)	278.44	-11	230-232	-
กรดอีรูซิก (22:1)	338.58	34	256	-

2.2.4 สมบัติทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันพืช [5]

1. การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กรดไขมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด เบส และเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ด้วยเบสเรียกว่า แซพอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันเรียกว่า สบู่ลิพิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเบสเรียกว่า แซพอนิฟิเคชันแมทเทอร์ (Saponification matter) เช่น ไตรกลีเซอไรด์หรือฟอสโฟลิพิด ส่วนลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเบส เรียกว่า อันแซพอนิฟิเคชันแมทเทอร์ (Unsaponification matter) เช่น ไฮโดรคาร์บอนหรือกลีเซอรอล

ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชมักมีปริมาณที่แน่นอนและเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถที่จะใช้เป็นค่าในการบ่งบอกคุณสมบัติของน้ำมันพืชเรียกว่า ค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification Value (S.V.)) ซึ่งค่านี้ คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์น้ำมันพืช ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าชี้บอกขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งถ้ามีค่า S.V. มาก กรดไขมันมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักมาก จึงจำเป็นต้องใช้เบสเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทางตรงกันข้ามกันถ้าค่า S.V. ต่ำแสดงว่ากรดไขมันที่มีองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้เบสในการไฮโดรไลซิสน้อย

2. ฮาโลจิเนชัน (Halogenation) คือปฏิกิริยาการเติมสารฮาโลเจน (Halogen) ในพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช ฮาโลเจนที่นิยมนำมาใช้ในการบ่งบอกปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่าเลขไอโอดีน (Iodine Number (I.N.)) หรือค่าไอโอดีน (Iodine value)

ค่าไอโอดีน คือจำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีองค์ประกอบในโมเลกุลของกรดไขมันหรือจำนวนน้ำมัน 100 กรัม ถ้าเลขไอโอดีนสูงเป็นตัวบ่งชี้ว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก และสามารถเกิดอาการหืนเนื่องจากออกซิเดชันได้ง่ายด้วย

3. การหืน (Rancidity) การหืนคือการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีของไขมันและน้ำมันทำให้มีกลิ่นผิดปกติ การหืนเกิดขึ้นได้หลายแบบ

- การสลายไขมัน (Lipolysis) เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์โดยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด หรือเบส โดยปกติแล้วการหืนลักษณะนี้จะเกิดขณะทอดน้ำมันที่มีน้ำหรือมีความชื้น

- การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidative rancidity) ปฏิกริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจากการหืนที่ ของพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเกิดลักษณะการเชื่อมต่อของเพอร์ออกไซด์ขึ้นระหว่างพันธะคู่ การหืนชนิดนี้จะเกิดจากน้ำมันและน้ำผสมกันแล้วสัมผัสกับอากาศทำให้กลิ่นหรือรสชาติแตกต่างไปจากเดิม เกิดจากการเร่งปฏิกิริยา จากโลหะ ความร้อนหรือแสง
- การหืนแบบคีโตนิก (Ketonic rancidity) เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ที่โมเลกุลของสารไม่อิ่มตัวได้สารประกอบจำพวกคีโตน

4. Richert Meissl Number (R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันที่สามารถละลายน้ำได้หรือระเหยได้ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-6 อะตอมได้แก่ กรดบิวทีริกและกรดคาโพรริก

5. Polenske Number (P.N.) เป็นการวัดกรดไขมันที่ระเหยได้แต่ไม่ละลายน้ำโดยจะมีช่วงจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 8-14 อะตอม

2.3 เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืช

จากคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่ามีความสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลโดยน้ำมันพืชเหมาะสมที่จะใช้สำหรับใช้ในเครื่องยนต์เซลที่มีความเร็วรอบที่ต่ำ เช่น เครื่องยนต์การเกษตรหรือประมง แต่ด้วยคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันพืชที่มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลที่มาจากฟอสซิส และมีค่าความหนืดสูงมากกว่า 10 เท่า ในการสันดาปเครื่องยนต์จะมีการฉีดน้ำมันให้มีลักษณะเป็นเม็ดฝอย ทำให้น้ำมันพืชที่มีความหนืดที่สูง ส่งผลต่อการป้อนน้ำมันเข้าและการสันดาปภายในเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ เกิดคราบเขม่าอยู่บริเวณหัวฉีด แหวน ฉนวนลูกสูบและวาล์ว หลังการสันดาป และการระเหยยากของน้ำมันพืชทำให้เกิดการอุดตันของเครื่องยนต์ที่ไม่ดีนัก จึงไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันพืชก่อนจะนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายวิธี ดังนี้

1. น้ำมันพืชตัดแปลงหรือการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Blending oil fuel) [6] ซึ่งน้ำมันพืชที่นำมาใช้ เช่น น้ำปาล์มกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ดังนั้นการผสมกันจึงทำได้ง่าย และต้นทุนในการผลิตก็ต่ำกว่าวิธีอื่น ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องตัดแปลง จากงานวิจัยของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา มีการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 15 ต่อ 85 เพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์มาก แต่น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการผสมต้องผ่านการกรองส่วนที่เป็นไขออกมาก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันในไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันที่มีการผสมแล้วควรจะนำไปใช้ทันที เพราะเมื่อทิ้งไว้จะมีการจับ

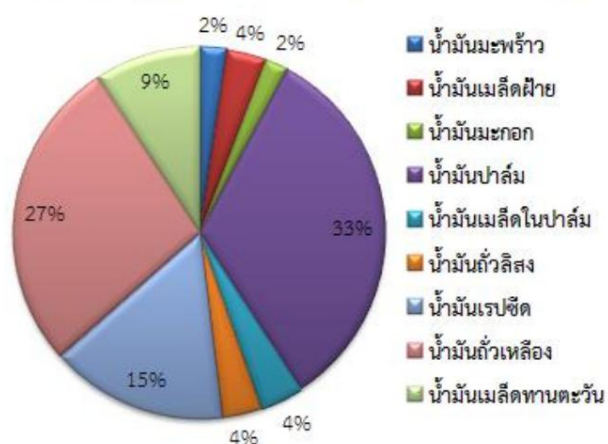
เป็นก้อนทำให้เกิดการอุดตัน การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลจึงยังไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในระยะยาว

2. น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืช คือน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ได้จากน้ำมันหรือไขมันของพืชหรือสัตว์ อาจใช้ในรูปน้ำมันดิบโดยตรงหรือแปรรูปเป็นเอสเทอร์ (Ester) แต่ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลหรือการแข็งตัวของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูงกว่า ทำให้เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง จะต้องมีการปรับแต่งห้องเผาไหม้ ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบน้ำมันเชื้อเพลิง จึงจะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลไม่เกิดการขัดข้อง [7]

3. การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือการทำให้องค์ของเหลวแตกกระจายเป็นหยดขนาดเล็กกระจายตัวในวัฏภาคของเหลว โดยทำให้คงสภาพโดยอาศัยสารอิมัลชันหรือสารลดแรงตึงผิว ในการทำไมโครอิมัลชันคือการทำให้องค์ของเหลวสอง สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยไมโครอิมัลชันจะมีขนาดทั่วไปเท่ากับ 1-150 นาโนเมตร โดยในปัจจุบันมีการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยที่สารประกอบทั้งสองไม่สามารถละลายรวมกันเป็นเนื้อเดียว แต่สามารถกระจายเป็นขนาดเล็กโดยการฉีดละอองฝอยและเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อให้สารประกอบทั้งสองสัมผัสกันน้อยที่สุด โดยพบว่าแอลกอฮอล์ ที่ผสมเข้าไปในของเหลวไมโครอิมัลชัน ทำให้ค่าความร้อนจำเพาะ ในของเหลวมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ จึงพบปัญหาเกี่ยวกับการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [8]

2.4 น้ำมันปาล์ม

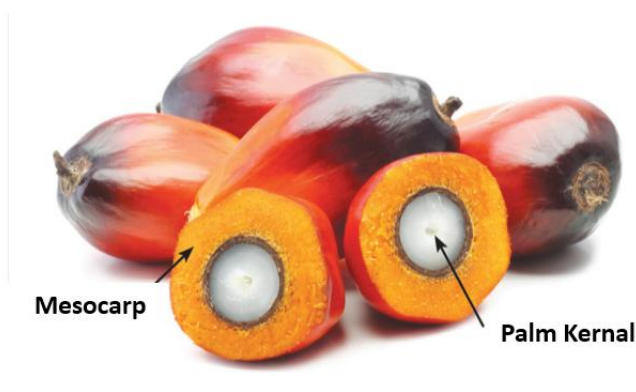
น้ำมันพืชถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยและของโลกโดยมี การผลิตน้ำมันที่หลายชนิด เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปาล์ม โดยปริมาณการผลิตน้ำมันของโลกในปี 2554 แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยจะพบว่าน้ำมันปาล์มคือน้ำมันพืชที่มีกำลังการผลิตสูงที่สุดในโลก จึงมีความเหมาะสมและยั่งยืนในการใช้ผลิตเชื้อเพลิงเหลว



รูปที่ 2.3 สัดส่วนปริมาณการผลิตน้ำมันพืชในตลาดโลก [9]

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันพืชที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือผลของต้นปาล์ม ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอสิคินีเอ็นซิส (*Elaeis guineensis*) น้ำมันปาล์ม ได้จาก ผลปาล์ม 2 ส่วนคือ เปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเนื้อเมล็ดปาล์ม เนื้อในของเมล็ด (palm kernel) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ลักษณะของผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 2.4

ข้อเสียของน้ำมันปาล์มจะเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ง่ายด้วยเอนไซม์ไลเปส (Lypase) เมื่อเกิดการชำรุดหรือการกระแทกของผลปาล์มในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนย้ายทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและมีสีเหลืองส้มของแคโรทีน (Carotene) ปะปนทำให้น้ำมันต้องผ่าน การกำจัดสี โดยขบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย Phosphatides (ยางเหนียว) วิตามินอี ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระและขี้ผึ้ง [10]



รูปที่ 2.4 ลักษณะของผลปาล์ม [11]

2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา หมายถึง สารที่เมื่อเติมลงเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น และมีผลต่อประเภทของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ก็ได้ แต่เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหลือเท่าเดิม และมีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากเดิม ซึ่งหมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เข้าไปเปลี่ยนแปลงเทอร์โมไดนามิกส์ของปฏิกิริยาแต่เปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ในการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากช่วยลดพลังงานกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Activation Energy) ให้ต่ำลง ทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์มีจำนวนมากขึ้นจึงทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น

สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ไม่รบกวนสมดุลของปฏิกิริยา
2. ลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา
3. ไม่ใช่พลังงาน

ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในการทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้มีการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีความรวดเร็ว ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีบทบาทสำคัญในการผลักดันเชิงธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานและวัตถุดิบที่มีอย่างจำกัด ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการนำมาใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ศาสตร์ของการเร่งปฏิกิริยาสำหรับการเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาคอนเวอร์เตอร์ในรถยนต์ หรือรถขับเคลื่อนโดยใช้ไฟฟ้ารูดหน้า และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในการเปลี่ยนปฏิกิริยาเคมีมาเป็นพลังงาน เพื่อนำมาใช้ทดแทนแหล่งอื่นๆ และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งควรได้รับการส่งเสริมในความรู้พื้นฐาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเข้าใจถึงหลักการงานและการประยุกต์ใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

2.5.1 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา [12]

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogenous Catalyst) คือ ตัวเร่งที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น โดยส่วนใหญ่อยู่ในสถานะของเหลว การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีข้อดีหลายประการ เช่น เกิดได้ในสภาวะปกติทำให้ลดค่าใช้จ่ายภายในกระบวนการ ไม่เกิดการสลายตัวของสารบางชนิดที่เกิดการสลายตัวเมื่อใช้อุณหภูมิสูง สามารถเลือกเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการ และตัวเร่งชนิดนี้ราคา ไม่แพง แต่มี

ข้อเสียคือมีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการแยกตัวเร่งออกจากสารผลิตภัณฑ์เพื่อสารผลิตภัณฑ์ที่ได้สารที่มีความบริสุทธิ์ ทำให้เกิดน้ำเสียและมีอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาสั้น ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด-เบส ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน สารประกอบเฮไลด์ของโลหะ รูเทเนียมคลอไรด์ที่มีลิแกนด์คาร์บอนออกไซด์และฟอสฟิน ในปฏิกิริยาคาร์บอนิลเลชันของโอเลฟินส์หรือเมทานอล สารประกอบออร์แกโนเมทัลลิก (Organometallic compound) ไททาเนียมไตรคลอไรด์ใช้ในปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของโอเลฟินส์

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous Catalyst) หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคที่แตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา นิยมใช้ในสารตั้งต้นอยู่ในวัฏภาคของเหลวและแก๊ส โดยปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ มีข้อดี คือ ทำให้เกิดสารพิษน้อย สามารถให้ที่สถานะอุณหภูมิและความดันสูง ในขั้นตอนแยกออกจากสารผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ง่าย ทำให้สามารถที่จะนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้และมีอายุการใช้งานที่สูง

ตัวอย่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

1. โลหะ เช่น เหล็กนำไปใช้สำหรับเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาสังเคราะห์แอมโมเนีย
2. โลหะที่มีตัวรองรับ เช่น นิกเกิลบนซิลิกาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว
3. ออกไซด์ของโลหะ เช่น วานาเดียม สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของไฮโดรคาร์บอน

การเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่พื้นผิวของตัวเร่ง มักจะใช้กับเครื่องปฏิกรณ์ที่มีสามเฟส โดยเฟสของแข็งคือตัวเร่งปฏิกิริยา ของเหลวและแก๊ส คือสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยขั้นตอนการเกิดมี 7 ขั้นตอนดังนี้ [13]

1. การแพร่กระจายของ สารตั้งต้นจากภายนอกเข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา หมายถึงการแพร่ของสารตั้งต้นจากแก๊สเฟสเข้าสู่ชั้นฟิล์มของแก๊ส เป็นการแพร่ผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังฟิล์มที่เป็นขอบเขต ล้อมรอบตัวตัวเร่งปฏิกิริยา โดยขั้นตอนนี้ยังไม่มีเปลี่ยนแปลงทางเคมี

2. การแพร่กระจายสารตั้งต้นภายในรูพรุน เป็นการถูกจำกัดด้วยการแพร่ภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการแพร่กระจายจากบริเวณผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบริเวณที่ว่องไว (active site) และเนื่องจากรูพรุนมีขนาดเล็กมากและไม่มีรูปร่างที่แน่นอนทำให้เกิดการชนกันระหว่างการแพร่ ซึ่งเป็นการชนกันระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้น หรือการชนกันกับผนังรูพรุน ขั้นตอนนี้ยังไม่มีเปลี่ยนแปลงทางเคมี

3. การดูดซับของสารตั้งต้นลงบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา (Adsorption) ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบริเวณตำแหน่งที่ว่องไวภายในรูพรุน โดยโมเลกุลสารตั้งต้นจะถูกดูดซับที่ผิวหน้าแล้วแพร่ไปจนถึงตำแหน่งว่องไวภายในรูพรุน โดยโมเลกุลสารตั้งต้นจะถูกดูดซับที่ผิวหน้าแล้วแพร่ไปจนถึงตำแหน่งว่องไวบริเวณภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเกิดการดูดซับในเชิงเคมี (Chemical adsorption) หรือการเกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้น ที่เรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbate) กับผิวหน้าของของแข็งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขั้นสุดท้าย

4. การเกิดปฏิกิริยาของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยา (Surface reaction) เมื่อเกิดการดูดซับแล้วสารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น

5. การคายซับ (Desorption) เป็นการหลุดออกของผลิตภัณฑ์จากผิวตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขั้นสุดท้าย

6. การแพร่ของผลิตภัณฑ์ออกจากรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยโดยผลิตภัณฑ์จะแพร่ผ่านรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยากลับไปสู่ผิวด้านนอก โดยสารตั้งต้นจะถูกแพร่ออกมาด้วยถ้าปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 4 เกิดไม่สมบูรณ์

7. การแพร่ของผลิตภัณฑ์จากรูพรุนผ่านผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์จะมีสารตั้งต้นแพร่ออกมาเช่นเดียวกัน

2.5.2 กัมมันตภาพหรือความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาวិวิพันธ์

กัมมันตภาพตัวเร่งปฏิกิริยาหรือความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การวัดในเชิงปริมาณที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา หรืออัตราเร็วที่ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเคมี กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เพียงขึ้นกับธรรมชาติของสารเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับพื้นที่ของพื้นที่ผิวกัมมันต์ (Active Surface) หรือตัวยับยั้ง (Inhibitor) สารเหล่านั้นโดยทั่วไปจะใช้เพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้น โดยมีเพิ่มเข้าไปเพื่อที่จะสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาเองได้

2.5.3 สัดส่วนของการเลือกทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้ปฏิกิริยาในเส้นทางหนึ่ง (Reaction path way) มากกว่าเส้นทางอื่นๆทั้งหมด โดยจะเลือกเร่งปฏิกิริยาสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกรณีสัดส่วนของการเลือกทำปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่าทองแดงดูดซับไฮโดรเจน และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรงสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน หรือ ดีไฮโดรจิเนชัน ในขณะที่อะลูมิเนียมเป็นตัวดูดซับน้ำและทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับไฮโดรจิเนชัน ซึ่งการที่ยังมีสัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยาสูงจะทำให้ประหยัดวัตถุดิบ และก่อกมลพิษน้อยลง รวมทั้งกระบวนการมีความซับซ้อนน้อย ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายการลงทุน

2.5.4 ตำแหน่งกัมมันต์บนตัวเร่งปฏิกิริยาวีริพันธ์ [13]

ตำแหน่งกัมมันต์ คือ อะตอมหรือกลุ่มอะตอมของพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา สำหรับวัฏภาคกัมมันต์ (Active phase) มีหลายชนิดได้แก่ โลหะ โลหะออกไซด์ โลหะซัลไฟด์และโลหะคาร์ไบด์ ซึ่งกระจายตัวในพื้นผิวรูพรุนของตัวรองรับในรูปอนุภาคหรือผลึกขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มปริมาณตำแหน่งกัมมันต์สำหรับการเร่งปฏิกิริยาให้มากขึ้น พื้นผิวของผลึกโลหะเหล่านี้ประกอบด้วยอะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งสามารถให้หรือรับอิเล็กตรอนในกระบวนการสร้างหรือสลายพันธะเคมี จึงไวต่อการเร่งปฏิกิริยาต่างๆ วัฏภาคกัมมันต์แต่ละชนิดต้องมีความเสถียรภาพในภาวะของปฏิกิริยาที่นำไปใช้งาน

โลหะทรานซิชันที่มีกัมมันตภาพสูงในการเร่งปฏิกิริยาจะสามารถดูดซับทางเคมีกับสารตั้งต้นได้อย่างรวดเร็วแต่พันธะการดูดซับที่เกิดขึ้นจะไม่แข็งแรงเกินไปที่จะไปยับยั้งปฏิกิริยาในขั้นตอนต่อไป ซึ่งความแข็งแรงของพันธะระหว่างโลหะและโมเลกุลของสารตั้งต้น สามารถวัดความร้อนจากการดูดซับ (Heat of adsorption)

2.5.5 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาวีริพันธ์ [13]

สมบัติทางกายภาพ ที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาวีริพันธ์ ได้แก่ ขนาดอนุภาค ความหนาแน่นพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน ปริมาณการกระจายตัวของตำแหน่งกัมมันต์และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อการอัด (Crush strength) และความต้านทานต่อการสึกหรอ (Attrition resistance) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยา

ขนาดพื้นที่ผิวภายในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำหน้าที่รองรับตำแหน่งกัมมันต์และความยากง่ายของผลิตภัณฑ์ที่จะถ่ายโอนจากภายในตัวเร่งปฏิกิริยาออกสู่วัฏภาคของไหลภายนอก ในส่วนของโครงสร้างรูพรุนของตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละประเภทขึ้นกับธรรมชาติของวัสดุและกรรมวิธีการเตรียม สำหรับโลหะออกไซด์ส่วนใหญ่จะมีรูพรุนที่เกิดจากออบไล์ความชื้นหรือเผาตะกอนไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนต ซึ่งน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจะทำให้เกิดรูพรุนในผลึกออกไซด์ โลหะออกไซด์ที่เตรียมจากวิธีโซล-เจล (Sol-gel method) มีความเป็นรูพรุนสูงกว่าออกไซด์

ที่ได้จากการตกตะกอน (Precipitation) คาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดจากเผาสารอินทรีย์ระเหยได้ในระหว่างการเตรียม จึงส่งผลต่อรูพรุนที่เพิ่มมากขึ้นโดยการเตรียมด้วย วิธีโซล-เจล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ส่วนใหญ่จะมีอนุภาค 2-5 มิลลิเมตรและมีรูพรุนต่างๆ เช่น เม็ด ทรงกลม ทรงกระบอกซึ่งเตรียมได้จากการนำตัวรองรับหรือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดผงมาผ่านการขึ้นรูป ด้วยเครื่องและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องอัดรีดแบบสกรูเพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดรูพรุนตามต้องการ การขึ้นรูปทำให้การใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ง่ายต่อใช้ในกระบวนการและลดความดันสูญเสีย (Pressure drop) ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ว่าจะทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการใด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกดอัดอนุภาคตัวเร่งเข้าด้วยกัน และในบางกรณีจะใส่ตัวประสาน (Binder) เข้าไปผสมในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปได้ ในการขึ้นรูปจึงส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะ ความพรุนและความหนาแน่น และตำแหน่งกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เปลี่ยนแปลงไปรวมถึงสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงเร่งปฏิกิริยา

การกระจายตัวของอนุภาคส่งผลต่อการแผ่ตัวของตัวเร่งในเครื่องปฏิกรณ์ และกระทบต่อพารามิเตอร์ อื่นๆ เช่น อัตราการไหล การสัมผัสกันของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ความปั่นป่วนของของไหลในเครื่องปฏิกรณ์ การควบคุมอุณหภูมิและความดันสูญเสีย ซึ่งตัวแปรทั้งหมดมีความสำคัญในการกำหนดผลได้ (Yield) และการกระจายผลิตภัณฑ์ (Product distribution) และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ แม้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยลดความดันสูญเสียในระบบ แต่การสัมผัสกันของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ดี จะทำให้เกิดช่องทางที่สารตั้งต้นไม่เจอกับตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดการแพร่ผ่านฟิล์มของสารตั้งต้นเข้าไปยังผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาและความต้านทานในรูพรุนสูงด้วย ดังนั้นขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและ ความดันสูญเสียในเครื่องปฏิกรณ์ การวัดการกระจายขนาดอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันสูญเสียภายในเครื่องปฏิกรณ์ มีวิธีทดสอบที่หลากหลาย เช่น การใช้ตะแกรง (Sieve) ขนาดต่างๆ หรือการใช้เทคนิคการกระเจิงแสง (Light scattering)

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่บรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรม อนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์จะถูกกดทับด้วยแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ความทนทานต่อการอัดจึงเป็นสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญ เพื่อให้สามารถคาดคะเนว่าอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดการเสียรูปหรือแตกหักเป็นผลอนุภาคขนาดเล็กหรือไม่ ซึ่งอาจส่งผลให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดความดันสูญเสียและทำให้เกิดการอุดตัน หรือทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลุดไปกักสาร

ผลิตภัณฑ์ และทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยา การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความหนาแน่นสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่จะไปลดประสิทธิภาพในการแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.5.6 สมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ [13]

สมบัติทางเคมี ที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบในบัลค์ (Bulk) บนพื้นผิว สถานะออกซิเดชัน (Oxidation state) ของวัฏภาคกัมมันต์โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure) สภาพกรด (Acidity) และสภาพเบส (Basicity) ธาตุองค์ประกอบเป็นสมบัติที่กำหนดสมบัติทางเคมีอื่นๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรง เนื่องจากแต่ละธาตุมีโครงสร้างอิเล็กตรอนที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการจัดเรียงอะตอมเป็นโครงผลึก ทำให้เกิดรูปผลึกและระนาบที่หลากหลายนองค์ประกอบและโครงสร้างบนพื้นผิวและภายในผลึกเหนือบัลค์อาจแตกต่างกัน นอกจากนี้โครงสร้างของผลึกโลหะ ขนาดระดับนาโนเมตรแตกต่างจากโครงสร้างของผลึกขนาดใหญ่ ทำให้เกิดระนาบผลึกที่แตกต่างกัน ผลึกขนาดเล็กจะมีหน่วยเซลล์ ลดลง รูปทรงผลึกที่มีขอบและมุมมากกว่า จะมีสัดส่วนอะตอมโลหะบนผิวที่มีพันธะไม่ครบสูงกว่า ส่งผลถึงสมบัติทางกายภาพและเคมีอื่นๆ เช่น จุดหลอมเหลว ความไวในการดูดซับสารตั้งต้นรวมทั้งสมบัติเชิงเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน

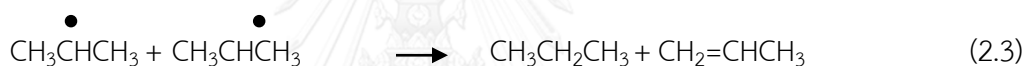
สภาพกรด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด สภาพกรดบรอนสเตด (Brønsted acidity) และสภาพกรดลิวอิส (Lewis acidity) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรับอิเล็กตรอน สภาพความเป็นกรดมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตำแหน่งกรดที่อยู่ในตัวรองรับชนิดออกไซด์ มีส่วนร่วมในการเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการกรด เช่น ไฮโดรจีเนชัน ไอโซเมโรเซชัน แอลคิลเลชัน และโอลิโกเมโร-เซชัน เป็นต้น โดยผ่านการสร้างสารมัธยันตร์ชนิดคาร์บอนเนียมไอออน (Carbonium ion) ในสภาพปกติพื้นผิวของโลหะออกไซด์ที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) เชื่อมพันธะกับอะตอมโลหะ ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งกรดบรอนสเตด โดยโลหะ $M-OH \longrightarrow M-O^- + H^+$ อะตอมโลหะบางชนิดมีโครงสร้างพันธะได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบ เช่น Al^{3+} ซึ่งพบได้ทั้งพันธะสาม (Three coordination) และพันธะสี่ (Four coordination) จึงแสดงทั้งสภาพกรดลิวอิส และบรอนสเตด ทำให้มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนและการให้โปรตอน

