ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม

นายชนน ศรีชัยวรนาถ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECARBOXYLATION AND DECARBONYLATION REACTIONS OF PALM OLEIN USING NICKEL MOLYBDENUM AND COBALT MOLYBDENUM CATALYSTS

Mr. Chanon Srichaiworanat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม
โดย	นายชนน ศรีชัยวรนาถ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารวี วาศน์อำนวย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ดร.ศุภฤกษ์ ประเสริฐธรรม)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารวี วาศน์อำนวย)

.... กรรมการ

(ดร.กริชชาติ ว่องไวลิขิต)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นริศรา อินทรจันทร์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนน ศรีชัยวรนาถ : ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม. (DECARBOXYLATION AND DECARBONYLATION REACTIONS OF PALM OLEIN USING NICKEL MOLYBDENUM AND COBALT MOLYBDENUM CATALYSTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ปารวี วาศน์อำนวย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อให้สัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่สูงขึ้น โดยใช้นิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากผลการวิจัยค้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสารประกอบนอร์มอลพาราฟินซที่มีจำนวนของคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 15 ถึง 18 อะตอม การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้มากขึ้น และการลดความดันทำให้ปฏิกิริยาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้มากขึ้น โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้อัตราการเลือกเกิดนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่มากที่สุดคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส และสภาวะของการทดลองที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้มากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส และ ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

6270046821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: Hydrotreating, Decarboxylation reaction, Decarbonylation reaction, n-paraffin

Chanon Srichaiworanat : DECARBOXYLATION AND DECARBONYLATION REACTIONS OF PALM OLEIN USING NICKEL MOLYBDENUM AND COBALT MOLYBDENUM CATALYSTS. Advisor: Asst. Prof. PARAVEE VAS-UMNUAY, Ph.D.

The objective of this thesis was to study decarboxylation and decarbonylation reaction of palm olein to produce odd-numbered normal paraffin using nickel molybdenum and cobalt molybdenum catalysts. The experiments were conducted in a pack-bed reactor at various conditions of temperature and pressure. The temperatures were varied at 300, 320, 340, 360 and 380 °C, the pressures were varied at 220, 300 and 450 psi. The experimental results revealed that the products consisted of n-paraffin compounds with carbon atoms ranging from 15 to 18 atoms. The increasing temperature leaded to the increasing of decarboxylation and decarbonylation reaction. Moreover, the decreasing pressure enhanced decarboxylation and decarbonylation reaction. The catalyst that provides the product with the highest ration of odd to even numbered normal paraffin is cobalt molybdenum catalyst. The completions of reaction were exhibited at temperature 380 °C and the best condition for desired product is at temperature 360 °C and pressure 220 psi.

Field of Study:	Chemical Engineering	Student's Signature ....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความเสียสละ ความอนุเคราะห์ และน้ำใจจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ปารวี วาศน์อำนวย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพธ์ และอาจารย์ ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ระหว่างทำงานวิจัยทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ศุภฤกษ์ ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.กริช ชาติ ว่องไวลิขิต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นริศรา อินทรจันทร์ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนที่ดีตลอดจนจบการศึกษา

ชนน ศรีชัยวรนาถ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค

บทคัดย่อภาษาไทย.......... ค

.... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... ง

กิตติกรรมประกาศ.......... จ

สารบัญ.......... ฉ

สารบัญตาราง.......... ฌ

สารบัญรูป.......... ฎ

บทที่ 1 บทนำ.......... 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.......... 1

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.......... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.......... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะได้รับ.......... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.......... 4

2.1 กระบวนไฮโดรทรีตติ้ง.......... 4

2.1.1 กระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงในอุตสาหกรรมน้ำมัน.......... 4

2.1.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช.......... 6

2.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง.......... 8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.......... 9

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมัน.......... 9

2.2.2 งานวิจัยที่เสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช.......... 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช 15

2.3 ข้อสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

บทที่ 3 การทดลองและการวิเคราะห์ 25

3.1 วิธีการทดลอง 25

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 29

3.3 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา 30

3.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ 31

3.5 การคำนวณ 35

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 40

4.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน 40

4.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 44

4.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 47

4.2.2 ผลกระทบของความดัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 56

4.3 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 63

4.3.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 66

4.3.2 ผลกระทบของความดัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 74

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 81

4.4.1 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน 85

4.4.2 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาแครกกิ้ง 86

4.4.3 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน 87

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 93

บรรณานุกรม 94

ภาคผนวก 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาหลักของกระบวนการไฮโดรโพรเซสซิง.. 5

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะในการทำทดลอง 29

ตารางที่ 3.2 แสดงสารเคมี และความบริสุทธิ์ที่ในการทดลอง.. 30

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ในการทดลอง... 31

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นที่ใช้ในการหาร้อยละของกรดไขมัน 33

ตารางที่ 3.5 แสดงสภาวะของคอลัมน์เพื่อหาการกระจายตัวของสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน 33

ตารางที่ 3.6 แสดงสภาวะของคอลัมน์ในการวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์34