สภาพเบส แบ่งออกเป็น 2 ชนิด สภาพเบสบรอนสเตด (Brønsted basicity) และสภาพเบสลิวอิส (Lewis basicity) โลหะออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสจะช่วยดึงอิเล็กตรอนจากอะตอมออกซิเจนที่เชื่อมพันธะกับอะตอมโลหะเดิม ส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลแตกตัวให้โปรตอนง่ายขึ้นและสภาพกรดสูงขึ้น ในตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบรอนสเตดตามสมการ $M-(OH)-B \longrightarrow M-O-B + H^+$

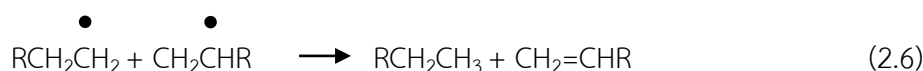
อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในขั้นตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) เกิดเป็น 2-Alkene และเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เกาะที่คาร์บอนอะตอมตัวแรก ดังสมการที่ 2.2



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าไปยังตำแหน่งเบต้าอย่างต่อเนื่อง โดยได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (By-product) เกิดเป็นเอทิลีนจำนวนมาก โดยการแตกตัวด้วยความร้อนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นเฉพาะส่วนที่มีแขนโอเลฟินส์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อหรือทำปฏิกิริยากันเอง ซึ่งหากกระบวนการแตกตัวได้รับความร้อนมากเกินไปมักจะส่งผลให้เกิดโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กในช่วงจำนวนอะตอมคาร์บอน 1-4 ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากนี้กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา Disproportionation หรือเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า เกิดเป็นแอนคินดังสมการที่ 2.3 และ 2.4



ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) โดยอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเป็นโมเลกุลใหญ่ 1 โมเลกุล หรือแตกเป็นโมเลกุล 2 โมเลกุลดังสมการที่ 2.5 และ 2.6

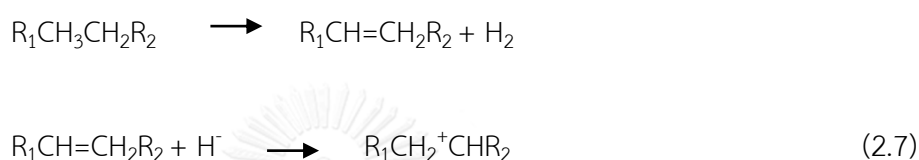


กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

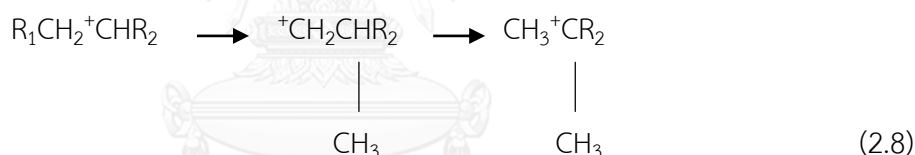
ปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มความจำเพาะเจาะจงในปฏิกิริยา ปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ความร้อนสามารถทำให้ได้โมเลกุลที่ขนาดเล็กเกินไปดังนั้นกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน

กลไกการแตกตัวโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย ดังนี้

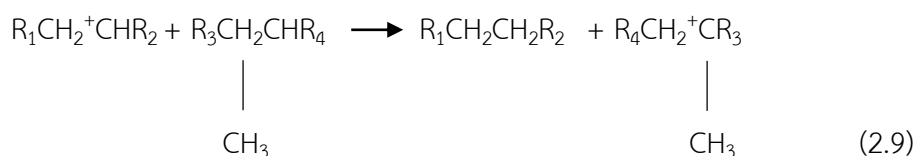
1. ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนียมไอออน (Carbonium ion) โดยเกิดจากการเสียไฮโดรด์ไอออนที่มีประจุลบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ส่งผลให้เกิดคาร์บอนเนียมไอออนที่มีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยเสถียรภาพของคาร์บอนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันโครงสร้างของไอออน ซึ่งคาร์บอนเนียมไอออนที่มีโครงสร้างแบบตติยภูมิ (Tertiary ion) จะมีเสถียรภาพมากกว่าคาร์บอนเนียมไอออนที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ (Secondary ion) และปฐมภูมิ (Primary ion) ดังสมการที่ 2.7



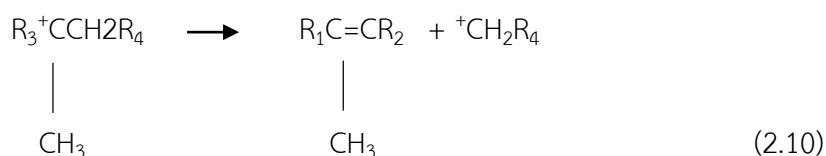
2. ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลคาร์บอนเนียมไอออน เกิดจากการที่เสถียรภาพของคาร์บอนเนียมไอออนมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน ดังสมการที่ 2.8



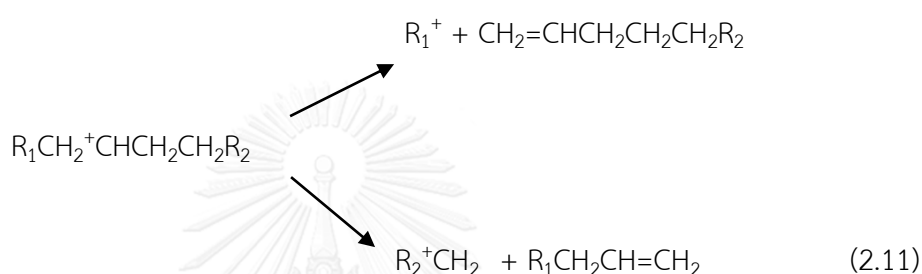
3. เกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ (hydride transfer) โดยปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเนียมไอออนกับสายโซ่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ 2.9



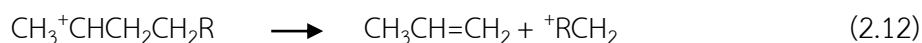
คาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว ที่ตำแหน่งปีต้า ที่นับจากประจุบวก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดเล็ก โดยมักจะเป็น primary carbonium ion ดังสมการที่ 2.10



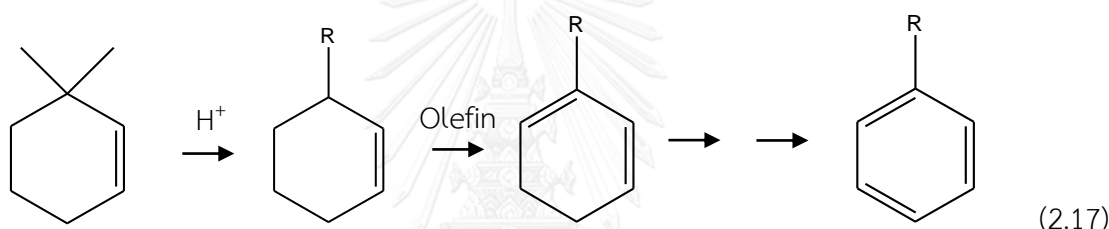
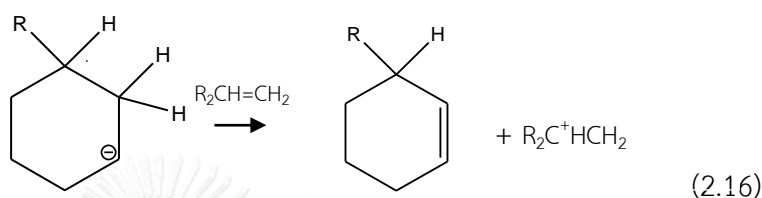
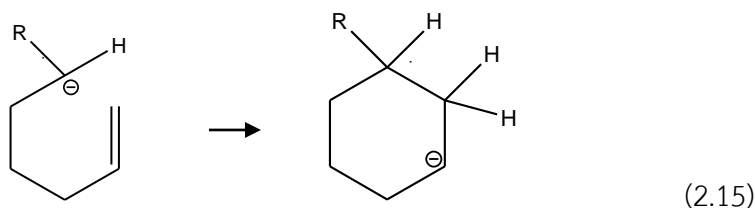
นอกจากนั้น ในบางกรณีคาร์บอนเนียมไอออนสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่นในตัวอย่าง Secondary carbonium ion ดังสมการที่ 2.11



กรณี R_1 คือ H การเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งบีต้า จะเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการที่ 2.12 ซึ่งจะได้โพรพีนเป็นผลิตภัณฑ์และการเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตรอนได้เป็นโมเลกุลที่อยู่ในรูปคาร์บอนเนียมไอออน ซึ่งจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ตำแหน่งบีต้าต่อได้ ดังสมการที่ 2.13 จากนั้น Isopropyl carbonium ion จะถ่ายโอนเคลื่อนย้ายไฮโดรดีให้กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นได้โพรเพนเกิดขึ้น หรืออาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน



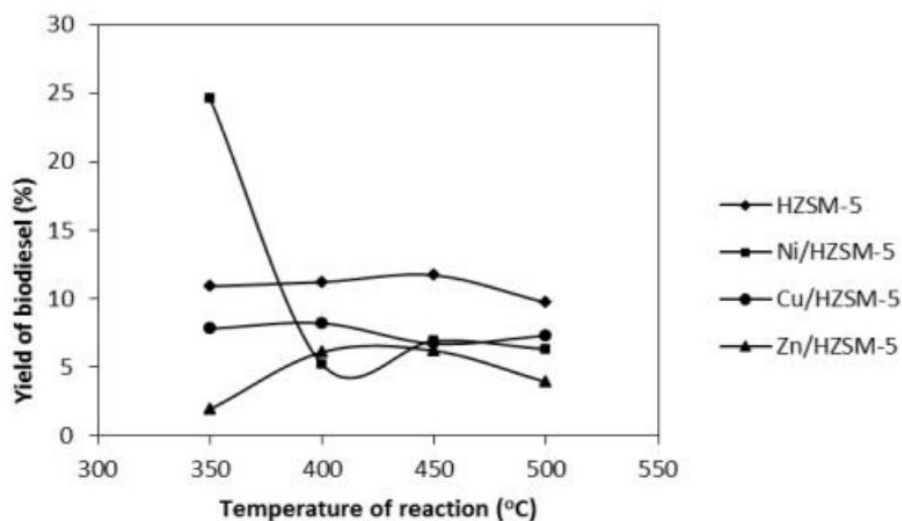
4. ปฏิกิริยาดีไฮโดรไซคลิกเซชัน (Dehydrocyclization) เป็นปฏิกิริยาการเกิดวงแหวนอะโรมาติก โดยโอเลฟินจะเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ตำแหน่งบีต้า ได้สารประกอบโอเลฟินคาร์บอนเนียมไอออน (Olefin carbonium ion) ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรดีไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เป็น Allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพและเกิดการรับโปรตรอนจากไซโคลเฮกซะไดอีน (Cyclohexadiene) ในปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติก ดังสมการที่ 2.14 - 2.17



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง ประกอบด้วยแก๊สที่มีโอเลฟินสูง มีองค์ประกอบของ วงเบนซีนที่ทำให้มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีสารจำพวกโอเลฟินมากทำให้มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมัน ชนิดใส และโค้ก (Coke) ที่เกาะบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา

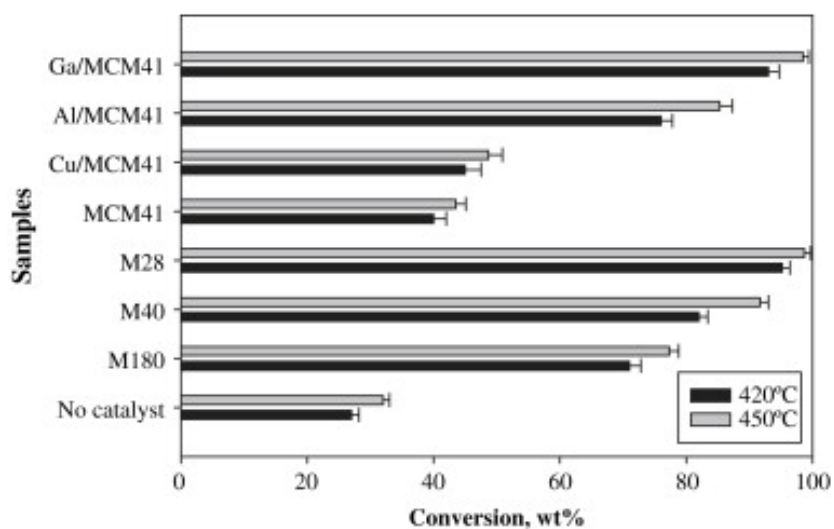
2.7 อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิส ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Ni/HZSM-5 Cu/HZSM-5 Zn/HZSM-5 ในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบเบดนิ่ง โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ในช่วง 350 ถึง 500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.5 เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มจะมีค่า ปริมาณดีเซลที่เกิดขึ้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าโดยรวมเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิจะทำให้ปริมาณดีเซลเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากเกินไปปริมาณดีเซลจะมีปริมาณ ลดลง [15]



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิต่อเชื้อเพลิงเหลวช่วงดีเซล [15]

ไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZM-5 ที่อัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 28/40 และ 180 และตัวเร่งปฏิกิริยา Ga/MCM-41, Al/MCM-41 และ Cu/MCM-41 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ภาวะการไหลของแก๊สไนโตรเจนโดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 420 และ 450 องศาเซลเซียส โดยจะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้นในทุกตัวเร่งปฏิกิริยา [16] แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ [16]

2.8 ไพโรไลซิสเชิงของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาไพโรไลซิสน้ำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลากหลาย ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 350 ถึง 550 องศาเซลเซียส โดยศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์ที่หลากหลาย ดังสรุปในตารางที่ 2.3

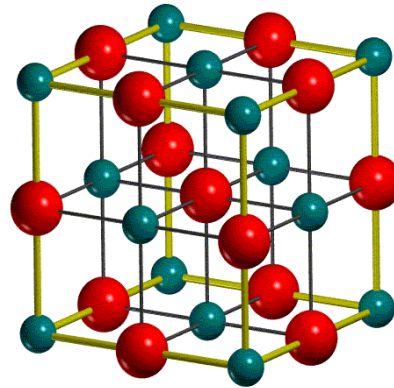
ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่ผ่านมาของไพโรไลซิสน้ำมันพืช

Oil	Temp (°C)	Carrier gas	Catalyst	Operation	Reference
Rape seed	550	N ₂	HZSM-5, Ni/HZSM-5, Mo/HZSM-5	Continuous/ fixed bed reactor	[17]
Conola	375 to 500	N ₂	SAPO-5, SAPO - 11, MgAPO-36	Continuous/ fixed bed reactor	[18]
Conola	400,500	N ₂	HZSM-5, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO	Continuous/ Down flow fixed bed reactor	[19]
Rubber seed	420	N ₂	Na ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃ , USY	Continuous/ fixed bed reactor	[20]
Waste fish	525	N ₂	With out	Continuous/py rolysis pilot plant	[21]
Cude palm	450	N/A	Na ₂ CO ₃	Batch reactor	[22]
Palm	320, 350, 390	N/A	Co ₂ O ₄ , KOH, MoO ₃ , NiO, V ₂ O ₅ , ZnO	Batch reactor	[23]

2.8.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช

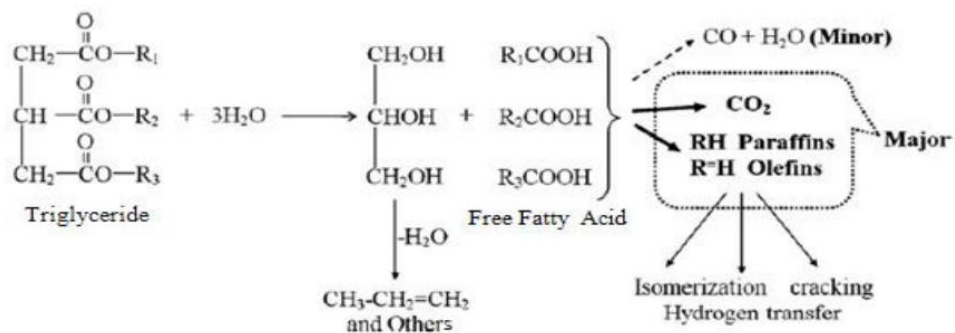
ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีความเป็นเบส มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูงในปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันพืช โครงสร้างทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.7 การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้ ในตอนแรกเมื่อให้ความร้อนจะเกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชได้กรดไขมัน และกลีเซอรอล โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้นจะเกิดการแตกตัวต่อ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและคาร์บอนมอนอกไซด์ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน พาราฟินส์และโอเลฟินส์ ปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่

2.8 โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อได้ เนื่องจากมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา



สีแดง = O^{2-} สีเขียว = Mg^{2+}

รูปที่ 2.7 โครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

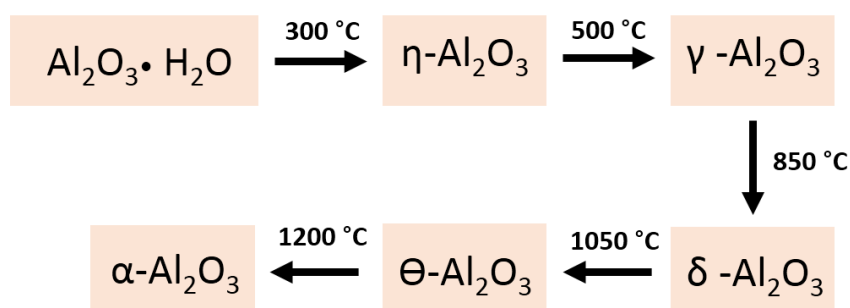


รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาแมนีเซียมออกไซด์ [24]

2.8.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาในไพโรไลซิสน้ำมันพืช [13]

ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเสถียรทางความร้อนและมีความหลากหลายทางกายภาพ ทางเคมีหลากหลาย ซึ่งประกอบด้วยทั้งโครงสร้างผลึกและอสัณฐานมากกว่า 12 ชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีการเตรียม ความบริสุทธิ์ การกำจัดน้ำและการเผาจะแปรสภาพดังรูปที่ 2.9 โดยที่เฟส η - Al_2O_3 และ γ - Al_2O_3 เป็นรูปผลึกที่มีความสำคัญ

เนื่องจากมีพื้นที่ผิว ความเสถียรและความเป็นกรดสูงกว่าวัฏภาคอื่นๆ ซึ่งลักษณะความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาผ่านคาร์โบแคตไอออน ซึ่งส่งผลต่อการแตกตัวของสารโมเลกุลใหญ่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.9 วัฏภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา [13]

2.9 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันพืช

2.9.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ต่อเนื่อง

ไพโรไลซิสแบบไม่ต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีการป้อนสารเข้าหรือนำสารผลิตภัณฑ์ออกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการบรรจุสารตั้งต้นไว้ในถังตั้งแต่เริ่มแรก ซึ่งอาจมีใบกวนอยู่ภายในเพื่อช่วยให้สารตั้งต้นสัมผัสกันได้ดีขึ้น โดยในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะแต่ละชนิดจะมีวิธีการให้ความร้อนหรือความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมและคงที่ต่างกัน การให้ความร้อนอาจทำได้โดยผ่านแผ่นความร้อน (electric heating pad) หรือการให้ความร้อนผ่านขดลวดไอน้ำ (steam coil) [25]

2.9.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่องเป็นกระบวนการผลิตที่มีการป้อนสารเข้าและมีการนำผลิตภัณฑ์ออกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแบ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนและเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล

- เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor: CSTR)

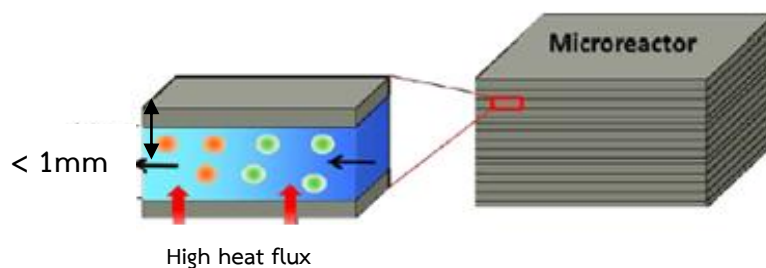
เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นรูปถังและมีใบกวนภายในภายในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับวัฏภาคของเหลว ซึ่งมีการป้อนเข้าของสารตั้งต้นอย่างต่อเนื่องเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์และมีผลิตภัณฑ์ออกมาทางด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้อาจมีอุปกรณ์ช่วยควบคุมอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

- เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug flow reactor or Tubular reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อ โดยมีลักษณะการป้อนสารสารตั้งต้นเข้าทางด้านหนึ่งของเครื่องปฏิกรณ์ในภาวะคงที่ (Steady state) องค์ประกอบของของผสมที่จุดใดๆ ตามความยาวของท่อในเครื่องปฏิกรณ์จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา ความยาวของท่อขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น ภาวะที่ใช้อัตราการไหลต่ำอาจต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่มีความยาวมากเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ การให้ความร้อนหรือความเย็นสามารถให้ผ่านผนังของท่อ

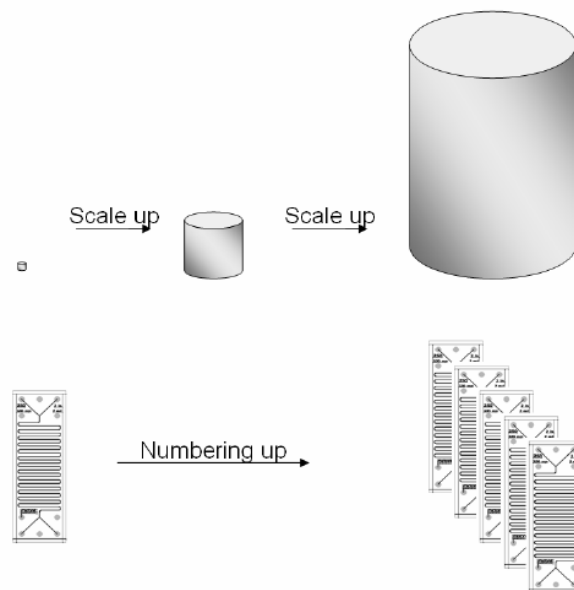
2.10 เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค (Microchannel reactor or microreactor) [3]

เครื่องปฏิกรณ์คือช่องจุลภาค เครื่องปฏิกรณ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือช่องว่างในการทำปฏิกิริยาขนาดเล็ก ส่งผลให้เครื่องปฏิกรณ์มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ (surface area to volume ratio) อยู่ในช่วง 10,000 – 50,000 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ต่างจากเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไปที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ในช่วง 100 – 1,000 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งส่งผลให้เครื่องปฏิกรณ์ทั่วไปมีระยะการแพร่ (diffusion path) ของการถ่ายเทมวลและความร้อน ในเครื่องปฏิกรณ์มีระยะทางที่มากกว่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค [26]

เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่สามารถขยายกำลังการผลิตโดยการเพิ่มจำนวนเครื่องปฏิกรณ์ (numbering up) ดังแสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นการต่อเครื่องปฏิกรณ์เข้าด้วยกันแบบขนานหรือแบบอนุกรม ซึ่งสามารถทำได้รวดเร็วสะดวก แต่ละหน่วย (unit) มีประสิทธิภาพเท่าเดิม เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้หากเกิดความผิดพลาดของเครื่องปฏิกรณ์ในบางหน่วย สามารถแก้ไขในขณะที่หน่วยอื่นกำลังดำเนินงานผลิตอยู่แตกต่างจากเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไปที่มีการขยายกำลังการผลิตโดยการเพิ่มขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ (scale up) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตเมื่อเกิดความผิดพลาด ซึ่งขั้นตอนในการแก้ไขที่ใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการขยายกำลังการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครและเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไป [3]

การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไป ส่งผลให้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคมีความปลอดภัยที่สูงกว่าในการดำเนินงาน นอกจากนี้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ยังสามารถทำการทดลองที่สภาวะที่มีความรุนแรง เช่น อุณหภูมิหรือความดันที่สูง ซึ่งสามารถทำได้ยากในเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไป

ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการหรือในระดับอุตสาหกรรม ด้วยขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยัง

มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพที่สูง เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคจึงเป็นอีกหนึ่งเครื่องปฏิกรณ์ที่มีความน่าสนใจ

2.11 วิธีการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.11.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีโซล-เจล [27]

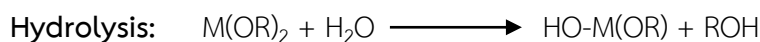
วิธีการโซลเจลเป็นหนึ่งในวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีข้อดีหลายประการมากกว่าวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ โดยสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา และทำให้ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน โดยข้อดีข้อเสียของเทคนิคโซลเจลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีข้อเสียของเทคนิคโซล-เจล

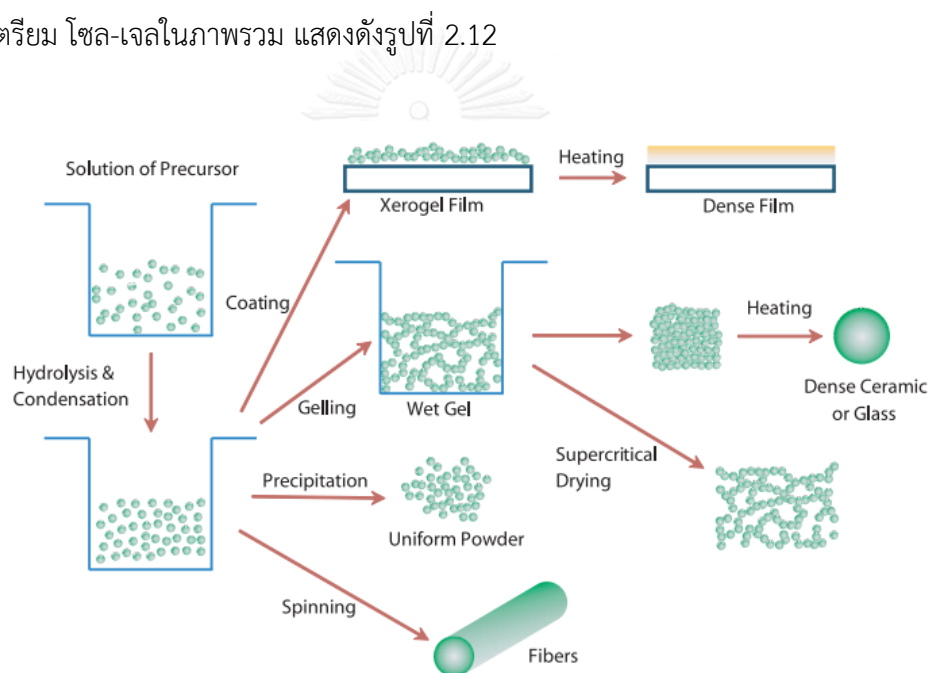
ข้อดี	ข้อเสีย
1. ผลิตกัณฑ์มีความบริสุทธิ์สูง	1. เกิดช่องว่างขนาดเล็กภายในโครงสร้าง
2. โครงสร้างเป็นเอกพันธ์ (homogeneity)	2. สารเคมีมีราคาสูง
3. ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ	3. ใช้เวลานาน
4. ได้ของแข็งอสังฐานและ	
5. ได้เจลที่มีลักษณะจำเพาะ	

วิธีการโซลเจลเมื่อพิจารณาความหมาย หมายถึง กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบออกไซด์ที่เปลี่ยนสถานะของเหลวที่เรียกว่า “sol” เป็นของแข็งที่เรียกว่า “gel” โดยสารตั้งต้นหรือสารก่อกำเนิดเป็นโลหะที่ประกอบด้วยลิแกนด์ ชนิดแอลคิลหรือแอลคอกซี

โดยปฏิกิริยาที่สำคัญในกระบวนการโซล-เจล มี 3 ปฏิกิริยา คือ Hydrolysis, Water condensation และ Alcohol condensation มีปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้ pH ของสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนน้ำต่อโลหะและอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียม ปัจจัยเหล่านี้ในสถานะที่ต่างกันจะทำให้ลักษณะของโซล-เจล ที่ได้มีคุณสมบัติและลักษณะที่แตกต่างกัน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังต่อไปนี้



ขั้นตอนการเตรียมวิธีโซล-เจลในขั้นแรกจะเริ่มจากปฏิกิริยา Hydrolysis และ condensation ตัวก่อกำเนิดจะทำปฏิกิริยากับน้ำและแอลกอฮอล์ จะทำให้เกิดการเชื่อมสายโพลีเมอร์ขึ้นโดยมีลักษณะเป็นร่างแห โดยขั้นตอนนี้จะมีการนำสารที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การเคลือบผิว การตกตะกอน หรือการสปิน หลังจากนั้นกำจัดตัวทำละลายโดยสารที่ได้ในขั้นนี้จะเรียกว่า Aerogel และในขั้นสุดท้ายจะทำการให้ความร้อนจะเรียกสารที่ได้ในขั้นนี้ว่า Xerogel โดยวิธีการเตรียม โซล-เจลในภาพรวม แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วิธีโซล-เจลและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเตรียม [27]

2.11.2 Suspension deposition

การขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย Suspension deposition สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงพาณิชย์โดยตรงในการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่ในการเตรียมการขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้จะทำการผสม ตัวเร่งปฏิกิริยา สารเพิ่มความยึดติด กรดและน้ำหรือตัวทำละลายชนิดอื่น โดยเข้มข้นของส่วนผสมจะขึ้นของพื้นผิวที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่และระดับความหนาที่ต้องการ ซึ่งวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้สามารถให้ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าวิธีโซล-เจล

2.11.3 วิธีการผสมระหว่างวิธีโซล-เจลและ Suspension deposition

วิธีการผสมระหว่างวิธีโซล-เจลและ Suspension deposition สามารถเตรียมตัวสับสนุนของตัวเร่งปฏิกิริยาลงบนพื้นผิวที่ต้องการขึ้นรูป ส่วนที่มาจากเตรียมด้วยวิธีโซล-เจล จะทำหน้าที่เพิ่มการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาของการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 งานวิจัยที่ผ่านมาของการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาบนวัสดุชนิดต่างๆ

Coating method	Catalyst	Material	thickness	Reference
Sol-gel	Al ₂ O ₃	Stainless steel plates	1.1-3.5 μm	[28]
Sol-gel	Ni/Al ₂ O ₃	Stainless steel plates	4.8-29.5 μm	[29]
Slurry	Ni/Al ₂ O ₃	Stainless steel plates	25 μm	[30]
Slurry	CuO/ZnO/Al ₂ O ₃	Stainless steel plates	20-40 μm	[31]
Hybrid	CuO/ZnO/Al ₂ O ₃	Stainless steel plates	-	[32]
Hybrid	CuO/ZnO/Al ₂ O ₃	Silicon	10-20 μm	[33]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nurjannah และคณะ [34] ทำการศึกษาไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (HZSM-5) ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของไนโตรเจนในช่วง 0.2 ถึง 0.6 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 350 ถึง 500 องศาเซลเซียส โดยทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของ Si/Al ด้วยเทคนิค Absorption Atomic Spectroscopy (AAS) โดยมีอัตราส่วน Si/Al เท่ากับ 198 จากการศึกษา ผลของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนสามารถเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเหลวในไพโรไล-ซิสน้ำมันปาล์ม ผลของอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เชื้อเพลิงเหลวเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 0.4 ลิตรต่อนาที โดยช่วงของแก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 28.87 ช่วงแคโรซีนร้อยละ 16.70 และช่วงดีเซลร้อยละ 1.2

Thanh และคณะ [35] ทำการศึกษาไพโรไลซิสบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส โดยตัวเร่งชนิดโลหะออกไซด์สามารถปรับปรุงคุณภาพ

ของเชื้อเพลิงเหลวโดยพบว่ามีกรดลดลงของร้อยละผลได้ของของเหลวเล็กน้อยและปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้อยเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะออกไซด์ และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสพบว่าสารผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระลดลงแต่พบปริมาณคีโตนมากจากปฏิกิริยาคีโตนไนเซชัน (Ketonization) ซึ่งในผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด พบปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากโดยมีปริมาณโอเลฟินส์สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์สามารถเพิ่มปฏิกิริยาการแตกตัวโดยชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่พบมากคือพาราฟินมากและมีปริมาณอะโรมาติกเล็กน้อย

David และคณะ [36] ทำการศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยอัตราการป้อนสารตั้งต้นคือ 1.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยผลการศึกษาค้นพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 450 ถึง 550 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่มีความเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ 500 องศาเซลเซียส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ เมื่อวิเคราะห์ด้วย GC-FID โดยค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 1.19 ถึง 5.68 cSt โดยมีค่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม

Tani และคณะ [24] ทำการศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มภายใต้สภาวะแก๊สฮีเลียมภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถ่วง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ (SiO_2 , MgO-SiO_2 , Carbon, MgO-Carbon , spent FCC, MgO) ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยพบว่าส่วนประกอบหลักของแก๊สที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมคาร์บอนอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 อะตอม โดยจากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ให้ปริมาณร้อยละผลได้ของของเหลวสูงที่สุดคือร้อยละ 65.9 และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นและเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนพบผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนอะตอม 15 เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา MgO ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิสโดยน้ำมันพืชชนิดต่างๆ พบว่ามีส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน โดยสรุปแล้วตัวเร่งปฏิกิริยา MgO สามารถส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนสูงชันและมีผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกับเมื่อเปลี่ยนชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นสารตั้งต้น

Mancico และคณะ [37] ทำการศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะในในระดับ Pilot scale โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ซึ่งเป็นตัวเร่งชนิดเบส โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ โดยทำการศึกษาระดับ

น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Na_2CO_3 ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยจากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดลดลง และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์พบว่าประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบออกซิเจน (Oxygenate compound) เช่น กรดคาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์ และคีโตน เมื่อทำการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นและปริมาณสารประกอบออกซิเจนลดลง โดยน้ำหนักที่ของตัวเร่งปฏิกิริยามีความเหมาะสมคือร้อยละ 15 โดยมีร้อยละผลได้ของของเหลวคือร้อยละ 60 โดยมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับช่วงดีเซล โดยสรุปแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมคาร์บอเนตสามารถส่งเสริมให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความหนืดและค่าความเป็นกรดต่ำซึ่งมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียม

Thanh-An และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาไพโรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งขนาด 23 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 (Si/Al 28 40 และ 180) MCM41 Ga/MCM41 Al/MCM41 และ Co/MCM41 ภายใต้แก๊สไนโตรเจน อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 420 และ 450 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์แก๊สประกอบด้วย มีเทน อีเทน โพรไพลีน ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิส ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ได้ผลิตภัณฑ์หลักคืออะโรมาติก ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบน MCM41 นั้นจะต้องประกอบด้วยผสมระหว่าง แอลคีน แอลเคน แอลคาไดอิน อะโรมาติก และ กรดคาร์บอกซิลิก ผลของอุณหภูมิที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า อุณหภูมิส่งผลต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสามารถเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเหลวอย่างมีนัยยะสำคัญ

Rafael และคณะ [38] ทำการศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองบนตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และ $\text{SnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และ $\text{SnO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ โดยได้ทำการศึกษาที่ช่วงอุณหภูมิ 350 ถึง 400 องศาเซลเซียสในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 กรัม โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นประกอบด้วยกรดคาร์บอกซิลิก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับไพโรไลซิสที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสามารถลดปริมาณกรดคาร์บอกซิลิกได้ถึงร้อยละ 30 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกับช่วงดีเซล ซึ่งหมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่ในน้ำมันถั่วเหลือง

Eduard และคณะ [39] ศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันเรพบนตัวเร่งปฏิกิริยา NaY HY NH_4Y Na-ZSM5 โดยช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาคือ 350 ถึง 440 องศาเซลเซียส ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ส่งผลต่อองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลว เช่น ค่าความเป็นกรด และค่าความหนืดจากการ

วิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ร้อยละผลได้ของของเหลวต่ำ และร้อยละผลได้ของแก๊สสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา NaY และ HY ซึ่งร้อยละผลได้ของของเหลวอยู่ในช่วง 85 ถึง 90 ภายในช่วงเวลา 20 ถึง 30 นาที แต่ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากไพโรไลซิสมีค่าความเป็นกรดสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 100 ถึง 140 mgKOH/g โดยในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยา H-ZSM5 ให้ค่าความเป็นกรดสูงที่สุดงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดเพื่อแก้ไขปัญหาค่าความเป็นกรดและค่าความหนืดที่สูงโดยผสมกับเชื้อเพลิงที่มีความหนืดที่เหมาะสม

เชษฐาและคณะ [40] ศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 3 ลิตร โดยทำการศึกษาผลของปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อไพโรไลซิสและพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ส่วนประกอบน้ำมันดีเซลมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 380-430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว 60-180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 100-300 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30-60 โดยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ และใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatography (DGC) สถานะที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม design-expert พบว่าสถานะของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์คืออุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว 154.20 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนแก๊สตัวพา 102.73 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 60.00 โดยน้ำหนัก จะได้ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 81.42 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ผลได้ของดีเซลร้อยละ 57.07 โดยน้ำหนัก

Kalu และคณะ [41] ศึกษาน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้โซเดียมแอลคอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยพบว่าน้ำมันพืชสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลได้ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้นเมื่อใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค และเมื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคและแบบกะพบว่าที่ความลึกของเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคที่ 1 มิลลิเมตร จะมีค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ Heteropolyacid และ แคลเซียมกลูคาเนต

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะพวาร์้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงที่สุด

Aaron และคณะ [42] ศึกษาการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคสำหรับการสำหรับการเปลี่ยนกลูโคสเป็นแก๊สไฮโดรเจน เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคประกอบด้วยแผ่นสี่เหลี่ยม 21 แผ่น โดยมีความกว้างของช่องเท่ากับ 75 ไมโครเมตร แต่ละแผ่นยาว 100 เซนติเมตร และกึ่งแผ่นประกอบด้วยจำนวน ชั้นของช่อง 25 ชั้น โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 650 และ 750 องศาเซลเซียส ความดัน 250 บาร์ ความหนาแน่นของน้ำ 0.063 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส 0.055 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลูโคสคือ 0.1 ถึง 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ คุณภาพสูงกว่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบเดิมผลมาจากการถ่ายโอนความร้อน และการถ่ายโอนมวลที่ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น ประกอบกับระยะเวลาสั้นลงของการแพร่กระจายลดลงหลังการผสมทำให้การทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น



บทที่ 3

เครื่องมือและการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวแบบต่อเนื่องจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ไฟฟโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค ซึ่งศึกษาตัวแปรต่างๆทั้งสภาวะที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว และองค์ประกอบที่ดีที่สุด

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 1) น้ำมันปาล์ม (Palm oil)
- 2) อลูมิเนียมไอโซพอกไซด์ ($\text{Al}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_3$ 98%) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3) แมกนีเซียมอะซิเตท ($\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 4) TEOS (Tetraethyl orthosilicate) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 5) กรดไฮโดรคลอริก (HCl 37% A.R. grade) จากบริษัท Lab-Scan
- 6) กรดไนตริก (HNO_3 69-70 % A.C.S. grade)
- 7) น้ำปราศจากไอออน
- 8) เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ A.R. grade) จากบริษัท Lab-Scan
- 9) Pluronic P-123 (Poly(ethylene glycol) - block-poly(propylene glycol)-block-poly(ethylene glycol)) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 10) แก๊สไนโตรเจน (99.9 %) จากบริษัท Praxair
- 11) อะซิโตน (Acetone) จากบริษัท Lab-Scan
- 12) กรดอะซิติก (Acetic acid) จากบริษัท Sigma-Aldrich

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

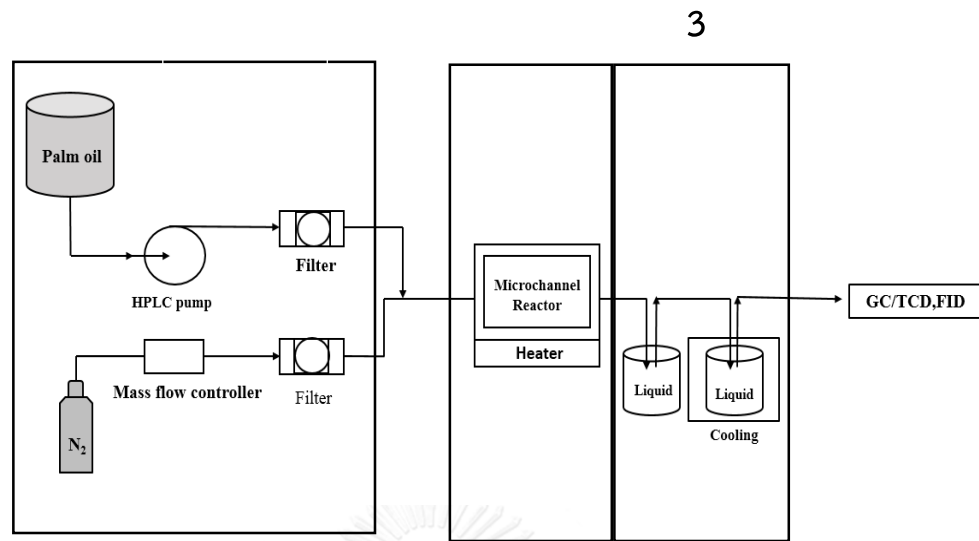
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) เตาเผา
- 2) เครื่องอตราโซนิก
- 2) เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน
- 3) ท่อพลาสติก
- 4) เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง จากบริษัท Metter-Toledo
- 5) บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 6) บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 7) ขวดน้ำกลั่น
- 8) แท่งแก้ว
- 9) สติ๊กเกอร์
- 10) หลอดหยด

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม

1.ระบบไพโรไลซิส

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิสแบบต่อเนื่องสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนการป้อนสาร ส่วนที่สองคือส่วนการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค และส่วนสุดท้ายคือส่วนการเก็บตัวอย่าง น้ำมันพืชจะเข้าสู่ระบบด้วยปั๊มแรงดันสูง แก๊สไนโตรเจนซึ่งเป็นแก๊สตัวพาจะเข้าสู่ระบบโดยการควบคุมจากเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส (Mass flow controller) อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ทั้งน้ำมันพืชและแก๊สไนโตรเจนจะเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคที่มีลักษณะเป็นช่องขนาดเล็ก ที่ได้รับความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดไฟฟ้า (Electric heater) จากนั้นสารผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคจะเข้าสู่ระบบถ่ายเทความร้อนสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะแก๊สจะเข้าสู่ระบบการถ่ายเทความร้อนขั้นที่ 2 ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนนี้จะมีการถ่ายเทผ่านอากาศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แก๊สที่ได้จากปฏิกิริยาจะเข้าสู่แก๊สโครโมโทกราฟี (Gas chromatograph) และวัดอัตราการไหลต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะถูกเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงนับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 ที่เริ่มป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่ระบบ โดยแผนผังแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จริงแสดงในรูปที่ 3.2



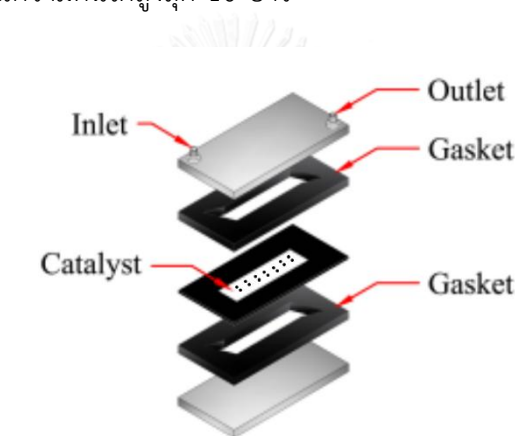
รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิส



รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม

2. เครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค (Microchannel reactor)

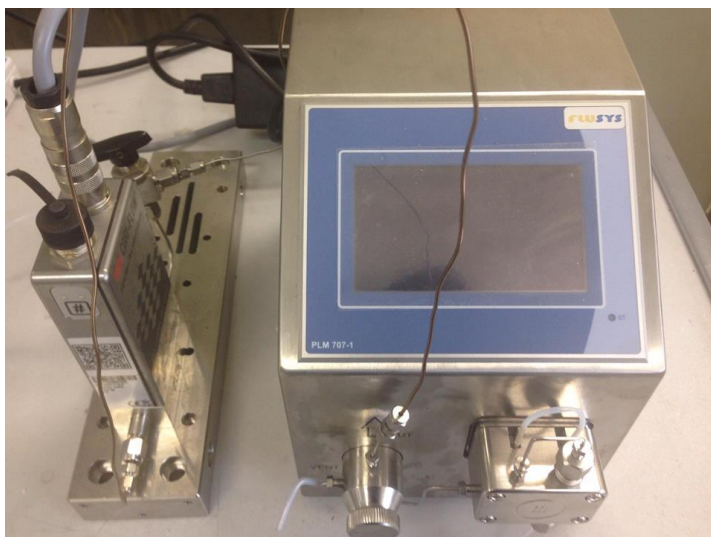
ปริมาตร 6 มิลลิลิตร (5 เซนติเมตร \times 15 เซนติเมตร \times 0.08 เซนติเมตร) โดยทำจาก เหล็กกล้าไร้สนิม SS 316 ดังรูปที่ 3.2 โดยเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยแผ่นสแตนเลส 3 แผ่น โดย แผ่นบนมีช่องสำหรับนำสารเข้าและนำสารออก แผ่นกลางคือแผ่นที่ใช้สำหรับขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา และระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมมีประเก็นเพื่อเพิ่มการยึดติดของแผ่นสแตนเลสทั้งสามแผ่นจะยึดติดกันด้วยน็อต 28 ตัว เครื่องปฏิกรณ์จะบรรจุอยู่ในอุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดไฟฟ้า (Electric heater) ซึ่งอยู่ด้านล่างทำหน้าที่ให้ความร้อน และมีเทอร์โมคัปเปิล 4 ชุดที่ อุปกรณ์ให้ความร้อน บริเวณแผ่นบนของเครื่องปฏิกรณ์ แผ่นล่างของเครื่องปฏิกรณ์ และบริเวณแก๊สผลิตภัณฑ์ขาออก โดย เครื่องปฏิกรณ์สามารถทนความดันได้สูงสุด 10 บาร์



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครแบบช่องจุลภาค

3. ปั๊มแรงดันสูง (High performance liquid)

ปั๊มแรงดันสูงรุ่น PLM707-1 จากบริษัท FLUSYS GmbH แสดงดังรูปที่ 3.4 ทำหน้าที่ป้อน สารตั้งต้นคือน้ำมันปาล์มเข้าสู่ระบบ ซึ่งสามารถป้อนสารตั้งต้นที่อัตราไหลสูงสุด 2 มิลลิลิตร/นาทีโดย สามารถทำความดันได้สูงสุด 100 บาร์ โดยมีการเทียบมาตรฐาน (Calibration) อัตราการไหลของ น้ำมันปาล์มก่อนทำการทดลอง



รูปที่ 3.4 ปัมแรงดันสูง

4. เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส

เครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น 3660 SERIES จากบริษัท KOFLOC แสดงดังรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนซึ่งเป็นแก๊สตัวพา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ในช่วง 10 – 200 มิลลิลิตร/นาที โดยมีการเทียบมาตรฐาน (Calibration) อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนก่อนการทดลอง



รูปที่ 3.5 เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส

5. เครื่องชั่งสาร จากบริษัท Ohaus ความละเอียด 2 ตำแหน่ง
6. เครื่องชั่งสาร จากบริษัท Metter-Toledo ความละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

ใช้ในการศึกษาลักษณะของผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบกับอนุภาคจะเกิดการหักเหของรังสี สะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาค เท่ากับมุมของรังสีตกกระทบ โดยลักษณะผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาศึกษาด้วยเครื่อง XRD รุ่น Bruker D8 AXS Advance X-ray diffractometer ที่มุม 2theta ในช่วง 5 ถึง 80

2. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS)

แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น GC5975 Series MSD สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยการเปรียบเทียบ เลขมวล (Mass number) ที่ได้จากการแตกตัวขององค์ประกอบของสารที่วิเคราะห์ เทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับแก๊ส (Gas Chromatograph)

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จาก ไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น GC7890B แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยประกอบด้วยตัวตรวจวัด (Detector) สองชนิด คือ Flame Ionization Detector (FID) ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่เป็น ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1 ถึง 6 และดีเทคเตอร์ Thermal Conductivity Detector (TCD) วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่เป็น แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับแก๊ส

4. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับของเหลว (Gas Chromatograph)

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 6980N แสดงดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีดีเทคเตอร์คือ Flame Ionization Detector (FID) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับของเหลว

5. เครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Pyrolysis Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, Pyro-GC/MS)

ในงานวิจัยได้มีทดลองไพโรไลซิสและทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการสังเคราะห์ และวิเคราะห์องค์ประกอบที่ได้จากไพโรไลซิส โดยส่วนที่ใช้ไพโรไลเซอร์ (Pyrolyzer) ยี่ห้อ Frontier-Lab Co รุ่น Py-2020iD ต่อตรงกับ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น GC5975 Series MSD แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.3 การเตรียมสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาและการขึ้นรูปบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์

โดยในการวิจัยครั้งนี้มีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อลูมินา (Al₂O₃) และตัวเร่งปฏิกิริยา ซิลิกา (SiO₂) โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

สารละลายแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีสารตั้งต้นคือแมกนีเซียมอะซิเตท (Magnesium acetate, Mg(CH₃COO)₂•4H₂O) ปริมาณ 10 กรัม เอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol, C₂H₅OH) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กรดไนตริกเข้มข้น (Nitric acid) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้ง 4 ชนิดมาผสมกันตามลำดับกวนผสมด้วยเครื่องผสมสารโดยใช้แม่เหล็กหมุนกวน (magnetic stirrer) 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม Pluronic P-123 ปริมาณ 20 กรัม ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จะทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการผสมระหว่างวิธีโซล-เจลและ Suspension deposition โดยหลังจากเตรียมสารผสมในข้างต้น จะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แบ่งสารละลายออกเป็นสองส่วน นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นผง ขนาดน้อยกว่า 100 ไมโครเมตร หลังจากนั้นนำมาผสมกับสารละลายที่ปั่นกวนไว้ก่อนหน้าด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และทำการขึ้นรูป

3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา (Al₂O₃)

สารละลายอลูมินาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีสารตั้งต้นคืออลูมิเนียมไอโซพอกไซด์ (Aluminium isopropoxide, Al[OCH(CH₃)₂]₃) ปริมาณ 10 g เอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol, C₂H₅OH) ปริมาตร 32 มิลลิลิตร กรดอะซิติก (Acetic acid) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งหมดกวนผสม 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 ถึง 85 องศาเซลเซียสจากนั้นเติม Pluronic P-123 ปริมาณ 20 กรัม ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 15 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการโซล-เจล

3.3.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา (SiO₂)

ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาคือ TEOS (Tetraethyl orthosilicate) 18 มิลลิลิตร เอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol, C₂H₅OH) ปริมาตร 9.4 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งหมดกวน

ผสม 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 หลังจากนั้นทำการเติม Pluronic P-123 5 กรัม ทำการปั่นกวน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการโซล-เจล