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มโอเลอิน 41

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 45

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 46

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 47

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 64

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 65

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 66

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 82

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 83

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว .. 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 แสดงสภาวะของการทดลองที่ให้นอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง [5]............ 7

รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ตัว [13] 8

รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 4 ตัว [14] 9

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังของกระบวนการที่ใช้ในการศึกษา 25

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์ 27

รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน 42

รูปที่ 4.2 แสดงโครมาโทแกรมของนอร์มอลพาราฟินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟี 42

รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโทแกรมของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟี.. 43

รูปที่ 4.4 แสดงเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง [5] 44

รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม... 48

รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 49

รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 49

รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม... 51

รูปที่ 4.9 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 52

รูปที่ 4.10 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม... 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.11 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 53

รูปที่ 4.12 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 54

รูปที่ 4.13 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 56

รูปที่ 4.14 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 57

รูปที่ 4.15 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 57

รูปที่ 4.16 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 58

รูปที่ 4.17 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 59

รูปที่ 4.18 ผลกระทบของความดันต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 60

รูปที่ 4.19 ผลกระทบของความดันต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 61

รูปที่ 4.20 ผลกระทบของความดันต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม........ 61

รูปที่ 4.21 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 67

รูปที่ 4.22 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม........ 68

รูปที่ 4.23 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม........ 68

รูปที่ 4.24 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.25 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 71

รูปที่ 4.26 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 72

รูปที่ 4.27 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 72

รูปที่ 4.28 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 73

รูปที่ 4.29 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 75

รูปที่ 4.30 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 76

รูปที่ 4.31 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 76

รูปที่ 4.32 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 77

รูปที่ 4.33 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 78

รูปที่ 4.34 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 79

รูปที่ 4.35 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 79

รูปที่ 4.36 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม 80

รูปที่ 4.37 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 85

รูปที่ 4.38 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ 86

รูปที่ 4.39 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์ 86

รูปที่ 4.40 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.41 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน 88

รูปที่ 4.42 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อต่อปริมาณน้ำ... 88

รูปที่ 4.43 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 90

รูปที่ 4.44 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

น้ำมันพืชเป็นชีวมวล (Biomass) ที่มีความสำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย นอกจากนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับประกอบอาหารแล้วน้ำมันพืชยังสามารถนำไปผลิตเป็นสารเคมีได้อีกมากมาย เช่น แอลกอฮอล์แบบไขมัน (Fatty Alcohol) กลีเซอรีน (glycerine) กรดไขมัน (fatty acid) น้ำมันอีพ็อกซี่ (Epoxidized Oil) และอีกมากมาย ซึ่งปัจจุบันยังมีการวิจัยเพื่อหาการใช้งานและการผลิตสารเคมีใหม่จากน้ำมันพืชอยู่ตลอดเวลา โดยนอร์มอลพาราฟิน (Normal paraffins) เป็นหนึ่งในสารเคมีที่กำลังมีการศึกษาและมีศักยภาพในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

นอร์มอลพาราฟิน คือไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีสายโซ่ตรง หรือที่เรียกว่าอัลเคน (Alkane) ซึ่งมีการใช้งานที่หลากหลาย สามารถเป็นตัวทำละลาย (solvent) น้ำมันหล่อลื่น (lube oil) สารเปลี่ยนสถานะ (Phase change materials) พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) หรือเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมี เช่น สารตั้งต้นหลักในธุรกิจผงซักฟอกและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่เรียกว่า สาร LAB (Linear Alkyl Benzene) คลอริเนตเตตพาราฟิน (Chlorinated Paraffin Wax) อนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ (alcohol derivatives) และอีกมากมาย ปัจจุบันนอร์มอลพาราฟินผลิตได้จาก 2 กระบวนคือ การนำเคโรซีน (Kerosene) มาสกัดโดยใช้ Molecular sieve และการนำซินแก๊ส (Syngas) ที่มีส่วนผสมหลักประกอบด้วยไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์มาผ่านกระบวนการฟิชเชอร์-โทรปช์ (Fischer- Tropsch) ซึ่งในปีคศ. 1989 J. Gusmão และคณะ [1] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรแครกกิ้งของน้ำมันบาบาสสุ และน้ำมันถั่วเหลือง แสดงให้เห็นว่าเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล และตั้งแต่ปีคศ. 2009 ได้เริ่มมีงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating) ของน้ำมันพืชเพิ่มมากขึ้นจนถึงปัจจุบัน