3.4 การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์

โดยในการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ทำได้โดยวางแบบบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้สติกเกอร์หนา 1 มิลลิเมตร เทสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ลงในแบบปรับพื้นผิวให้เรียบโดยใช้ท่อพลาสติกผิวเรียบ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 120 องศาเซลเซียส สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา หลังจากนั้นทำการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยึดติดบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง

3.5 วิธีการดำเนินงานไพโรไลซิสในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

3.5.1 ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา แมกนีเซียมออกไซด์และซิลิกา

3.5.2 เมื่อทำการเตรียมปฏิกิริยา ทำการบดตัวเร่งปฏิกิริยาและกรองโดยให้มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

3.5.3 ในกรณีที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาจากข้อ 3.4.2 กับน้ำมันปาล์มที่ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มและตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10

3.5.4 ชั่งน้ำมันปาล์มหรือสารที่ได้จากการผสมลงในถ้วยสำหรับทำไพโรไลซิสโดยมีน้ำหนักประมาณ 1 มิลลิกรัม โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

3.5.5 ทำการไพโรไลซิสในไพโรไลเซอร์

3.6 การทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม (Adhesion test)

ก่อนทำการทดสอบการยึดติดชั่งน้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 5×5 เซนติเมตร ทำการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนเหล็กกล้าไร้สนิม ชั่งน้ำหนักหลังการขึ้นรูป หลังจากขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม จุ่มในสารละลาย Dodecane และนำไปทดสอบการยึดติดโดยการสั่นบนเครื่อง อัลตราโซนิก (Ultrasonic) จับเวลาที่เวลาทุก 15 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการทดสอบอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที บันทึกน้ำหนักหลังการทดสอบคำนวณหาร้อยละการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาบนเหล็กกล้าไร้สนิม

3.7 การดำเนินงานไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

3.7.1 ทำการปรับเทียบปั๊มแรงดันสูงสำหรับป้อนน้ำมันปาล์ม

3.7.2 นำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและที่มีการขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบกับส่วนอื่นของเครื่องปฏิกรณ์ และนำเครื่องปฏิกรณ์เข้าไปในอุปกรณ์ให้ความร้อน

3.7.3 เปิดแก๊สไนโตรเจนที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส ให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดไฟฟ้าจนกระทั่งได้อุณหภูมิ (400 ถึง 500 องศาเซลเซียส) โดยสังเกตจากมอนิเตอร์ที่แสดงอุณหภูมิที่พื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์

3.7.4 เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการจึงป้อนน้ำมันปาล์ม เข้าสู่ระบบตามอัตราการไหลที่กำหนดโดยใช้ปั๊มแรงดันสูง

3.7.5 ทำการเก็บตัวอย่างทุกชั่วโมง จดบันทึกน้ำหนักและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลิตภัณฑ์แก๊สจะทำการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทุกชั่วโมงโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.7.6 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นสองครั้งผสมกัน วิเคราะห์ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ และส่วนประกอบอื่นๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟและเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ตามลำดับ โดยคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส ของแข็งและของเหลว ค่าร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และองค์ประกอบของของเหลวและแก๊ส

3.8 การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ใหม่ (Catalyst regeneration)

3.8.1 การทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์หลังการทำปฏิกิริยา ทำได้โดยการป้อน สารละลายอะซิโตน (Acetone) ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่ออนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.8.2 การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ใหม่ทำได้โดยนำแผ่นที่ทำการขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยา และล้างด้วยสารละลายอะซิโตน มาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่เหมาะสม โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการไฟโรไลซิส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม

4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟก่อนทำการทดลอง โดยองค์ประกอบของน้ำมันแสดงดังตารางที่ 4.1 จะพบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์สูงที่สุดโดยพบสัดส่วนสูงที่สุดถึงร้อยละ 98.21 และพบปริมาณของไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์เพียงร้อยละ 1.01 และ 0.78 ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันปาล์มก่อนนำเข้าสู่กระบวนการไฟโรไลซิสมีโมเลกุลที่ใหญ่อยู่เป็นจำนวนมากส่งผลต่อค่าความหนืดที่สูง และปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในโครงสร้างมากจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยตรง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม

องค์ประกอบน้ำมันปาล์ม	ร้อยละโดยน้ำหนัก
โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)	0.78
ไตรกลีเซอไรด์ (Diglyceride)	1.01
ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)	98.21

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟก่อนทำการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 พบว่ามีปริมาณไขมันอิ่มตัวร้อยละ 42.7 กรัมต่อ 100

มิลลิกรัม กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากคือ กรดปาล์มิติก (C16:0) และพบกรดไขมันไม่อิ่มตัว 56.9 กรัม ต่อ 100 มิลลิกรัม กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก (C18:1) โดยจะพบว่า องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณมาก จึงควรผ่านกระบวนการ ปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

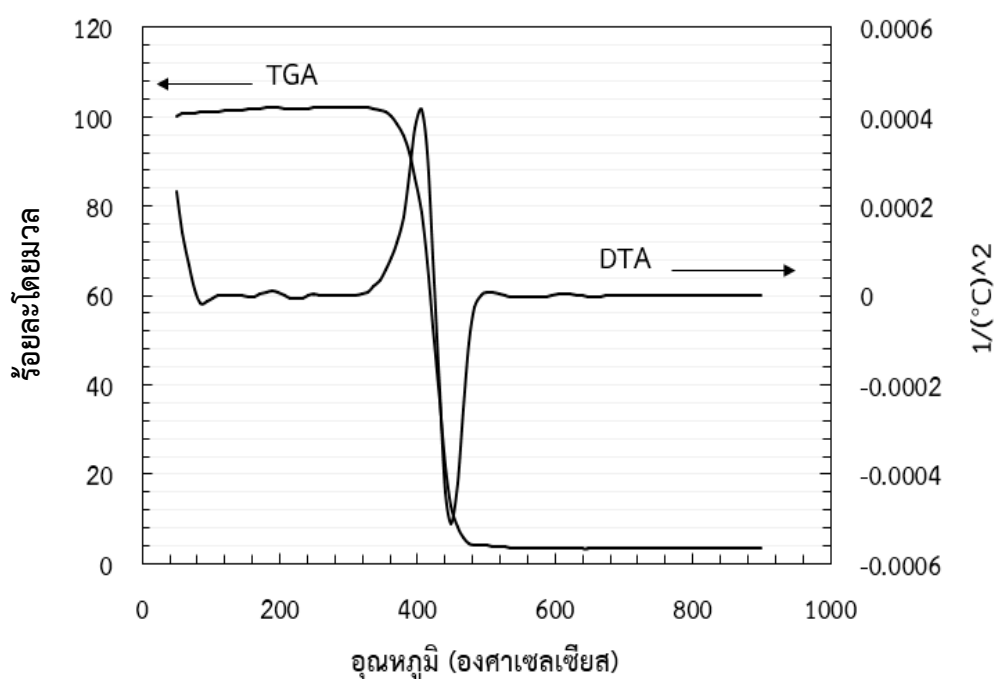
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

องค์ประกอบของกรดไขมัน	C:X	กรัม / 100 มิลลิลิตร
Lauric acid	C12:0	0.2
Myristic acid	C14:0	0.8
Palmitic acid	C16:0	37.9
Steric acid	C18:0	3.5
Arachidic acid	C20:0	0.3
Total saturated fatty acid		42.7
Palmitoleic acid	C16:1	0.1
Oleic acid	C18:1	44.9
Linoleic acid	C18:2	11.6
α -Linoleic acid	C18:3	0.2
Gondoic acid	C20:1	0.1
Total unsaturated fatty acid		56.9
Unidentifides		0.3

หมายเหตุ C:X หมายถึง จำนวนคาร์บอน : จำนวนพันธะคู่

4.1.3 การวิเคราะห์น้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค Temperature Gravimetric Analysis (TGA)

รูปที่ 4.1 แสดงการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิที่น้ำหนัก เริ่มต้นที่ อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส และสูงสุดที่อุณหภูมิ 412 องศาเซลเซียส โดยช่วงของน้ำหนักที่หายไป สิ้นสุดที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาจึงควรครอบคลุมช่วงน้ำหนัก หายไปของน้ำมันปาล์ม ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส



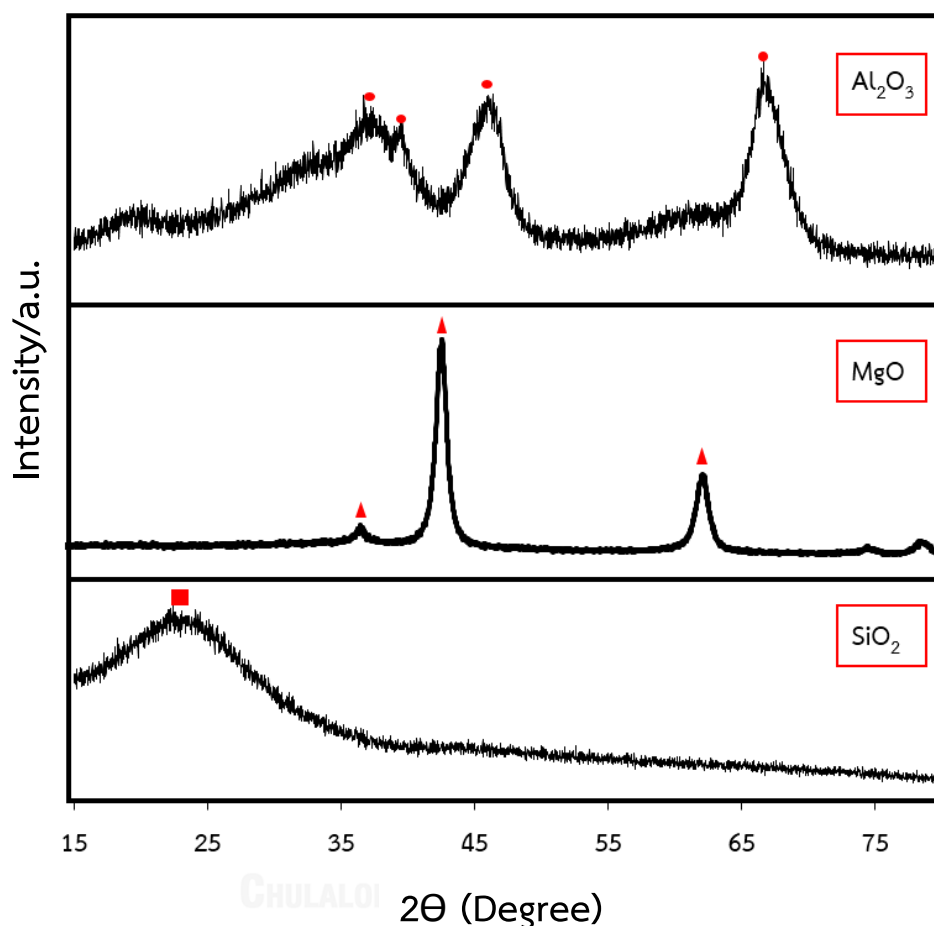
รูปที่ 4.1 ผลของ TGA และ DTA ของน้ำมันปาล์ม

4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD)

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ด้วย XRD แสดงดังรูปที่ 4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินามีเฟสที่ตรงกันกับเฟสแกรมมาอลูมินาซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาเฟสนี้เกิดจากขั้นตอนการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,400 องศาเซลเซียส [28]

ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์พบตำแหน่งพิกที่สำคัญ คือที่ 37.43 และ 62.4 องศา ซึ่งมีตำแหน่งที่ตรงกันกับรูปแบบตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์บริสุทธิ์จากงานวิจัยของ Rownaghi และคณะ [29]

ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาที่มีลักษณะรูปแบบสัญญาณที่บ่งบอกลักษณะความเป็นอสังฐาน โดยมีตำแหน่งพีคสำคัญอยู่ที่ตำแหน่ง 22.5 องศา



รูปที่ 4.2 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา

4.3 การทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Adhesive testing)

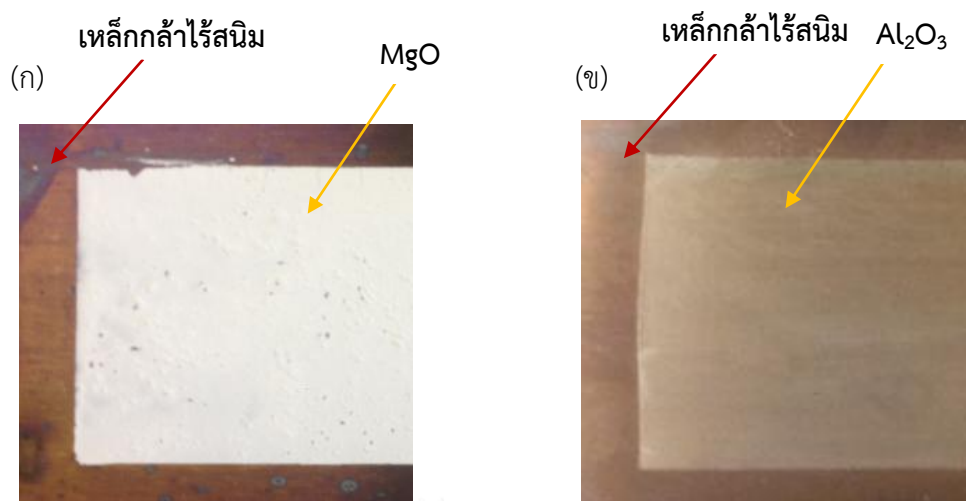
การทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำโดยการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดกว้างและยาว 4 เซนติเมตร โดยตัวเร่งปฏิกิริยาหลังการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 4.3 จากนั้นทำการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยากับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยนำไป Sonicate ในสารละลาย Dodecane และบันทึกน้ำหนักที่หายไปของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมที่เวลาต่างๆ และทำการศึกษาผลของการเติมสาร ลด

แรงดึงผิว P123 และไม่เติม P123 โดยผลการศึกษาสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาแสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินามีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงเมื่อเติมสารลดแรงดึงผิว P123 เมื่อทำการเติม P123 พบว่า ลักษณะกราฟในช่วงแรกจะมีค่าสูงขึ้นและมีค่าร้อยละการสูญเสียคงที่ที่ร้อยละ 29 เนื่องจากสารลดแรงดึงผิว P123 เมื่อเติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมจะสามารถลดการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม และเพิ่มการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยากับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อทำการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้สารลดแรงดึงผิว P123 สลายไป จึงไม่มีผลในการบดบังพื้นที่ที่สามารถเกิดการเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม

รูปที่ 4.4 (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำลงเมื่อเติมสารลดแรงดึงผิว P123 เช่นเดียวกับตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา สารลดแรงดึงผิว P123 เมื่อเติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถลดการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม และเพิ่มการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยากับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่เติม P123 ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะกราฟที่เพิ่มขึ้นเรื่อยจนกระทั่งคงที่ที่ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักคงที่ที่ร้อยละ 24

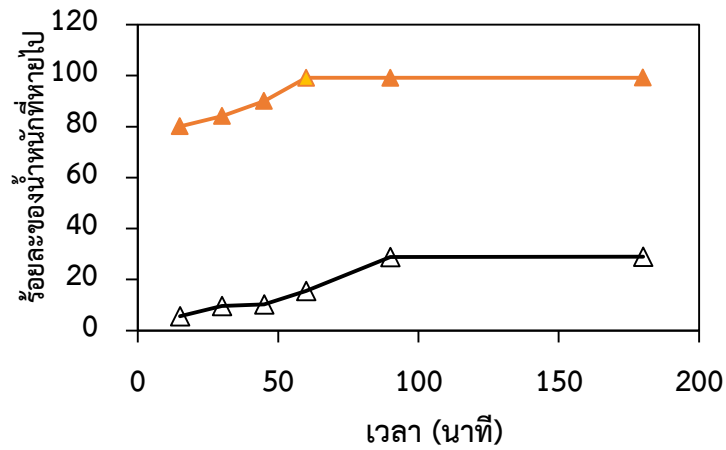
สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา แสดงดังรูปที่ 4.4 (ค) เมื่อทำการขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาไม่สามารถยึดติดกับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งในการเติมและไม่เติมสารลดแรงดึงผิว P123 ซึ่งเนื่องมาจากลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาที่มีการแตกตัวได้ง่ายเมื่อทำการขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม

จากผลการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถที่จะยึดติดกับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีควมร่วนแรงกว่าสภาวะที่ใช้จริงในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค เพราะฉะนั้นในการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบช่องจุลภาคจึงศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในปฏิกิริยาไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

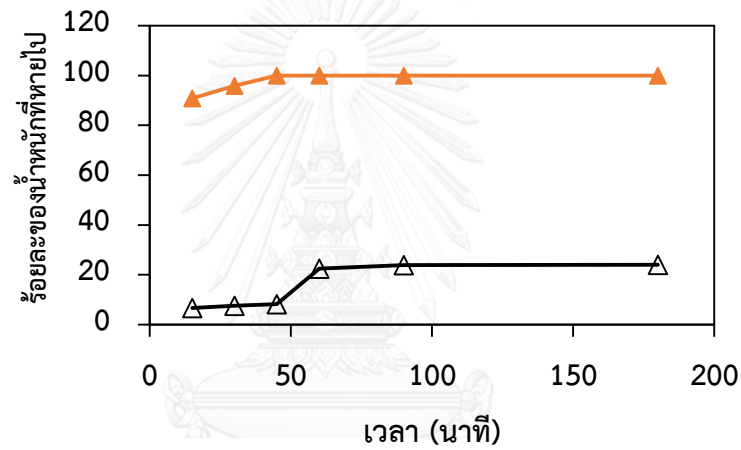


รูปที่ 4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินา

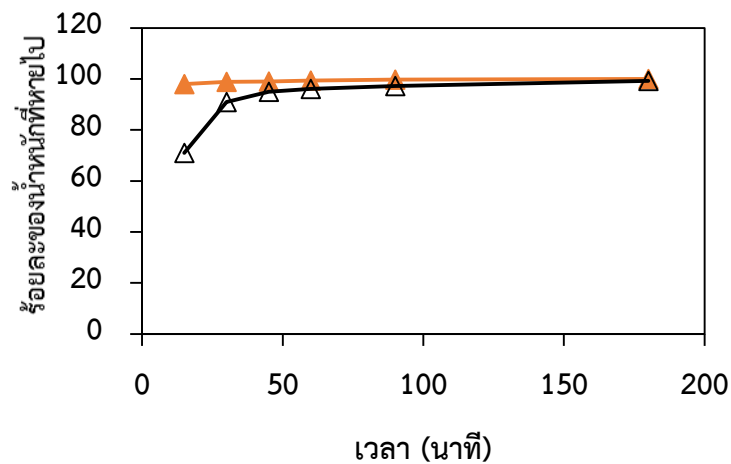
(ก)



(ข)



(ค)



—▲— ไม่เติม P123 —△— เติม P123

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักรที่หายไปของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทดสอบการยึดติดตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม โดย (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินา (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (ค) ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา

4.4 การกำหนดภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคเป็นเชื้อเพลิงเหลว

4.4.1 อุณหภูมิในการทดลอง

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่เลือกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิ ช่วงน้ำหนักที่หายไปของน้ำมันปาล์ม โดยอุณหภูมิที่สูงที่สุด คือ 412 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกช่วงอุณหภูมิน้อยกว่าและมากกว่า 412 องศาเซลเซียส คือช่วง 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส

4.4.2 อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม

อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มศึกษาในช่วง 2 ถึง 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม จะส่งผลต่อเวลาในการทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่มากเกินไปอาจส่งผลต่อเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์ อีกกรณีที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มน้อยจะส่งผลต่อ เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ส่วนของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณน้อย และแก๊สซึ่งเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเกิดปริมาณที่มากขึ้น

4.4.3 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา (Al_2O_3) และตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา (SiO_2) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละประเภทมีบทบาทในการทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีความสำคัญในการไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดเช่นอลูมินา นิยมนำมาใช้ในการไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาผ่านคาร์บอนเนียมไอออนได้ดี ทำให้สามารถแตกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลงได้ดี แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะมีความเป็นกรดสูงซึ่งสามารถเกิดปัญหาการกัดกร่อนเครื่องยนต์เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจึงได้นำมาศึกษาเพิ่มเติมเนื่องตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเพื่อลดความเป็นกรดของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากไพโรไลซิส

4.4.4 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ช่วงน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3 กรัม เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจึงอาจส่งผลทำให้เกิด

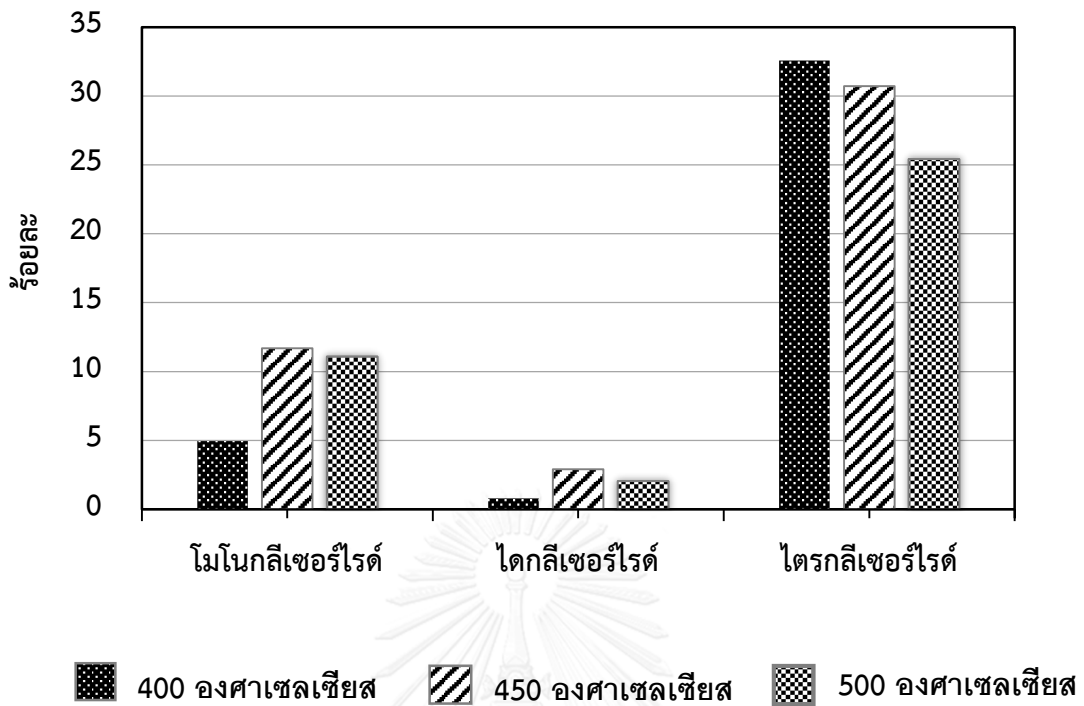
โมเลกุลที่เล็ก จำพวกแก๊สซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยอาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

4.5 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Pyrolysis – GC/MS)

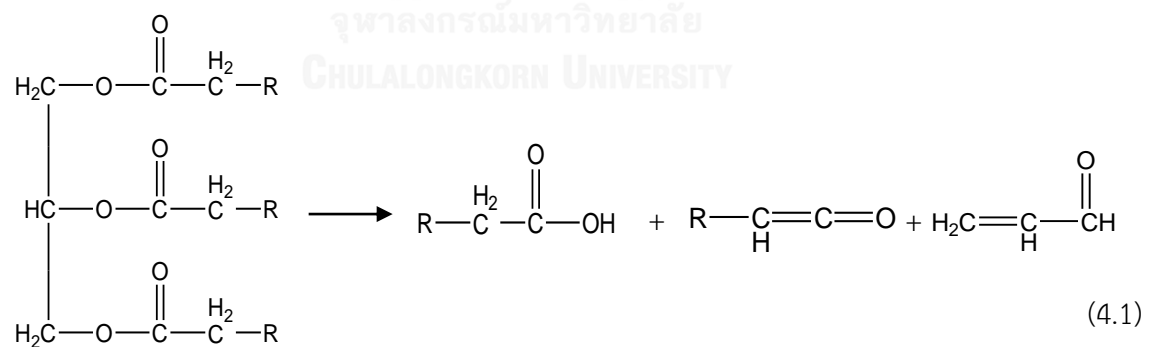
เพื่อทำการศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มทั้งในสถานะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ก่อนทำการศึกษาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค จึงทำการศึกษาไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มใน Pyrolysis-GC/MS ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ง่ายต่อการทดสอบการไพโรไลซิสเบื้องต้นทั้งในการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิในช่วง 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ อลูมินา และซิลิกาที่ได้จากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

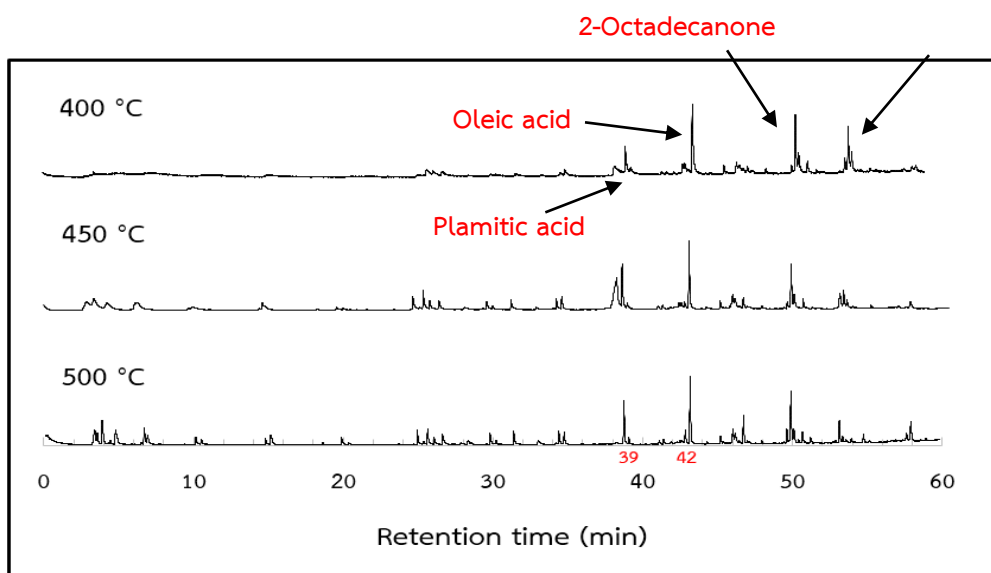
4.5.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที โดยผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.5 จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่พิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟลดลงจากร้อยละ 30.25 เป็น 22.92 ซึ่งจากผลการศึกษา อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม โดยอุณหภูมิที่สูงจะเกิดการแตกของโมเลกุลใหญ่ โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม เช่น กรดปาล์มมิติกหรือกรดโอเลอิก ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะพบว่า Retention time ที่ 39 นาที คือ กรดปาล์มมิติกและ Retention time ที่ 42 นาที คือ กรดโอเลอิก ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม ดังสมการที่ 4.1



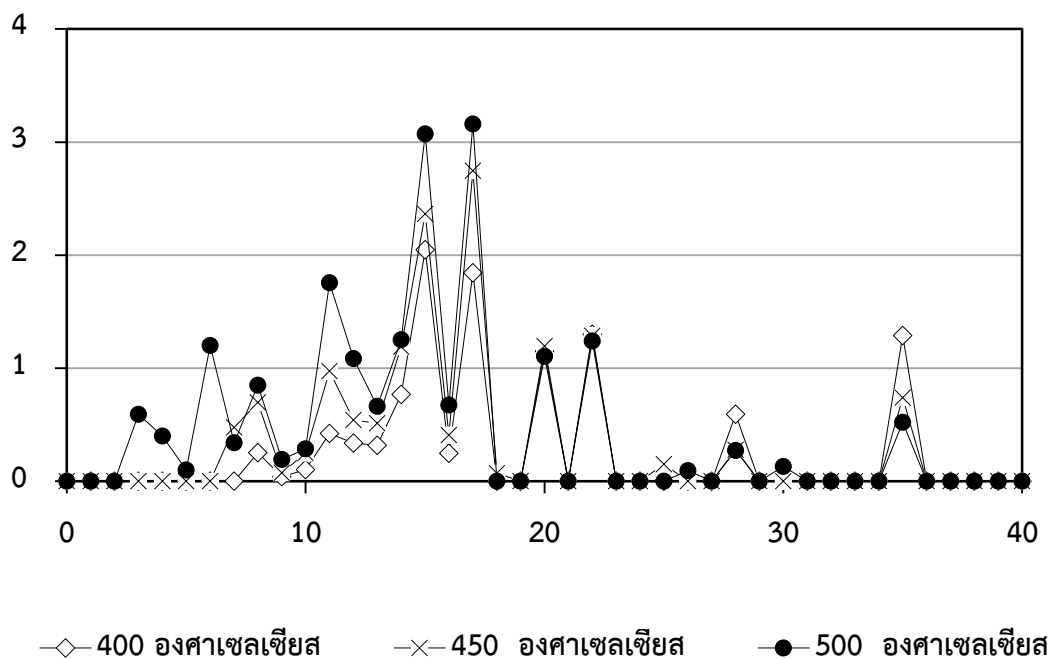
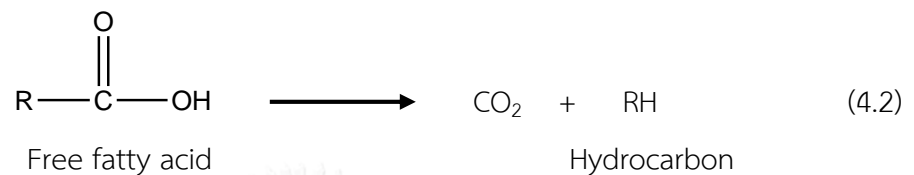
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อส่วนประกอบตั้งต้นของน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที





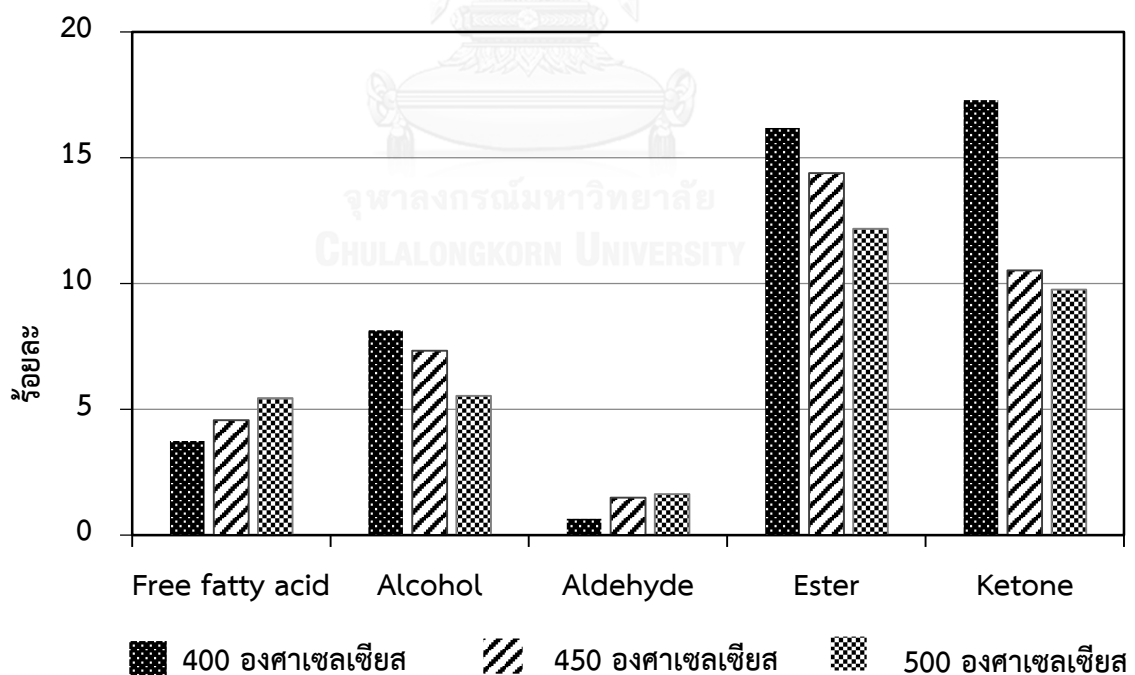
รูปที่ 4.6 โครมาโทแกรมได้จากไพโรลิสน้ำมันปาล์มในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคสเปคโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10.86 เป็น 19.59 ซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบมากในผลิตภัณฑ์คือคาร์บอน 15 และ 17 แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งมาจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดไขมันอิสระที่มากจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 4.2



รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิต่อจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนในเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกสเปคโตรมิเตอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที

สารประกอบออกซิเจน (Oxygenated compound) คือหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยส่วนประกอบของสารประกอบออกซิเจน แสดงดังรูปที่ 4.8 ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส สารประกอบออกซิเจนที่พบในผลิตภัณฑ์ เช่น เอสเทอร์ ซึ่งมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระและแอลกอฮอล์หรือปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification reaction) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 4.3 และสารประกอบประเภทคีโตนที่พบมากคือ 16-Hentriacontanone และ 18-Pentatriacontanone ซึ่งมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของสารประกอบคาร์บอกซิลิก แสดงดังสมการที่ 4.4 จากการเพิ่มอุณหภูมิในไพโรไลซิสทำให้ปริมาณ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์และคีโตน ลดลง ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของสารประกอบออกซิเจนขนาดใหญ่



รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ ในเครื่องไพโรไลซิส แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที

4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อไฟโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องไฟโรไลซิส แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกสเปคโตรมิเตอร์ ภาวะที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

ไฟโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิดได้แก่ อลูมินา แมกนีเซียมออกไซด์ และซิลิกา โดยเครื่องไฟโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกสเปคโตรมิเตอร์ โดยทำการพิจารณาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที โดยได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฟโรไลซิสบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 10.64 ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 5.64 เมื่อพิจารณาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ส่งผลต่อการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม และเมื่อพิจารณาปริมาณไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ พบว่าปริมาณไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องมาจากการแตกตัวของไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

และเมื่อพิจารณาสารประกอบออกซิเจนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์พบว่ามีปริมาณ กรดไขมันอิสระร้อยละ 16.57 แอลกอฮอล์ ร้อยละ 4.31 เอสเทอร์ร้อยละ 16.27 และคีโตนร้อยละ 23.71 ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสามารถบอกได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเพิ่มการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่ผ่านการเกิดกรดไขมันอิสระ และคีโตน ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเป็นผลมาจากความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์แต่เมื่อเพิ่มเวลาไฟโรไลซิสพบว่าปริมาณของสารประกอบคีโตนมีค่าลดลงจากร้อยละ 23.71 เป็นร้อยละ 16.31 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาสามารถเพิ่มการแตกตัวของสารประกอบคีโตนที่เกิดขึ้นระหว่างไฟโรไลซิส สารประกอบเอสเทอร์เป็นอีกหนึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างไฟโรไลซิสซึ่งมาจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่ได้จากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบออกซิเจนต่อน้ำมัน 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที

สารประกอบ	ร้อยละพื้นที่			
	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	แมกนีเซียมออกไซด์	อลูมินา	ซิลิกา
ไฮโดรคาร์บอน	13.97	12.36	18.94	6.92
กรดไขมันอิสระ	4.57	16.57	16.04	1.1
แอลกอฮอล์	7.32	4.31	4.05	13.31
แอลดีไฮด์	0.99	0.41	1.2	1.33
เอสเทอร์	13.39	16.27	10.52	5.42
คีโตน	8.52	23.71	19.64	27.8
โมโนกลีเซอไรด์	11.69	5.64	7.19	7.68
ไดกลีเซอไรด์	2.9	2.13	1.51	1.65
ไตรกลีเซอไรด์	22.92	10.64	18.93	26.34
Unidentifide	13.73	7.96	1.98	8.96

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์จากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาแสดงในตารางที่ 4.3 โดยพบว่ามีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 18.93 กรดไขมันอิสระร้อยละ 16.04 แอลกอฮอล์ร้อยละ 4.05 เอสเทอร์ร้อยละ 10.52 คีโตนร้อยละ 19.64 จากการศึกษาพบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม และกรดไขมันอิสระร้อยละ 16.04 ซึ่งมีปริมาณมากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อการแตกตัวที่มากขึ้นของไตรกลีเซอไรด์โดยผ่านสารประกอบตัวกลางคือกรดไขมันอิสระซึ่งอาจส่งผลต่อของความเป็นกรดของเชื้อเพลิงที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา

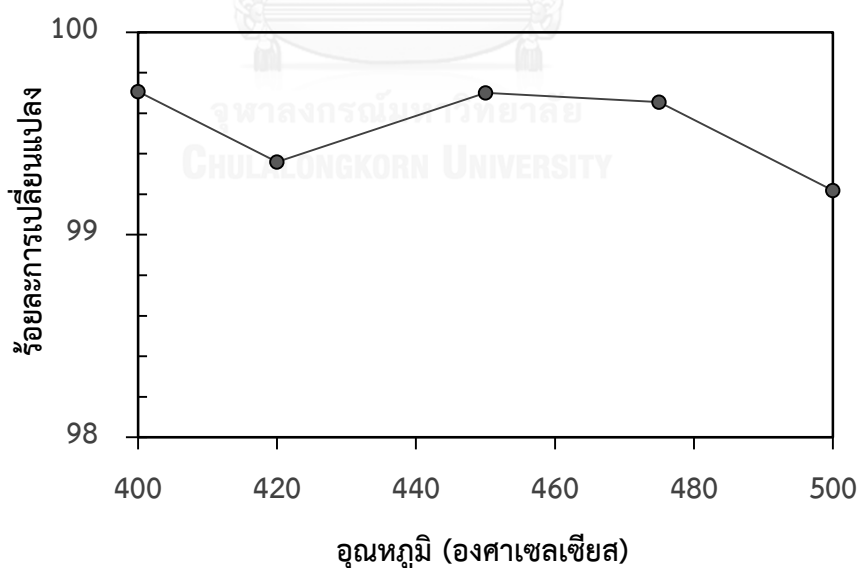
ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกามีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 26.34 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา และมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 6.92 ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกายังไม่สามารถเร่งปฏิกิริยา

การเกิดไฮโดรคาร์บอนที่สภาวะการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 วินาที

4.6 การหาภาวะที่เหมาะสมในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลวที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

4.6.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิในไพโรไลซิสที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม

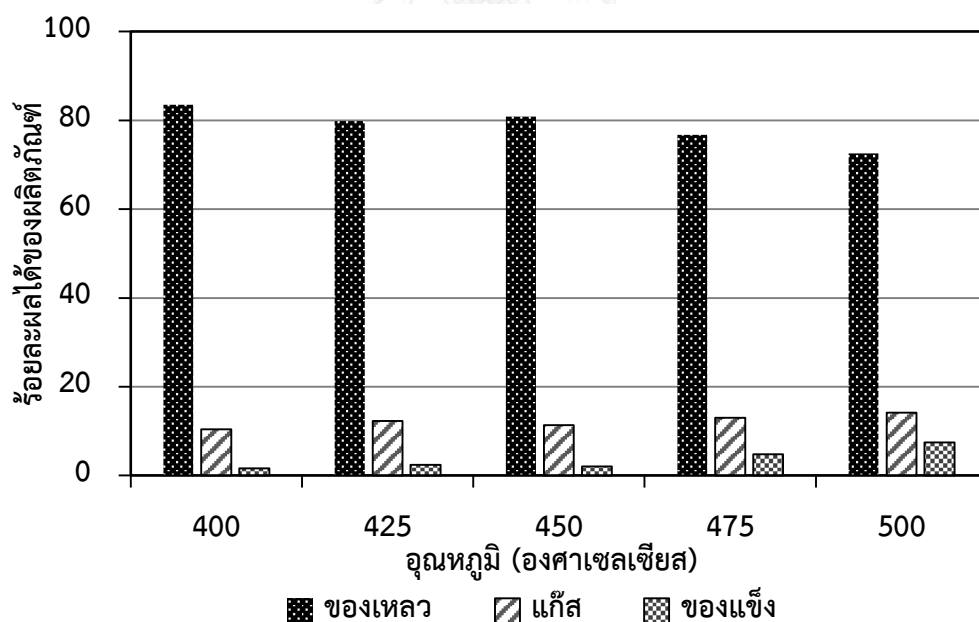
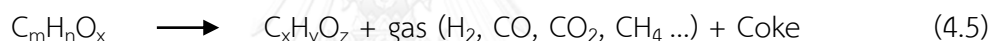
รูปที่ 4.9 แสดงผลของอุณหภูมิในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากไพโรไลซิสมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 99 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งในงานวิจัยของ Thanh-An NgO [16] ซึ่งทำไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 20 ถึง 25 เมื่อไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 420 และ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมัน 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลของไนโตรเจนคือ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งทำให้ทราบว่าเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคส่งผลต่อการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ เนื่องจากช่องทางในการทำปฏิกิริยาขนาดเล็กของเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ซึ่งสามารถลดข้อจำกัดของการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

การศึกษาผลของอุณหภูมิในไพโรไลซิสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยทำการศึกษาที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 ถึง 450 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มจาก 450 ถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าลดลงจาก ร้อยละ 80.84 เป็นร้อยละ 72.6 และผลิตภัณฑ์แก๊สและของแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีบทบาทในการแตกตัวของสารโมเลกุลใหญ่ในน้ำมันปาล์ม เนื่องจากปริมาณของเหลวที่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดสารโมเลกุลเล็กหรือผลิตภัณฑ์แก๊สที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไป

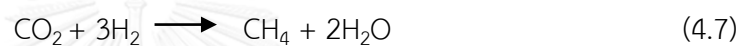
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากเกินไปจะทำให้โมเลกุลที่เกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่องเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง จึงทำให้ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสถึง 500 องศาเซลเซียสมีร้อยละผลได้ของแก๊สสูงขึ้นจากร้อยละ 11.31 เป็น 14.15 และผลิตภัณฑ์ของแข็งเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 2.01 เป็น 7.43 ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.5 [30]



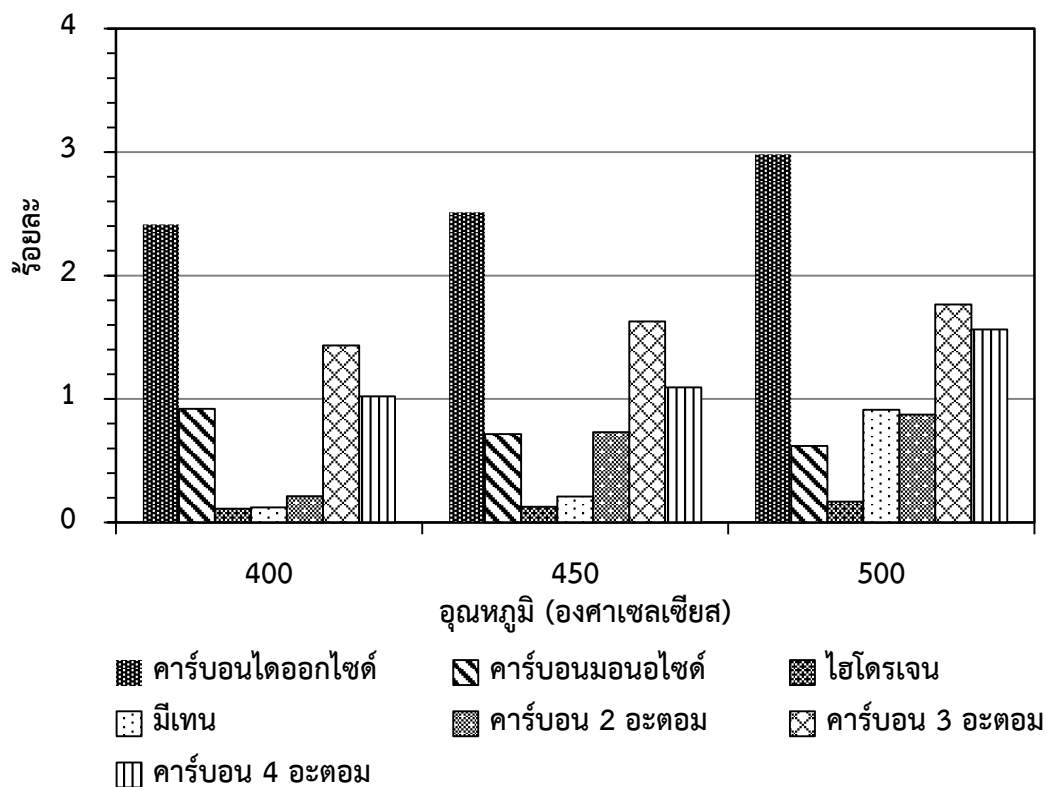
รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สและของแข็ง ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.11 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะประกอบด้วย มีเทน เอทิลีน โพรไพลีน โพรเพน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบาชนิดอื่นๆ จากการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มจากอุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก มีเทน สารประกอบที่มีคาร์บอนในช่วง 2 ถึง 4 อะตอม มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ได้มาก เมื่ออุณหภูมิของไพโรไลซิสเพิ่มมากขึ้น และสามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่สามารถเกิดร่วมในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มเช่น ปฏิกิริยาเมทานะชัน ปฏิกิริยาอวเตอ์แก๊สซีปย้อนหลัง ดังสมการที่ 4.6 ถึง 4.8

ปฏิกิริยาเมทานะชัน



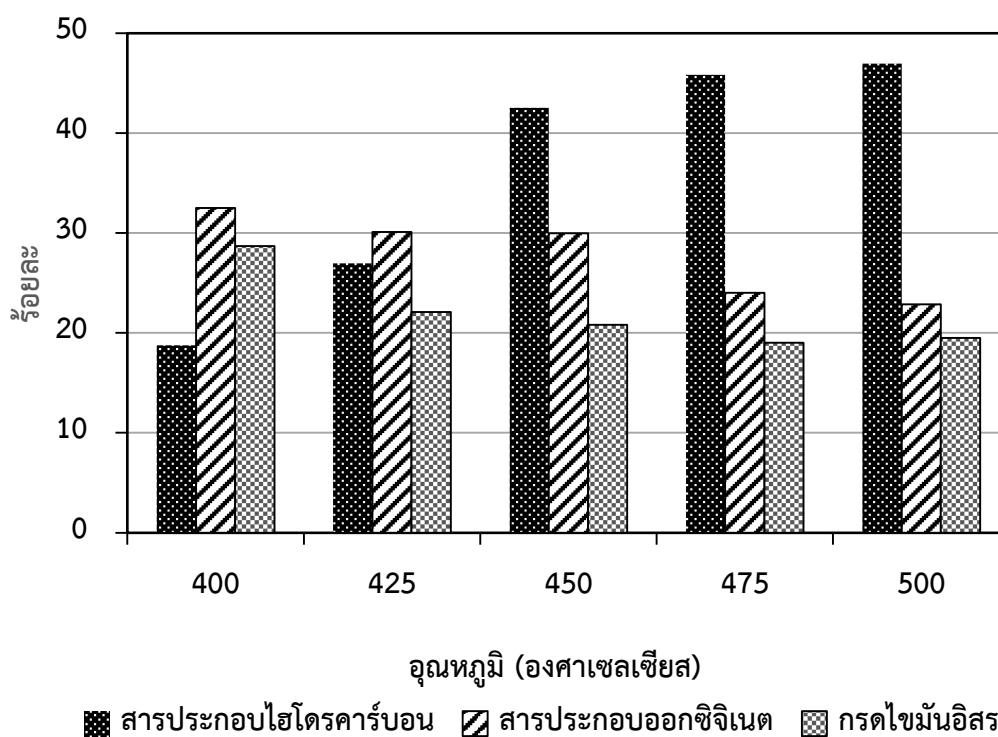
ปฏิกิริยาอวเตอ์แก๊สซีปย้อนหลัง



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊สในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

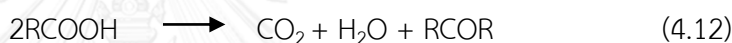
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการเป็น 500 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปฏิกิริยาข้างเคียง การเกิดของแข็งมากขึ้นดังสมการที่ 4.7 ถึง 4.10 จึงส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงจากร้อยละ 0.92 เป็น 0.62 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาการเกิดโค้ก



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละโดยมวลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและกรดไขมันอิสระ ในผลิตภัณฑ์ของเหลว ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.12 แสดงผลของอุณหภูมิต่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจน และกรดไขมันอิสระ ในผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนใน ผลิตภัณฑ์ของเหลวพบว่าปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 18.77 เป็น 46.94 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส เนื่องจาก อุณหภูมิส่งผลต่อการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งคือองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 4.1 ซึ่งการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวซึ่งจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียสโดยมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 28.67 เป็นร้อยละ 19.48 ซึ่งปริมาณที่ลดลงของกรดไขมันอิสระสัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation reaction) แสดงดังสมการที่ 4.11 และ 4.12 ซึ่งส่งผลต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยา



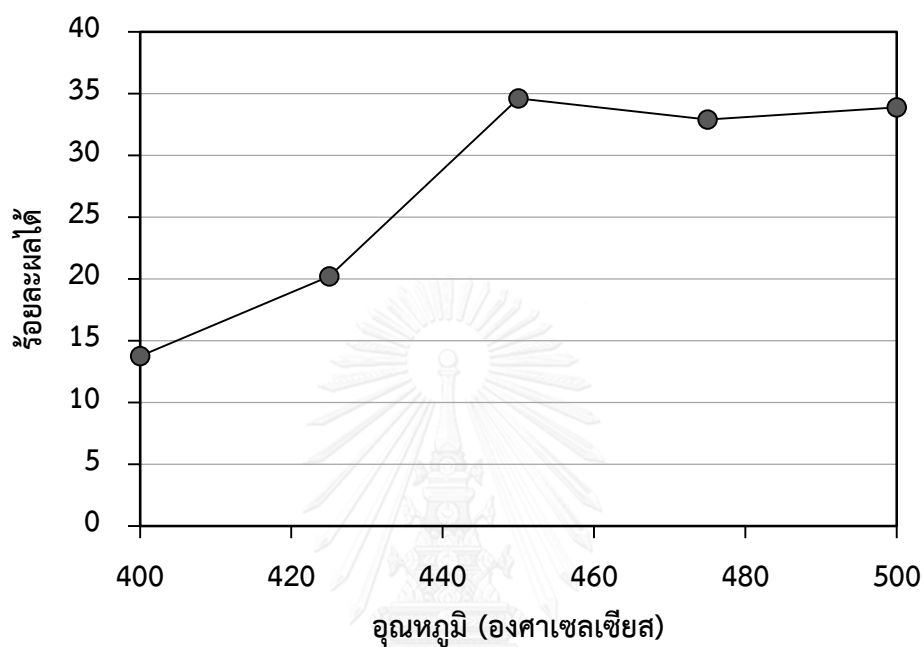
เมื่อพิจารณาปริมาณของสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่แสดงดังรูปที่ 4.12 และองค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณออกซิเจนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการแตกตัวของสารประกอบออกซิเจนที่เกิดขึ้น ซึ่งสารประกอบคีโตนที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารประกอบออกซิเจนสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวดังสมการที่ 4.14 และ 4.15



ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ลำดับ	สารประกอบ	ร้อยละ		
		400 °C	450 °C	500 °C
1	9-Octadecene, 1-methoxy-, (E)-	-	0.63	0.00
2	Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	2.13	2.26	1.08
3	Octadecanoic acid, 2-propenyl ester	1.30	1.24	0.68
4	Oleyl Alcohol	1.63	3.05	1.07
5	2-Nonadecanone	2.71	1.01	0.55
6	Ethanol, 2-(9-octadecenyloxy)-, (Z)-	3.57	0.98	3.02
7	6-Pentadecanone	3.75	1.12	0.49
8	n-Tetracosanol-1	1.86	2.78	1.17
9	9-Heptadecanone	0.00	0.74	0.37
10	10-Nonadecanone	7.54	1.76	0.56
11	: 16-Hentriacontanone	2.03	7.51	2.00
12	17-Pentatriacontene	3.40	5.85	1.29
13	18-Pentatriacontanone	2.56	1.68	0.54
	รวม	32.49	30.61	12.84

รูปที่ 4.13 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน พบว่าอุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสโดยพบว่ามีร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 34.63 ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ



รูปที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

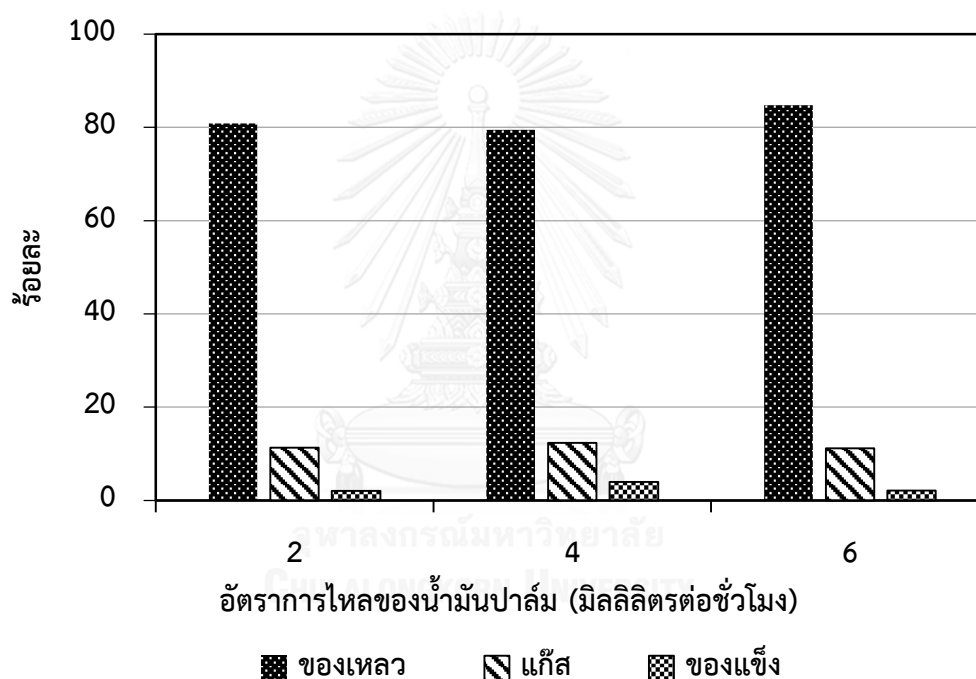
4.6.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในไฟโรไลซิสที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม

การศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มทำการศึกษาในช่วง 2 ถึง 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.14 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มพบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ลดลง เนื่องจากทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มลดลง



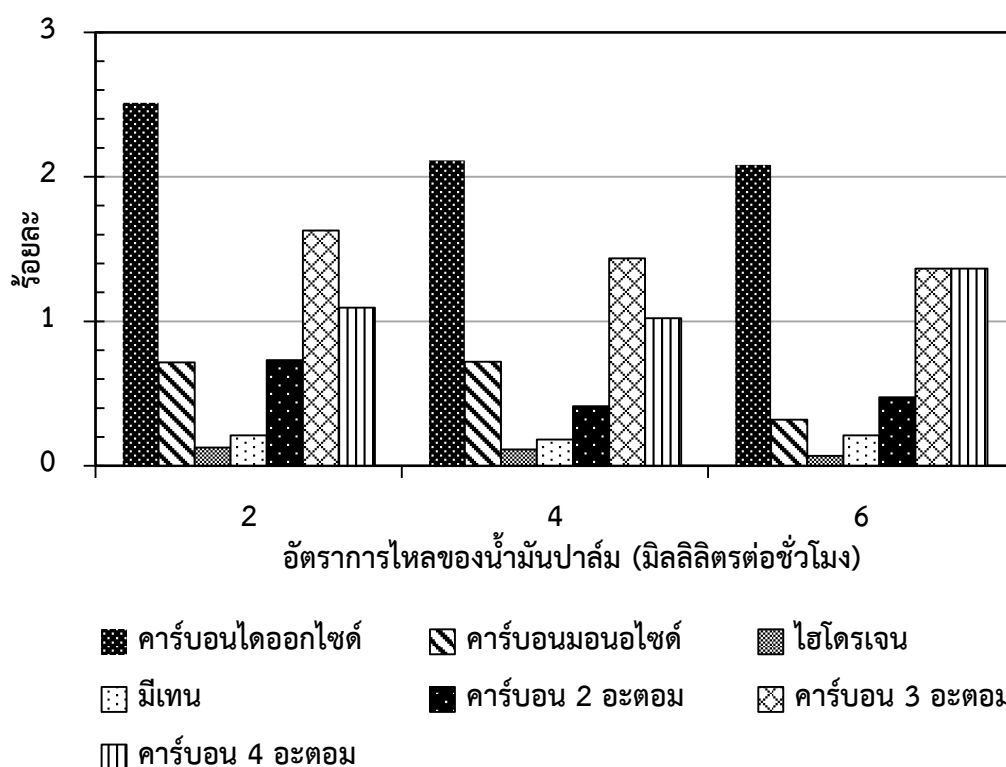
รูปที่ 4.14 ผลต่ออัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.15 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ แก๊ส ของแข็งและของเหลว จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจาก 2 ถึง 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่น้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม ส่งผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มให้มีปริมาณการแตกตัวที่ลดลง เมื่อผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สและผลิตภัณฑ์ของแข็ง เนื่องจากการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่ที่ลดลง ส่งผลให้เกิดโมเลกุลเล็กๆมีปริมาณลดลงการเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สหรือโค้กซึ่งเป็นของแข็งที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นดังสมการที่ 4.5 จึงมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.15 ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ของผลิตภัณฑ์ ของเหลว แก๊สและของแข็ง ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.16 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส โดยจากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่ 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2.51 โดยน้ำหนัก ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.71 โดยน้ำหนัก ปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 0.72 โดยน้ำหนัก ปริมาณมีเทนร้อยละ 0.21 โดยน้ำหนัก ปริมาณไฮโดรคาร์บอนอะตอม 2 ถึง 3 อะตอมร้อยละ 2.71 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดจากอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่ 4 และ 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของเหลวมีการแตกตัวได้เป็นแก๊สน้อยลงส่งผลให้องค์ประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์แก๊สมีค่าน้อยลง

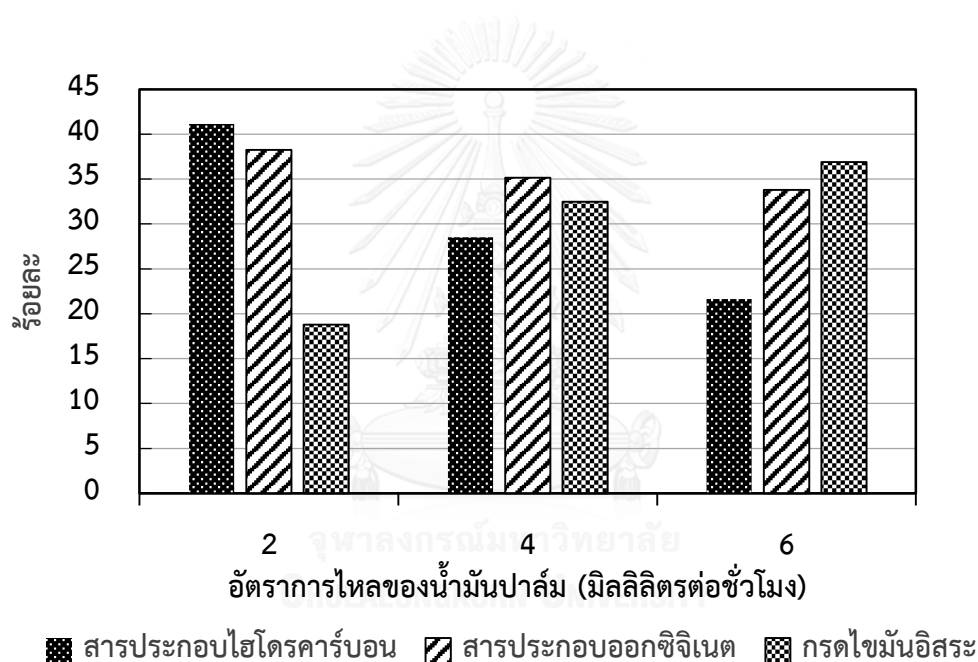


รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่ได้จากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

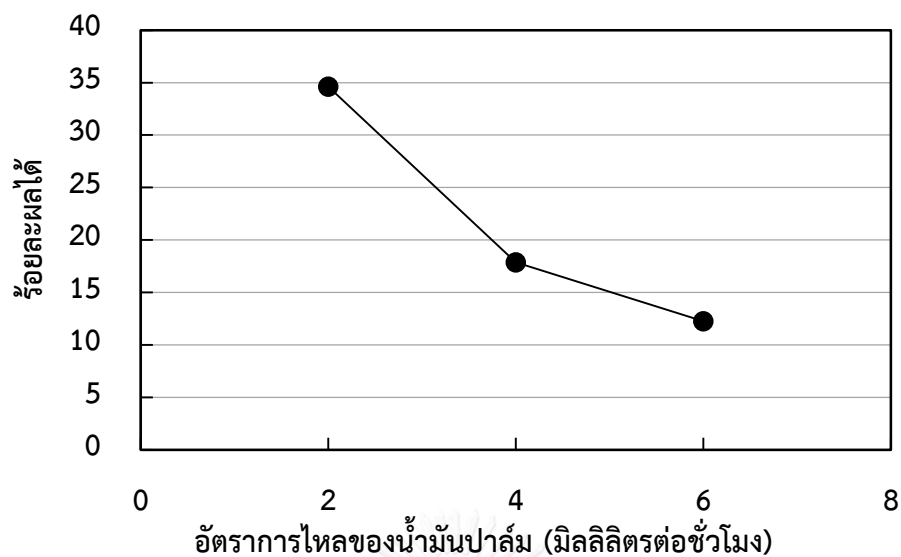
เมื่อพิจารณาปริมาณไฮโดรคาร์บอนอะตอม 4 ดังรูปที่ 4.16 จะพบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 1.36 เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มเป็น 6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่น้อยลง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ลดลงส่งผลต่อสารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนอะตอม 4 มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมคาร์บอน 1 ถึง 3 ลดลงซึ่งเป็นผลจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ลดลง

เมื่อพิจารณาผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อปริมาณร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนดังรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจาก 2 เป็น 6 มิลลิตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนลดลงจากร้อยละ 34.62 เป็น 12.24 เนื่องจากโมเลกุลใหญ่ เช่น กรดไขมันอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการไหลแสดงดังรูปที่ 4.17 กรดไขมันอิสระไม่สามารถแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง จึงส่งผลต่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนภายในผลิตภัณฑ์ของเหลว



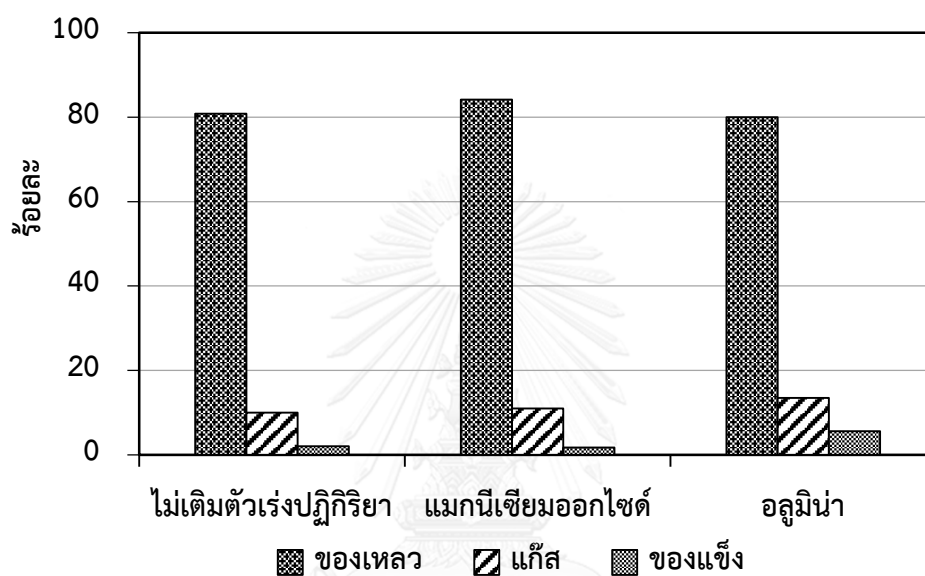
รูปที่ 4.17 ผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละโดยมวลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและกรดไขมันอิสระ ในผลิตภัณฑ์ของเหลว ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.18 ผลของอัตราการใช้ของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

4.6.3 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม

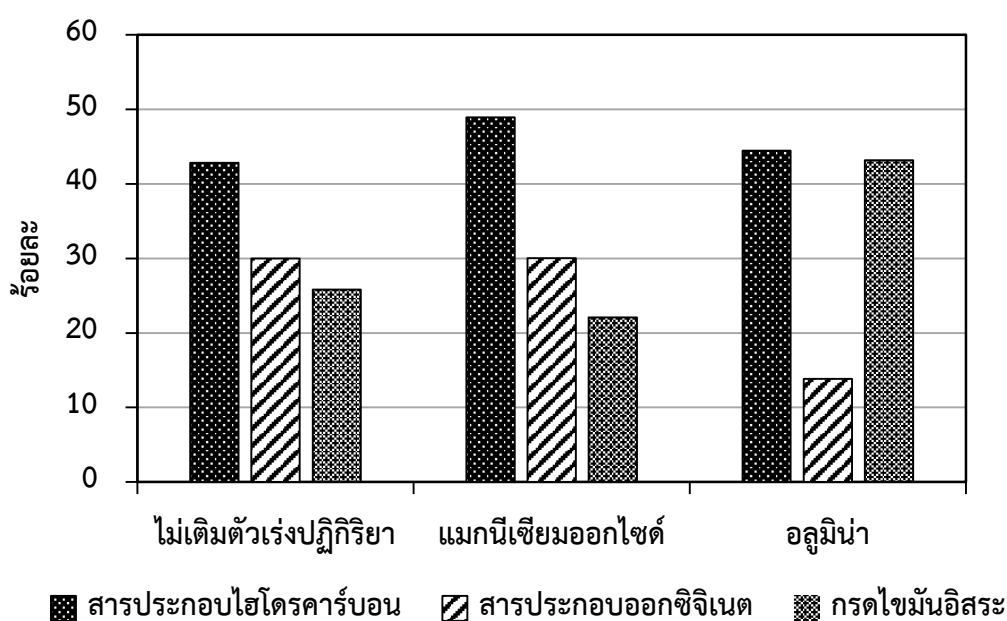
การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา ที่เคลือบบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค



รูปที่ 4.19 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.19 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยพบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ พบว่ามีร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 84.21 ร้อยละผลได้ของแก๊สร้อยละ 10.01 และของแข็งร้อยละ 1.73 เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดของแข็งหรือโค้ก ดังสมการที่ 4.7 ถึง 4.10

ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาแสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินามีร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 80.00 และร้อยละผลได้ของแก๊สร้อยละ 13.46 ร้อยละผลได้ของของแข็งร้อยละ 5.56 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าร้อยละผลได้ของของเหลวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สและของแข็งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินามีคุณสมบัติเป็นกรดลิวอิสสามารถเร่งการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่จนกระทั่งมีผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กหรือแก๊ส ซึ่งแก๊สที่เกิดสามารถทำปฏิกิริยาต่อจนกระทั่งเกิดของแข็งหรือโค้กในปฏิกิริยา ดังสมการที่ 4.7 ถึง 4.10



รูปที่ 4.20 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

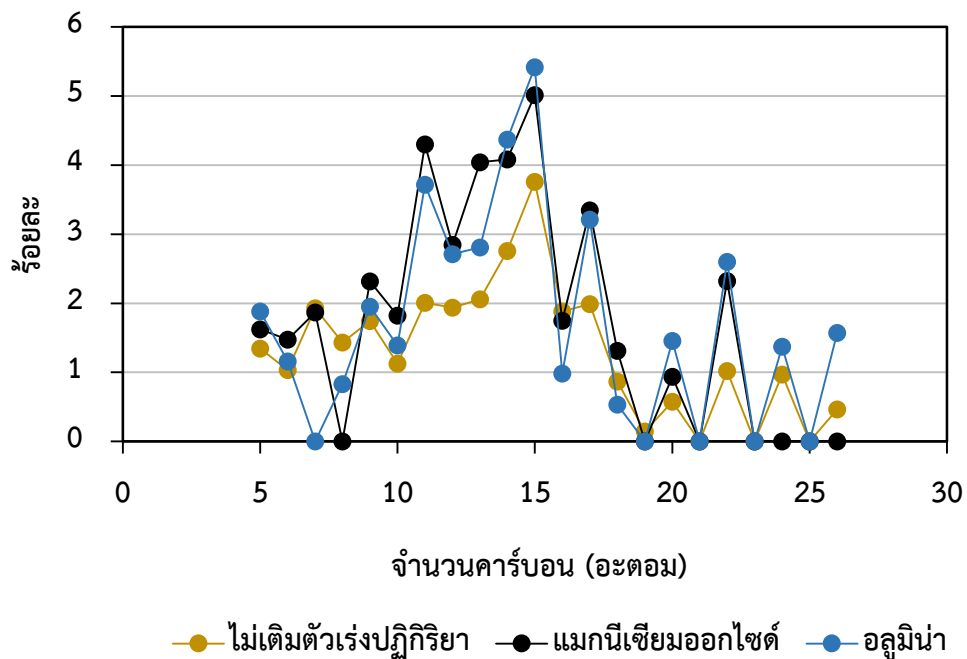
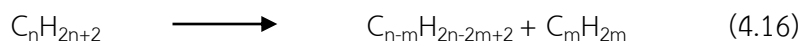
รูปที่ 4.20 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา มีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 48.90 และ 44.145ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ไม่มีการ

เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่าสามารถที่จะเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณสารประกอบออกซิเจนร้อยละ 30.01 แสดงดังรูปที่ 4.20 ซึ่งมีปริมาณที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา แต่มีปริมาณที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่า โดยส่วนประกอบของสารออกซิเจนสามารถแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยส่วนประกอบที่มีปริมาณมากในสารประกอบออกซิเจนได้จากผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ คือสารประกอบคีโตน เช่น 10-Nonadecanone 16-Hentriacontanone และ 8-Pentadecanone ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระ แสดงได้ดังสมการที่ 4.4 ซึ่งกรดไขมันที่เกิดปฏิกิริยาเกิดจากการแตกตัวของ ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์ม ซึ่งจากการรวมกรดไขมันอิสระดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลงในผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่าและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 4.20 ซึ่ง การลดลงของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวจะส่งผลต่อความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ต่ำลง ซึ่งจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีความเป็นกรดสูง

ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่ามีปริมาณสารประกอบออกซิเจนปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และสภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.20 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 43.16 ซึ่งมีปริมาณที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และสภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจาก ความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์จะส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มมากขึ้น กรดไขมันอิสระจะสามารถแตกตัวได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันหรือดีคาร์บอนิลเลชัน ดังสมการที่ 4.14 และ 4.15 แต่เนื่องจากความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่สามารถเปลี่ยนรูปของกรดไขมันอิสระที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันหรือดีคาร์บอนิลเลชัน ส่งผลให้กรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่าจึงมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และสภาวะไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวส่งผลต่อคุณสมบัติค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นของผลิตภัณฑ์ของเหลว ซึ่งจะส่งผลต่อความเหมาะสมในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่า

รูปที่ 4.21 แสดงการกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จำนวนคาร์บอนที่ 15 และ 17 ซึ่งมีปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมอื่น ๆ โดยเกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ดังสมการที่ 4.2 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.14 และ 4.15 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา การแตกตัวเป็นแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก ดังสมการที่ 4.16



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

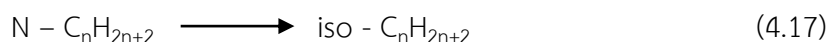
ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

สารประกอบ	ร้อยละ		
	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	อลูมิน่า	แมกนีเซียมออกไซด์
Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	2.26	-	-
9-Octadecene, 1-methoxy-, (E)-	0.63	-	-
Methyl cyclopropane-1-carboxylate	-	0.14	0.12
2-Heptadecanone	0.74	4.96	6.29
3-Octadecanone	-	0.87	0.42
Z-9-Hexadecen-1-ol acetate	-	-	2.72
1-methylbutanol	-	0.48	-
Cyclododecanol, 1-ethenyl-	-	-	2.05
2-Nonadecanone	1.76	1.52	1.54
trans-2-Pinanol	-	-	0.62
8-Pentadecanone	1.12	-	1.87
10-Nonadecanone	1.01	1.94	4.67
Oleyl Alcohol	3.05	3.92	-
Octadecane, 1-(ethenyloxy)-	-	-	0.47
Dodecanal	-	-	0.81
16-Hentriacontanone	7.51	-	6.91
Anthracene, 9,10-dihydro-9,9,10-hydroxyl-	-	-	1.42
Methyl 13,16-docosadienoate	-	-	0.15
Octadecanoic acid, 2-propenyl ester	1.24	-	-
Ethanol, 2-(9-octadecenyl-), (Z)-	0.98	-	-
n-Tetracosanol-1	2.78	-	-
17-Pentatriacontene	5.85	-	-
18-Pentatriacontanone	1.68	-	-
รวม	30.61	13.84	30.06

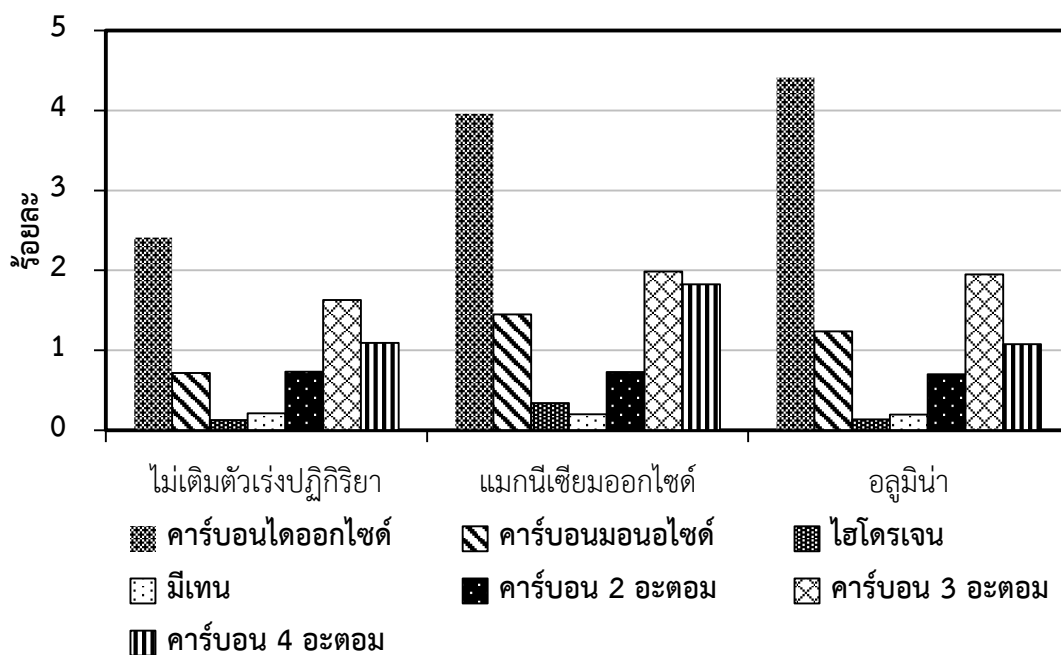
ตารางที่ 4.6 ผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

สารประกอบ	ร้อยละ		
	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	แมกนีเซียมออกไซด์	อลูมิน่า
แนฟทานิก	1.61	0.32	1.91
โอเลฟินส์	32.40	43.32	25.09
พาราฟินส์	8.93	2.95	6.35
โซกิง-พาราฟินส์	0.00	1.32	1.23
อะโรมาติก	0.00	0.00	9.87
รวม	42.81	47.91	44.45

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่ามีส่วนประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ชนิดโอเลฟินส์ ปริมาณมากที่สุด เนื่องจากส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นปริมาณมาก เมื่อเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน จึงได้สารประกอบชนิดโอเลฟินส์ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่าและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ พบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิด โซกิง-พาราฟินส์ ซึ่งมาจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันดังสมการที่ 4.17



สารประกอบไฮโดรคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่า พบสารประกอบอะโรมาติกเนื่องตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่า ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรไฮโดรไลเซชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดผ่านตัวกลางคาร์โบแคตไอออน ซึ่งทำให้เกิดสารประกอบอะโรมาติกขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.22 ผลิตภัณฑ์แก๊สจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.10 กรัม อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

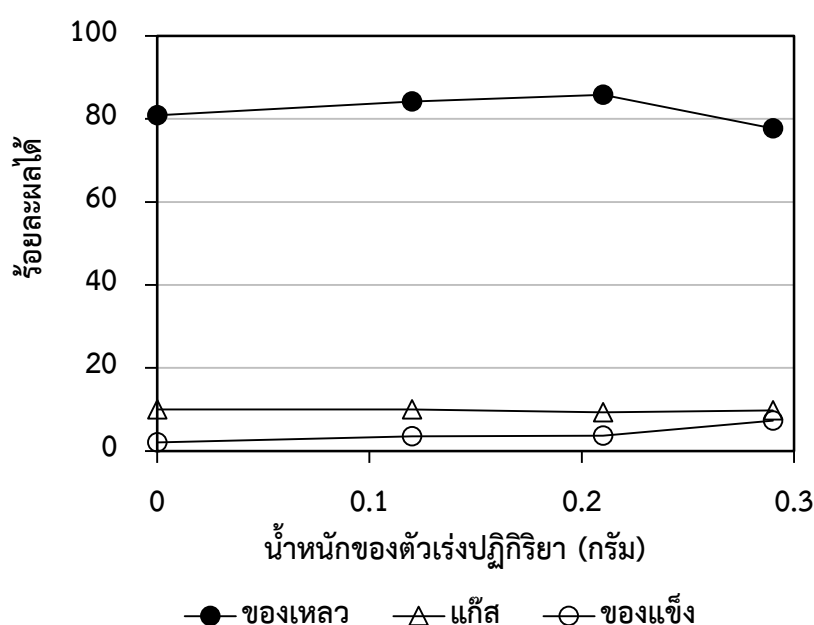
รูปที่ 4.22 แสดงผลิตภัณฑ์แก๊สจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ ผลิตภัณฑ์แก๊สบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินามีปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แก๊สภาวะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งผลของการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลต่อปริมาณของแก๊สที่เพิ่มมากขึ้นหลังเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา แสดงดังรูปที่ 4.19 เนื่องจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมกันเกิดเป็นของแข็งหรือโค้กที่เกาะบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.7 ถึง 4.10

ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมในไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค เนื่องจากมีร้อยละผลได้ของของเหลว ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในของเหลวสูง และมีปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นกรดที่ต่ำเหมาะสมกับการใช้งาน

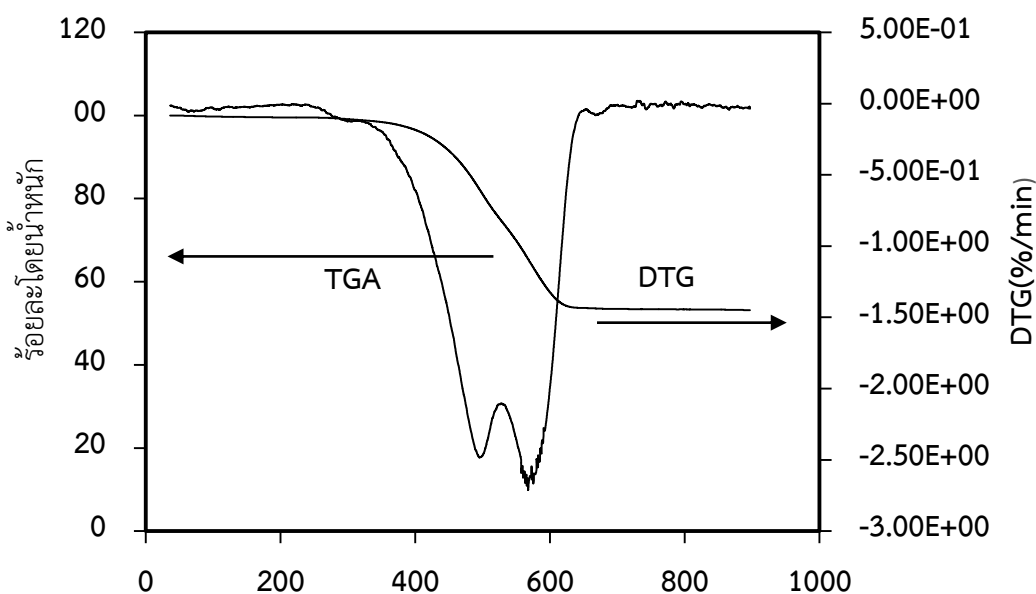
4.6.4 การศึกษาผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม

การศึกษาผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยศึกษาในช่วงของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 ถึง 0.3 กรัม



รูปที่ 4.23 ผลน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

รูปที่ 4.23 ผลน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อระหว่างร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ โดยพบว่าเมื่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.21 กรัม ร้อยละผลได้ของของเหลว และของแข็งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก โมเลกุลใหญ่ที่เกิดขึ้นในระหว่างไพโรไลซิส ที่ติดอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังทำไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม จึงส่งผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ของของแข็งที่เพิ่มขึ้นในการเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา



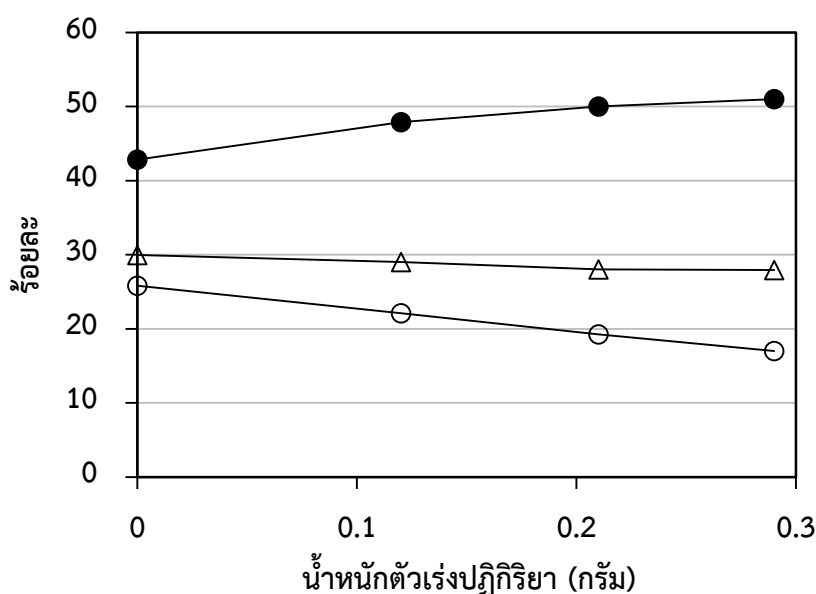
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4.24 ผลของ TGA และ DTA ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ หลังทำไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.19 กรัม

รูปที่ 4.24 แสดงผล TGA และ DTA ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์พบว่า การสลายตัวในช่วงแรกมีการสลายตัวร้อยละ 25.64 ที่อุณหภูมิในช่วง 257 ถึง 536 องศาเซลเซียส ในช่วงการสลายตัวนี้เป็นการสลายตัวของสารประกอบที่เกิดขึ้นจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม และในช่วงการสลายตัวที่สองจะเริ่มสลายตัวในช่วง 536 ถึง 609 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงการสลายตัวนี้คือช่วงการสลายตัวของของแข็งที่เกิดขึ้นในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม

และเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เป็น 0.29 กรัม ดังรูปที่ 4.24 พบว่าร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 77.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สร้อยละ 12.78 และร้อยละผลได้ของของแข็งร้อยละ 7.29 เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.12 และ 0.21 กรัม พบว่ามีร้อยละผลได้ของของเหลวปริมาณลดลงร้อยละผลได้ของแก๊สและของแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่น้ำหนัก 0.29 กรัม สามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่มากเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สและของแข็งเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.25 แสดงผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจน จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.21 กรัม พบว่ามีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 50.02 ซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.12 กรัม เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเพิ่มปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลใหญ่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

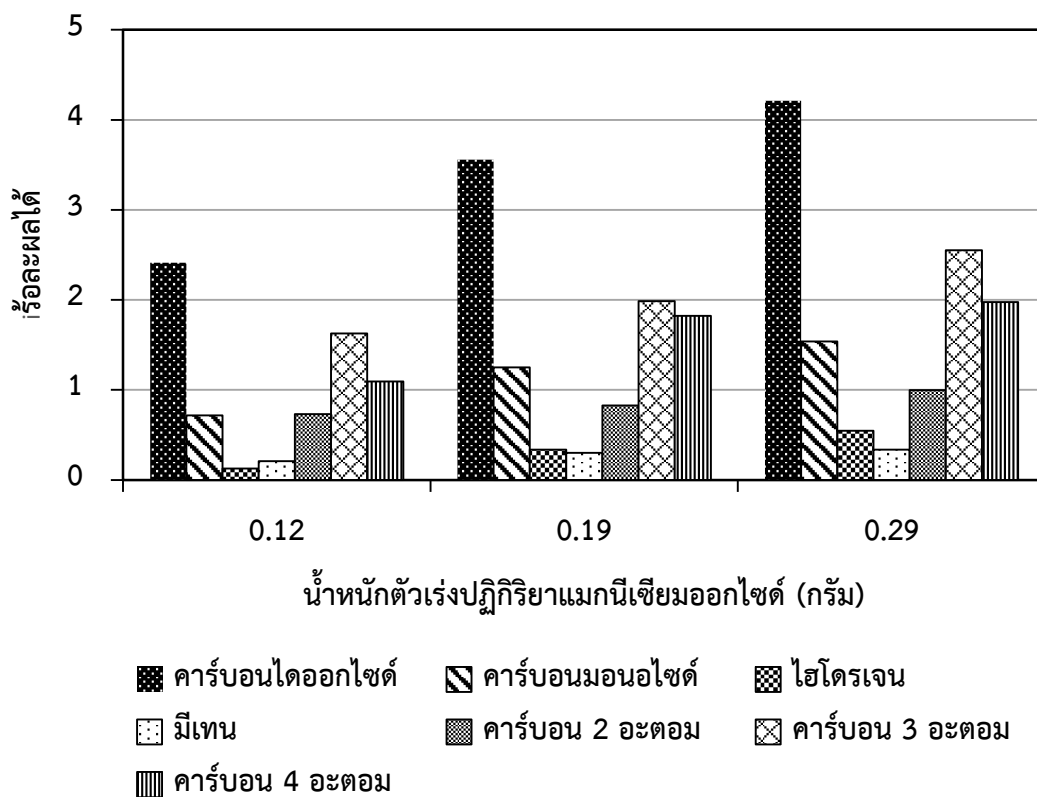


● สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ▲ สารประกอบออกซิเจน ○ กรดไขมันอิสระ

รูปที่ 4.25 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบออกซิเจนและสารประกอบ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

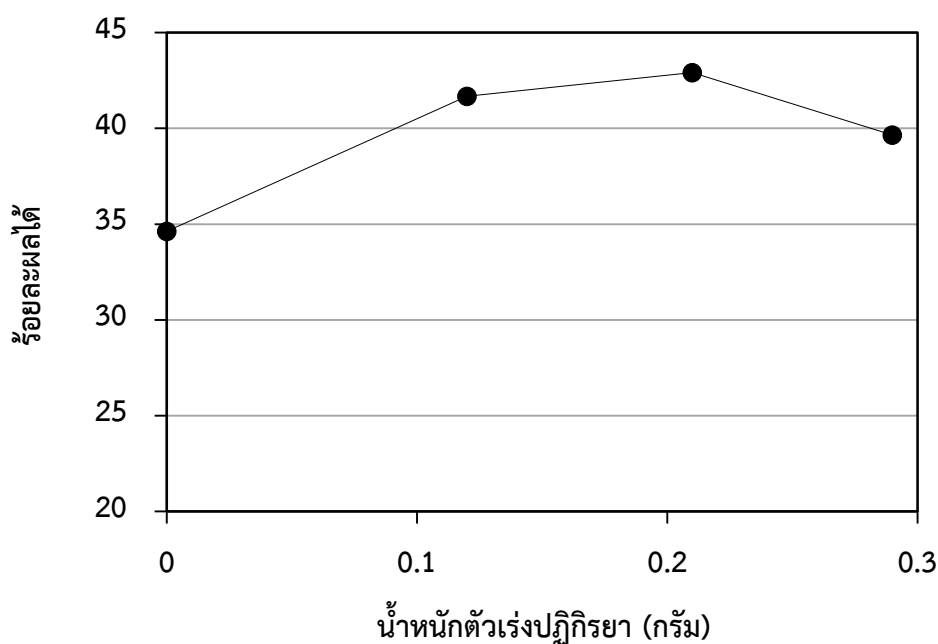
เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบออกซิเจนและกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ของเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เป็น 0.21 กรัมพบว่า สารประกอบออกซิเจนมีปริมาณร้อยละ 28.02 และกรดไขมันอิสระร้อยละ 19.23 มีปริมาณลดน้อยลงเมื่อทำการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระ เกิดปฏิกิริยาดีคาร์

บอกลีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งสามารถลดปริมาณของกรดไขมันอิสระและสารประกอบออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.26 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.26 แสดง ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ จะมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันและดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งเป็นการหลุดออกของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยานี้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ในทางเดียวกันตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณแก๊สเพิ่มมากขึ้น

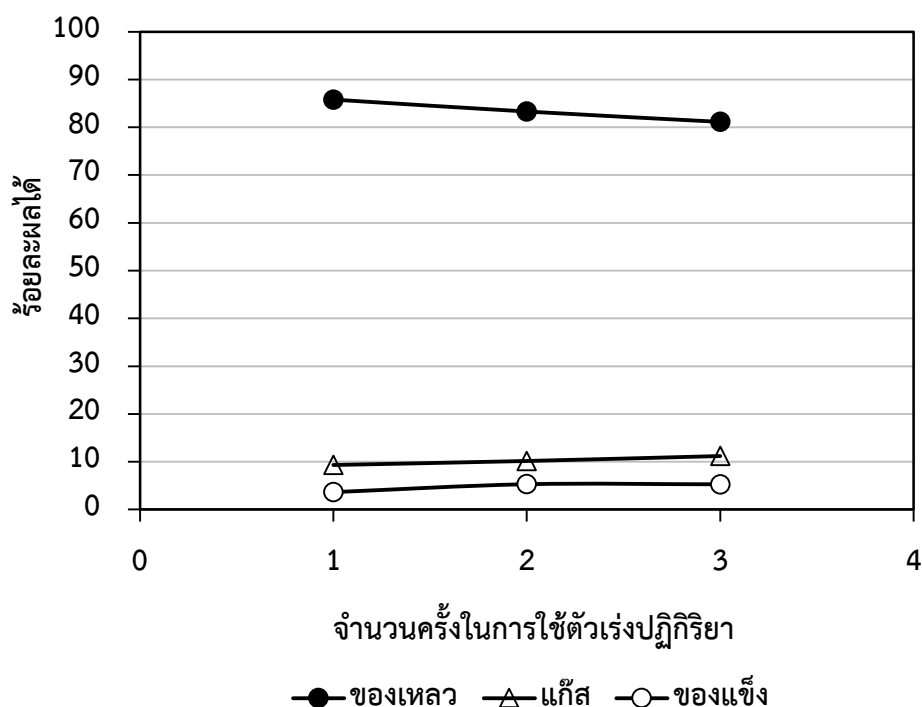


รูปที่ 4.27 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

รูปที่ 4.27 แสดงผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะพบว่าร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 0.21 กรัม โดยมีร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 42.91 แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 0.29 กรัม พบว่าร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 39.66 ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ 0.29 กรัม เนื่องจากของเหลวที่มีปริมาณลดลงเมื่อเพิ่มตัวเร่งมากเกินไป จึงส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง ดังนั้นน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีความเหมาะสมในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคคือ 0.21 กรัม

4.6.5 การศึกษาผลการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม

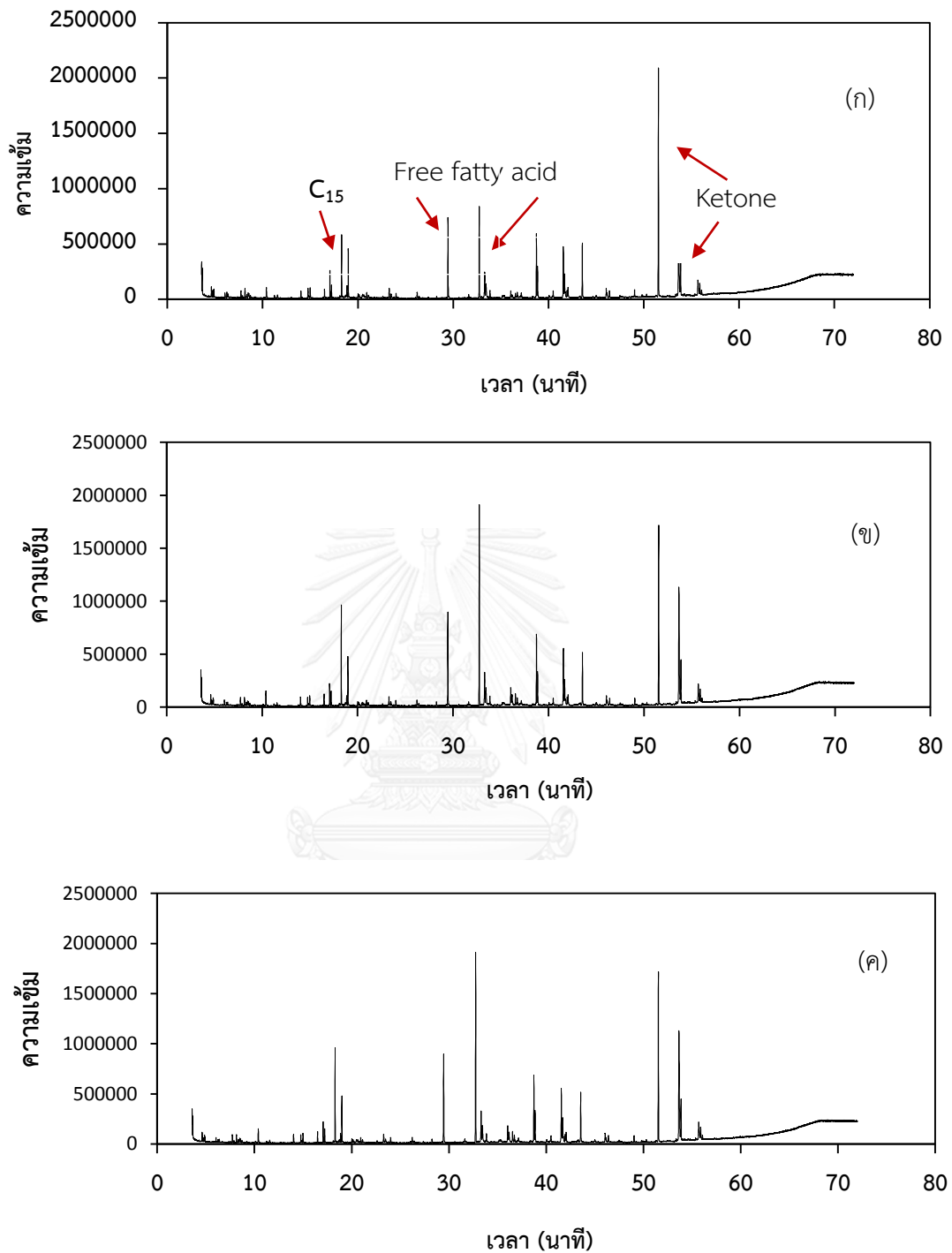
การศึกษาผลของการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม ทำการศึกษาโดยนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ 0.21 กรัม นำกลับมาใช้ใหม่โดยการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง โดยผลการศึกษาในการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 และ 3 พบว่าปริมาณร้อยละผลได้ของของเหลวการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ในครั้งที่ 2 และ 3 คือร้อยละ 83.30 และ 81.13 ตามลำดับ ดังแสดงดังรูปที่ 4.28 ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 1 เนื่องมาจากประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการใช้ครั้งที่ 2 และ 3 มีโอกาสที่ของแข็งหรือโค้กจะยังอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดโค้กที่เกิดขึ้นใหม่บนตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.28 ผลของจำนวนครั้งในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

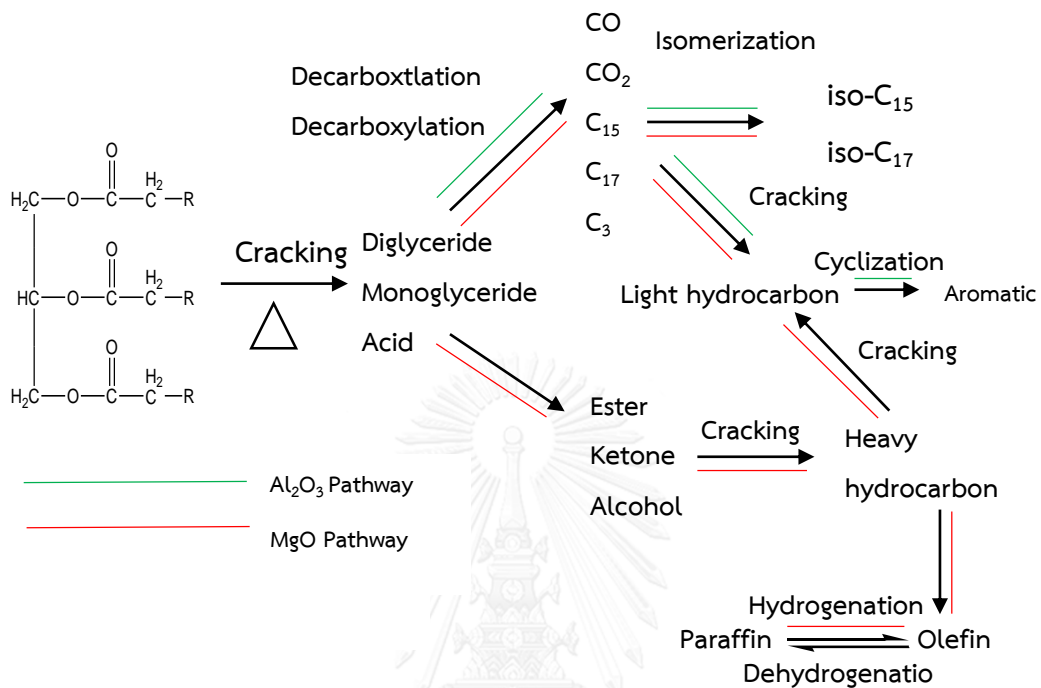
รูปที่ 4.29 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ของเหลวไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์ม บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในแต่ละครั้งที่ใช้งาน (ก) ครั้งที่ 1 (ข) ครั้งที่ 2 (ค) ครั้งที่ 3 โดยพบว่าลักษณะโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ครั้งที่ 2 และ 3 มีลักษณะที่แตกต่างกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ครั้งที่ 1 โดยพบว่าที่ Retention time 32.74 นาที คือ Hexanoic acid ซึ่งคือกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ มีปริมาณน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 2 และ 3 เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันที่ลดลง และเมื่อพิจารณาที่ Retention time 51.53 นาที จะพบว่ามีปริมาณน้อยลงเมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 2 และ 3 เนื่องจากประสิทธิภาพที่ลดลงของตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระมีปริมาณลดลงส่งผลให้กรดไขมันอิสระ พบปริมาณมากขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 2 และ 3





รูปที่ 4.29 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ของเหลวไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ในแต่ละครั้งที่ใช้งาน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (ก) ครั้งที่ 1 (ข) ครั้งที่ 2 (ค) ครั้งที่ 3

4.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.30 การเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์

จากรูปที่ 4.30 พบว่าการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ ซึ่งกรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาการหลุดออกของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์หรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์คาบอนิลเลชันได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งสามารถแตกตัวต่อจนกระทั่งได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก นอกจากนั้นกรดไขมันอิสระยังสามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมกันได้สารประกอบจำพวกคีโตน แอลกอฮอล์และเอสเทอร์ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวต่อจนกระทั่งได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถแตกตัวต่อจนกระทั่งได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันและดีไฮโดรจิเนชัน ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งสารประกอบโอเลฟินส์และสารประกอบพาราฟินส์ นอกจากนี้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันและปฏิกิริยาไซโคเซชันซึ่งทำให้เกิดสารประกอบไซกิงและสารประกอบอะโรมาติก

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดและเบสพบว่า ทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดและเบสสามารถเร่งปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันตามเส้นสีแดงและสีเขียวในรูปที่ 4.30 ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระทำให้ได้สารประกอบออกซิเจนและจึงแตกตัวได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่และเล็ก ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่าจะเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันหลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวจนได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่มีปริมาณมาก

4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองในช่วงต้นพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยคืออุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ 0.21 กรัม ซึ่งคำนวณเป็นค่า WHSV (Weight hour velocity) เท่ากับ 9.09 ต่อชั่วโมง ซึ่งจะได้ร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 85.79 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์มากกว่าร้อยละ 99 และร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนคือร้อยละ 42.91 จากตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของของเหลว ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์และร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีปริมาณที่แตกต่างจากงานวิจัยส่วนใหญ่ ซึ่งใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณมากในการไพโรไลซิสน้ำมัน ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีค่า 6 ร้อยละผลได้ของของเหลว ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์และร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงกว่างานวิจัยอื่นเมื่อเปรียบเทียบที่ภาวะการทดลองใกล้เคียงกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดช่องในการทำปฏิกิริยาขนาดเล็ก ส่งผลให้สามารถถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารของตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงทำให้ในงานวิจัยนี้มีร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับไพโรไลซิสน้ำมันพืช

Feed-stock	Process		T (°C)	Catalyst	WHSV (h ⁻¹)	Triglyceride conversion	Liquid yield	HC yield	References
	Pyrolysis technology								
Rapeseed oil	Fixed-bed reactor		550	Ni/HZSM-5	7.6	N/A	N/A	39.5	[17]
Soybean oil	Fixed-bed reactor		350-400	Al ₂ O ₃	N/A	N/A	75.3	N/A	[43]
Canola oil	Fixed-bed reactor microreactor		400-500	MgO	12	56.3	72.2	29.1	[19]
Rubber seed oil	Fixed-bed reactor		420	N/A	N/A	N/A	57.4	35.3	[20]
Woody oil	Fixed-bed reactor		400-500	Al ₂ O ₃	0.55	N/A	75.5	35.5	[44]
Palm oil	Microchannel reactor		400-500	MgO	0.11	>99	85.79	42.91	-

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวแบบต่อเนื่องจากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่อง Pyro-GC/MS และเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยในการศึกษาในเครื่อง Pyro-GC/MS จะทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มและประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา และในการศึกษาไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค โดยในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีการศึกษาการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ และศึกษาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ประกอบด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในไพโรไลซิส น้ำมันปาล์ม อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา และผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มในเครื่อง Pyro-GC/MS พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อ ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ปริมาณสารประกอบออกซิเจน ที่ลดลง และปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในไพโรไลซิส น้ำมันปาล์มส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของสารโมเลกุลใหญ่ ส่งผลให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น

5.1.2 จากการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่อง Pyro-GC/MS โดยทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าผลของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อ ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ ปริมาณและองค์ประกอบของสารประกอบออกซิเจน และปริมาณและองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์น้อยที่สุดและตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ส่งผลต่อการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ และส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันของกรดไขมันอิสระ และสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงสุดเนื่องจาก ความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่เพิ่มมากขึ้น

5.1.3 จากการศึกษาการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา และตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์สามารถยึดติดกับพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม ที่สภาวะการทดลองที่มีความรุนแรง

5.1.4 จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลจนได้เป็นสารผลิตภัณฑ์แก๊สที่เพิ่มมากขึ้น

5.1.5 จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มส่งผลต่อ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ที่ลดลง ร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มส่งผลให้สารตั้งต้นหรือน้ำมันปาล์มอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้สั้นลง จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวที่ลดลง

5.1.6 จากการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อ ร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินาส่งผลต่อการแตกตัวของสารโมเลกุลใหญ่ และยังสามารถส่งเสริมปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมินา ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์

5.1.7 จากการศึกษาการเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ พบว่าการเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ จาก 0.12 กรัม เป็น 0.21 กรัม จะส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา เป็น 0.3 กรัม ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนลดลง เนื่องจากเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ส่งผลต่อการแตกตัวของสารโมเลกุลใหญ่ที่เพิ่มมากขึ้นแต่เมื่อมีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นโมเลกุลแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น

5.1.8 ภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับการไฟโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค คือที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม 2 มิลลิลิตรต่อนาที บน

ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ 0.21 กรัม โดยมีร้อยละผลได้ของของเหลวร้อยละ 85.79 แก๊สร้อยละ 9.32 และของแข็งร้อยละ 3.64 โดยมีปริมาณร้อยละผลได้ของไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 42.91

5.1.9 จากการศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มาใช้ใหม่พบว่า การนำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์มาใช้ในครั้งที่ 2 และ 3 ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากของแข็งหรือโค้กเกาะอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

5.2.2 พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคเพื่อใช้ในการศึกษาแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.2.3 เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคในไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ซึ่งในทางปฏิบัติควรนำข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์มาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

รายการอ้างอิง

1. กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. 2558.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สถิติการเกษตรของประเทศไทย พ.ศ. 2558. 2558.
3. Šalić, A. and B. Zelić, *Microreactors portable factories for biodiesel fuel production*. 2011. 50(2): p. 85-97.
4. กรมทรัพยากรธรณี, ความรู้เรื่องปิโตรเลียม พ.ศ. 2545. 2545. กรกฎาคม.
5. นิธิยา รัตนานนท์, วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559.
6. Namliwan, N. and T. Wongwuttanasatian, *Performance of Diesel Engine Using Diesel B3 Mixed with Crude Palm Oil*. The Scientific World Journal, 2014. 2014.
7. ข้อดี-ข้อด้อยของไบโอดีเซล [ออนไลน์]. Available from : http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv_disadv.php [12 เมษายน 2560].
8. สุธา ขาวเจียร, การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเทคโนโลยีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน. 2555.
9. อุตสาหกรรมน้ำมันพืช [ออนไลน์]. Available from : <http://dit-km.myreadyweb.com/article/topic-41914.html> [18 เมษายน 2560].
10. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ and นิธิยา รัตนานนท์, น้ำมันปาล์ม [ออนไลน์]. Available from : <http://www.foodnetworksolution.com> [16 เมษายน 2560]
11. ผลปาล์มทำอะไรได้ [ออนไลน์]. Available from : <http://yes-palmoil.com> [19 เมษายน 2560]
12. การระกวด เทศศรี, ตัวเร่งปฏิกิริยานาโน : เทคโนโลยีการเร่งปฏิกิริยายุคใหม่. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2556. 18(2): p. 274-280.
13. นพิตา หิฎูชีระนันท์ และ ขวลิต งามจรัสศรีวิชัย, เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา. 2556, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. จารุ นาถกรณกุล, ไพโรไลซิสแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์, in วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
15. Roesyadi, A., D. Hariprajitno, N. Nurjannah, and S.D. Savitri, *HZSM-5 Catalyst for Cracking Palm Oil to Gasoline: A Comparative Study with and without*

- Impregnation Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis Today*, 2013. 7(3): p. 185 -190.
16. Ngo, T.-A., J. Kim, S.K. Kim, and S.-S. Kim, *Pyrolysis of soybean oil with H-ZSM5 (Proton-exchange of Zeolite Socony Mobil #5) and MCM41 (Mobil Composition of Matter No. 41) catalysts in a fixed-bed reactor*. *Energy*, 2010. 35(6): p. 2723-2728.
 17. Botas, J.A., D.P. Serrano, A. Garcia, J. de Vicente, and R. Ramos, *Catalytic conversion of rapeseed oil into raw chemicals and fuels over Ni- and Mo-modified nanocrystalline ZSM-5 zeolite*. *Catalysis Today*, 2012. 195(1): p. 59-70.
 18. Katikaneni, S.P.R., J.D. Adjaye, and N.N. Bakhshi, *Performance of Aluminophosphate Molecular Sieve Catalysts for the Production of Hydrocarbons from Wood-Derived and Vegetable Oils*. *Energy & Fuels*, 1995. 9(6): p. 1065-1078.
 19. Idem, R.O., S.P.R. Katikaneni, and N.N. Bakhshi, *Catalytic conversion of canola oil to fuels and chemicals: roles of catalyst acidity, basicity and shape selectivity on product distribution*. *Fuel Processing Technology*, 1997. 51(1): p. 101-125.
 20. Li, L., K. Quan, J. Xu, F. Liu, S. Liu, S. Yu, C. Xie, B. Zhang, and X. Ge, *Liquid hydrocarbon fuels from catalytic cracking of rubber seed oil using USY as catalyst*. *Fuel*, 2014. 123: p. 189-193.
 21. Wiggers, V.R., A. Wisniewski Jr, L.A.S. Madureira, A.A.C. Barros, and H.F. Meier, *Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant*. *Fuel*, 2009. 88(11): p. 2135-2141.
 22. da Mota, S.A.P., A.A. Mancio, D.E.L. Lhamas, D.H. de Abreu, M.S. da Silva, W.G. dos Santos, D.A.R. de Castro, R.M. de Oliveira, M.E. Araújo, L.E.P. Borges, and N.T. Machado, *Production of green diesel by thermal catalytic cracking of crude palm oil (Elaeis guineensis Jacq) in a pilot plant*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2014. 110: p. 1-11.

23. Yigezu, Z.D. and K. Muthukumar, *Catalytic cracking of vegetable oil with metal oxides for biofuel production*. *Energy Conversion and Management*, 2014. 84: p. 326-333.
24. Tani, H., T. Hasegawa, M. Shimouchi, K. Asami, and K. Fujimoto, *Selective catalytic decarboxy-cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon*. *Catalysis Today*, 2011. 164(1): p. 410-414.
25. Levenspiel, O., *Chemical Reaction Engineering* Department of Chemical Engineering Oregon State University
26. W. Ehrfeld, V. Hessel, and H. Löwe, *Microreactors*. New Technology for Modern Chemistry, 2000.
27. Gerhard, J., *Sol-Gel-Technology in Praxis*. European Coatings LIBRARY. 2014, Hannover: Vincentz Network.
28. Truyen, D., M. Courty, P. Alphonse, and F. Ansart, *Catalytic coatings on stainless steel prepared by sol-gel route*. *Thin Solid Films*, 2006. 495(1-2): p. 257-261.
29. Cebollada, P.A.R. and E. Garcia-Bordejé, *Optimisation of physical properties of γ -alumina coating microreactors used for the growth of a carbon nanofiber layer*. *Chemical Engineering Journal*, 2009. 149(1-3): p. 447-454.
30. Stefanescu, A., A.C. van Veen, E. Duval-Brunel, and C. Mirodatos, *Investigation of a Ni-based steam reforming catalyst developed for the coating of microstructures*. *Chemical Engineering Science*, 2007. 62(18-20): p. 5092-5096.
31. Germani, G., A. Stefanescu, Y. Schuurman, and A.C. van Veen, *Preparation and characterization of porous alumina-based catalyst coatings in microchannels*. *Chemical Engineering Science*, 2007. 62(18-20): p. 5084-5091.
32. Park, G.-G., S.-D. Yim, Y.-G. Yoon, C.-S. Kim, D.-J. Seo, and K. Eguchi, *Hydrogen production with integrated microchannel fuel processor using methanol for portable fuel cell systems*. *Catalysis Today*, 2005. 110(1-2): p. 108-113.
33. Hwang, S.-M., O.J. Kwon, and J.J. Kim, *Method of catalyst coating in microreactors for methanol steam reforming*. *Applied Catalysis A: General*, 2007. 316(1): p. 83-89.
34. Sang, O.Y., *Biofuel Production from Catalytic Cracking of Palm Oil*. *Energy Sources*, 2003. 25(9): p. 859-869.

35. Phung, T.K., A.A. Casazza, P. Perego, P. Capranica, and G. Busca, *Catalytic pyrolysis of vegetable oils to biofuels: Catalyst functionalities and the role of ketonization on the oxygenate paths*. Fuel Processing Technology, 2015. 140: p. 119-124.
36. Chiamonti, D., M. Buffi, A.M. Rizzo, M. Prussi, and F. Martelli, *Bio-Hydrocarbons through Catalytic Pyrolysis of Used Cooking Oils: Towards Sustainable Jet and Road Fuels*. Energy Procedia, 2015. 82: p. 343-349.
37. Mancio, A.A., K.M.B. da Costa, C.C. Ferreira, M.C. Santos, D.E.L. Lhamas, S.A.P. da Mota, R.A.C. Leão, R.O.M.A. de Souza, M.E. Araújo, L.E.P. Borges, and N.T. Machado, *Thermal catalytic cracking of crude palm oil at pilot scale: Effect of the percentage of Na₂CO₃ on the quality of biofuels*. Industrial Crops and Products, 2016. 91: p. 32-43.
38. Quirino, R.L., A.P. Tavares, A.C. Peres, J.C. Rubim, and P.A.Z. Suarez, *Studying the Influence of Alumina Catalysts Doped with Tin and Zinc Oxides in the Soybean Oil Pyrolysis Reaction*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2008. 86(2): p. 167.
39. Buzetzki, E., K. Sidorová, Z. Cvengrošová, A. Kaszonyi, and J. Cvengroš, *The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil cracking*. Fuel Processing Technology, 2011. 92(8): p. 1623-1631.
40. Chettha, J. and V. Tharapong, *Catalytic pyrolysis of used cooking oil by magnesium oxide support on activated carbon in continuous flow*. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences, 2013. 1: p. 429-432.
41. Kalu, E.E., K.S. Chen, and T. Gedris, *Continuous-flow biodiesel production using slit-channel reactors*. Bioresource Technology, 2011. 102(6): p. 4456-4461.
42. Goodwin, A.K. and G.L. Rorrer, *Conversion of Glucose to Hydrogen-Rich Gas by Supercritical Water in a Microchannel Reactor*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2008. 47(12): p. 4106-4114.
43. Junming, X., J. Jianchun, L. Yanju, and C. Jie, *Liquid hydrocarbon fuels obtained by the pyrolysis of soybean oils*. Bioresource Technology, 2009. 100(20): p. 4867-4870.

44. Xu, J., J. Jiang, J. Chen, and Y. Sun, *Biofuel production from catalytic cracking of woody oils*. *Bioresource Technology*, 2010. 101(14): p. 5586-5591.





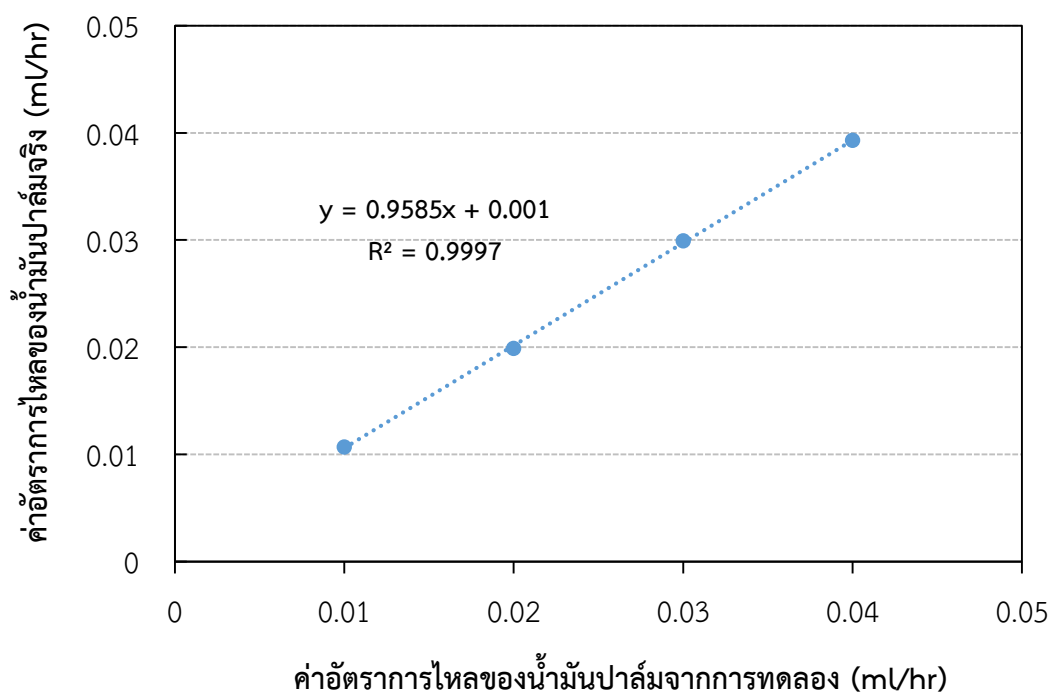
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การปรับเทียบอุปกรณ์สำหรับไพโรไลซิสน้ำมันปาล์ม

การปรับเทียบปั๊มแรงดันสูงสำหรับป้อนน้ำมันปาล์ม



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจากที่ได้จากการปรับค่ากับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มจริงที่ได้จากการทดลอง

ภาคผนวก ข

การคำนวณวิเคราะห์องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์

1. การวิเคราะห์คำนวณร้อยละผลได้ของของเหลว ของแข็งและแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้ของของเหลว} = \frac{\text{น้ำหนักของของเหลว} \times 100}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม}}$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของของแก๊ส} = \frac{\text{น้ำหนักของของแก๊ส} \times 100}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม}}$$

$$\text{น้ำหนักของแก๊ส} = \frac{\sum(\text{ร้อยละโดยโมล} \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส} \times \text{โมลของแก๊ส})}{100}$$

$$\text{โมลของแก๊ส} = \frac{\text{ความดัน} \times \text{ปริมาตร}}{R \times \text{อุณหภูมิ}}$$

$$R = 0.082 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

ปริมาตร = ได้จากการวัดอัตราการไหลของแก๊ส

$$\text{ความดัน} = 1 \text{ atm}$$

$$\text{อุณหภูมิ} = 298 \text{ K}$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังใช้} - \text{น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนใช้} \times 100}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม}}$$

การวิเคราะห์องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ในผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph) โดยวิเคราะห์โครมาโทแกรมที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จาก Retention time แสดงถึงตำแหน่งของสาร และพื้นที่ใต้กราฟของสารเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารที่เกิดขึ้น

1. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์

- 1.1 เตรียมตัวอย่างประมาณ 0.02 กรัม ใส่ในขวดเตรียมสารขนาด 10 มิลลิลิตร
- 1.2 เติมสารละลายมาตรฐาน Tricapin และ MSTFA
- 1.3 เติมสารละลายเฮปเทน (Heptane) 8 มิลลิลิตร ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน และถ่ายสารเข้าในขวดสำหรับวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ขนาด 2 มิลลิลิตร
- 1.4 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยโปรแกรมอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

Condition	Value
Injection volume	1.0 μ L
Injection temperature	350 $^{\circ}$ C
Split ratio	20:1
Column	DB5-HT
Column temperature	50 $^{\circ}$ C hold 1 min Rate 10 $^{\circ}$ C/min to 100 $^{\circ}$ C Rate 5 $^{\circ}$ C/min to 110 $^{\circ}$ C Rate 10 $^{\circ}$ C/min to 160 $^{\circ}$ C Rate 5 $^{\circ}$ C/min to 230 $^{\circ}$ C Rate 5 $^{\circ}$ C/min to 280 $^{\circ}$ C Rate 10 $^{\circ}$ C/min to 380 $^{\circ}$ C hold 5 min
FID detector temperature	380 $^{\circ}$ C
Carrier gas (He) flow rate	1.59 mL/min

2. การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์

จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสามารถหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์แล้วคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์} = \frac{\text{น้ำหนักของไตรกลีเซอไรด์ที่ทำปฏิกิริยา}}{\text{น้ำหนักของไตรกลีเซอไรด์ตั้งต้น}} \times 100$$

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบส่วนอื่นในผลิตภัณฑ์ของเหลว ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี โดยวิเคราะห์โครมาโทแกรมที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จาก Retention time แสดงถึงตำแหน่งของสารควบคู่กับการแตกมวลของสาร และพื้นที่ใต้กราฟของสารเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารที่เกิดขึ้น

3. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว

1.1 เตรียมตัวอย่างประมาณ 0.02 กรัม ใส่ในขวดเตรียมสารขนาด 10 มิลลิลิตร

1.2 เติมสารละลายมาตรฐาน Tricapin และ MSTFA

1.3 เติมสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) 8 มิลลิลิตร ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน และถ่ายสารเข้าในขวดสำหรับวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ขนาด 2 มิลลิลิตร

1.4 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยโปรแกรมอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในของเหลวด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

Condition	Value
Injection volume	1.0 μ L
Injection temperature	280 °C
Split ratio	20:1
Column temperature	40 °C hold 1 min Rate 5 °C/min to 250 °C hold 5 min Rate 5 °C/min to 300 °C Rate 10 °C/min to 380 °C hold 5 min
Column	HP-1

4. การคำนวณปริมาณสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์

$$\text{ร้อยละของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของสารประกอบออกซิเจน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบออกซิเจน} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของกรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันอิสระ} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} = \frac{\text{ร้อยละของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} \times \text{น้ำหนักของเหลว}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม}}$$

ผลการศึกษาไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มทำการวิเคราะห์ผลหลากหลายตัวแปรซึ่งแสดงในตารางที่ ก.3 ถึง ก.5

ตารางที่ ก.3 ผลร้อยละผลได้ของของเหลว แก๊ส และของแข็งของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ

No.	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลน้ำมันปาล์ม (ml/hr.)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	ร้อยละผลได้ของของเหลว	ร้อยละผลได้ของแก๊ส	ร้อยละผลได้ของของแข็ง	รวม
1	400	2	-	-	83.50	10.43	1.58	95.51
2	425	2	-	-	79.87	12.31	2.39	94.57
3	450	2	-	-	80.84	11.31	2.01	94.57
4	450	2	-	-	81.23	11.01	4.01	96.25
5	450	2	-	-	79.43	10.57	3.92	93.92
6	475	2	-	-	76.78	13	4.76	94.54
7	500	2	-	-	75.55	14.15	7.43	94.14
8	450	4	-	-	79.50	12.33	3.93	95.76
9	450	6	-	-	84.78	11.14	2.13	98.05
10	450	2	Al ₂ O ₃	0.11	80.00	13.45	5.53	99.49
11	450	2	MgO	0.12	84.21	11.01	1.73	96.95
12	450	2	MgO	0.21	85.79	9.32	3.64	95.66
13	450	2	MgO	0.29	77.74	7.29	7.30	92.16
14	450	2	Al ₂ O ₃	0.19	82.00	9.15	7.29	98.44
16	450	2	MgO	0.21	83.29	10.26	5.29	95.71
17	450	2	MgO	0.21	81.12	11.19	5.27	94.92

ตารางที่ ก.4 ผลร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละของสารประกอบออกซิเจนต ร้อยละของกรดไขมันอิสระ ของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ

No.	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลน้ำมันปาล์ม (mL/hr.)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละของสารประกอบออกซิเจน	ร้อยละของกรดไขมันอิสระ
1	400	2	-	-	99.71	32.49	28.67
2	425	2	-	-	99.35	30.11	22.09
3	450	2	-	-	99.7	29.98	20.82
4	450	2	-	-	99.72	30.01	21.65
5	450	2	-	-	99.65	28.34	20.12
6	475	2	-	-	99.45	24.02	19.03
7	500	2	-	-	99.56	22.85	19.48
8	450	4	-	-	98.32	38.26	32.49
9	450	6	-	-	97.12	33.78	36.91
10	450	2	Al ₂ O ₃	0.11	99.46	13.82	43.16
11	450	2	MgO	0.12	99.67	30.01	22.09
12	450	2	MgO	0.21	99.77	28.02	19.23
13	450	2	MgO	0.29	99.31	27.93	16.98
14	450	2	Al ₂ O ₃	0.19	99.68	13.63	45.29
16	450	2	MgO	0.21	99.59	26.93	27.03
17	450	2	MgO	0.21	99.24	24.98	30.54

ตารางที่ ก.5 ผลร้อยละของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบออกซิเจนิต ของไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค ที่ภาวะต่างๆ

No.	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล น้ำมันปาล์ม (mL/hr.)	ตัวเร่ง ปฏิกริยา	น้ำหนักตัวเร่ง ปฏิกริยา (กรัม)	ร้อยละของ สารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน	ร้อยละผลได้ของ สารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน
1	400	2	-	-	18.76	13.75
2	425	2	-	-	26.97	20.21
3	450	2	-	-	45.53	34.62
4	450	2	-	-	42.76	33.91
5	450	2	-	-	42.89	33.98
6	475	2	-	-	43.82	32.91
7	500	2	-	-	45.94	33.88
8	450	4	-	-	18.77	17.88
9	450	6	-	-	14.99	12.24
10	450	2	Al ₂ O ₃	0.11	46.32	37.056
11	450	2	MgO	0.12	48.01	40.43
12	450	2	MgO	0.21	49.67	42.61
13	450	2	MgO	0.29	49.88	38.78
14	450	2	Al ₂ O ₃	0.19	47.23	38.73
16	450	2	MgO	0.2	42.03	35.01
17	450	2	MgO	0.2	41.97	34.05

ภาคผนวก ค

ทดสอบไพโรไลซิสด้วยเครื่องไพโรไลซิส แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคสเปคโตรมิเตอร์

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. ทำการบดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเตรียมผ่านตะแกรงร่อน
2. ทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ปั่นกวนจนกระทั่งตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ทำการชั่งสารที่ได้จากการผสมในข้อ 3 ลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างน้ำหนักโดยประมาณ 0.001 กรัม
4. หลังจากนั้นทำการไพโรไลซิสสารที่เตรียมด้วยเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคสเปคโตรมิเตอร์

โดยสถานะที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังตาราง ข.1

ตาราง ข. 1 สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบที่ได้จากไพโรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย เครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคสเปคโตรมิเตอร์

Condition	Value
Injection volume	1.0 μ L
Injection temperature	280 °C
Split ratio	80:1
Column temperature	40 °C hold 3 min Rate 3 °C/min to 195 °C hold 5 min Rate 3 °C/min to 250 °C hold 3 min Rate 3 °C/min to 300 °C hold 3 min Rate 3 °C/min to 390 °C hold 25 min
MS	Mass spectra scan 20 to 900 m/z
Column	UA5-30M-0.25F, 30m, 0.25mm i.d. 0.25 m film thickness

2. การคำนวณปริมาณสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไพโรไลซิสแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์

$$\text{ร้อยละของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของสารประกอบออกซิเจน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบออกซิเจน} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของกรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันอิสระ} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของไตรกลีเซอไรด์} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของไตรกลีเซอไรด์} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของไดกลีเซอไรด์} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของไดกลีเซอไรด์} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของมอนอกลิเซอไรด์} \times 100}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบทั้งหมด}}$$

ภาคผนวก ง

การคำนวณความหนาและการยัดตติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยการคำนวณความหนาแน่นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งหลังจากนั้นทำการคำนวณความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

ความหนาแน่นของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ = 3.58 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ = 0.21 กรัม

จาก ความหนาแน่น = $\frac{\text{น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา}}{\text{ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา}}$

$$3.58 = \frac{0.21}{\text{ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา}}$$

ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา = 0.058 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา = พื้นที่ตัวเร่งปฏิกิริยา × ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยา

$$0.058 = 13.5 \times 4 \times \text{ความหนาตัวเร่งปฏิกิริยา}$$

ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยา = 10.86 ไมโครเมตร

ความหนาแน่นของตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิน่า = 3.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

น้ำหนักตัวเร่งอลูมิน่า = 0.11 กรัม

จาก ความหนาแน่น = $\frac{\text{น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา}}{\text{ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา}}$

$$3.95 = \frac{0.11}{\text{ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา}}$$

ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา = 0.028 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา = พื้นที่ตัวเร่งปฏิกิริยา × ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยา

$$0.025 = 13.5 \times 4 \times \text{ความหนาตัวเร่งปฏิกิริยา}$$

ความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยา = 5.19 ไมโครเมตร

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาจากการทดสอบการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{W_c - W_s}{W_c - W_0} \times 100$$

W_0 = น้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม

W_c = น้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมหลังการขึ้นรูปปฏิกิริยา

W_s = น้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมหลัง Sonicated

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกชกร ชันอาสา เกิดวันที่ 13 เมษายน 2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557 และได้รับร่วมเสนอ
ผลงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติในงาน Asian Conference on Innovative Energy &
Environmental Chemical Engineering (ASCON-IEEChE 2016) ในวันที่ 13 พฤศจิกายน
2559 ชื่อผลงานที่นำเสนอ CATALYTIC PYROLYSIS OF PALM OIL USING PYRO-GC/MS และ
งาน Pure and Applied Chemistry International Conference 2017 (PACCON 2017) ชื่อ
ผลงานที่นำเสนอ PYROLYSIS OF PALM OIL IN A CONTINUOUS FLOW MICROCHANNEL
REACTOR ในวันที่ 2-3 กุมภาพันธ์ 2560