P. Charoenwong (2010) [2] P. Jirasavetakul (2010) [3] และ N. Jaokaenkaew (2011) [4] ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และโคบอลต์โมลิบดีนัม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นนอร์มอลพาราฟินเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และเกิดอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่เกิดมากขึ้น ส่วนการศึกษาผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซ แสดงให้เห็นว่าความเร็วเชิงสเปซมีผลต่อระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มเร็วเชิงสเปซจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง ต่อมา B. Veriansyah และคณะ (2012) [5] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 6 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม แพลเลเดียม โคบอลต์โมลิบดีนัม แพลทินัม รูทีเนียม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ และนิกเกิล บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์-ซิลิกา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่านิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์เป็นปริมาณสารประกอบที่เป็นคาร์บอนมากที่สุด และเหลือสารประกอบที่เป็นออกซิเจนน้อยที่สุด และ N. Sodsai (2018) [6] และ T. Satrawaha (2018) [7] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิดมีผลดังนี้ 1) ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนเป็นนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่มาก 2) ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนเป็นนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่มากที่สุด 3) ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตนให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินน้อยที่สุด ในส่วนของผลของการศึกษาความดันมีดังนี้ เมื่อความดันสูงขึ้น ไฮโดรเจนที่สามารถละลายลงไปเกิดปฏิกิริยามีมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้มากขึ้น และลดการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันลง ส่งผลให้ได้ปริมาณสารประกอบนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคู่มากกว่าอะตอมเลขคี่ ซึ่งในทางตรงกันข้าม หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่มาก สามารถทำได้โดยลดความดันลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันมากขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยในปัจจุบันเน้นการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เพื่อให้ได้นอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคู่ แต่นอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่เริ่มเป็นที่สนใจในอุตสาหกรรม นอร์มอลพาราฟินกลุ่มนี้เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันที่ไม่ใช้ไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ความดันต่ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นนิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและใช้กันทั่วไปในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส และความดัน 220 ถึง 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อให้สัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่สูงขึ้น โดยใช้นิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น

1.3.2 ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และโคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์

1.3.3 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส

1.3.4 ทำการทดลองที่ความดัน 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

1.3.5 ทำการทดลองที่อัตราส่วนแก๊สไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 500 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร

1.3.6 ทำการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซ 1 ต่อชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะได้รับ

สามารถใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะการดำเนินการ เพื่อเพิ่มสัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งเป็นหนึ่งในปฏิกิริยาที่เกินขึ้นของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่สามารถสังเคราะห์นอร์มอลพาราฟินจากน้ำมันพืช กระบวนการนี้ประยุกต์มาจากการใช้งานกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมัน ดังนั้นจึงนำทฤษฎีและงานวิจัยมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาในงานวิจัยนี้

2.1 กระบวนไฮโดรทรีตติ้ง

กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating process) เริ่มต้นจากกระบวนการไฮโดรโพรเซสซิง (hydroprocessing) ในอุตสาหกรรมน้ำมัน ที่ต้องการกำจัดสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ หรือสิ่งเจือปนในน้ำมันซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การกำจัดออกซิเจน หรือเรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation, HDO) ที่สามารถนำไปประยุกต์กำจัดออกซิเจนอะตอมในน้ำมันพืช ทำให้ได้นอร์มอลพาราฟินเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช (Hydrotreating with vegetable oil) ขึ้นมา โดยทั้งกระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงในอุตสาหกรรมน้ำมัน และไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช นั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ได้แก่ โคบอลต์ และโมลิบดีนัมออกไซด์ บนตัวรองรับอะลูมิเนียม นิกเกิลออกไซด์ ทังสเตน และนิกเกิลซัลไฟด์ และวาเนเดียมออกไซด์

2.1.1 กระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงในอุตสาหกรรมน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระบวนการไฮโดรโพรเซสซิง (Hydroprocessing) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น เมื่อนำไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการย่อย 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating) และกระบวนการไฮโดรแครกกิ้ง (Hydrocracking)

กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating) เป็นกระบวนการในการเพิ่มความเสถียรให้แก่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยการกำจัดสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ เช่น ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน ออกซิเจน และ โลหะด้วยการเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ซึ่งสามารถใช้ได้กับน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล จนถึงผลิตภัณฑ์ก้นหอ สภาวะทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือ อุณหภูมิ 260 ถึง 420 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 7 ถึง 70 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ โคบอลต์โมลิบดีนัม (Co-Mo) นิกเกิลโมลิบดีนัม (Ni-Mo) และ นิกเกิลทังสเตน (Ni-W) บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนกระบวนการไฮโดรแครกกิ้ง เป็นกระบวนการ

เปลี่ยนคาร์บอนสายโซ่ยาว ให้เป็นคาร์บอนสายโซ่สั้น เช่น เปลี่ยนแว๊คคัมออยล์ (vacuum gas oil) ที่มีสายโซ่ยาว ให้เป็นแนพธา (naphtha)

กระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงสามารถแบ่งได้เป็น 7 ปฏิกิริยาหลัก ได้แก่ 2.2.1.1) ปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน (Hydrodesulfurization) 2.2.1.2) ปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน (Hydrodenitrogenation) 2.2.1.3) ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation) 2.2.1.4) ปฏิกิริยาไฮโดรดีเมทัลเลชัน (Hydrodemetallation) 2.2.1.5) ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) และ 2.2.1.6) ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง (Hydrocracking) 2.2.1.7) ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) [8-11] ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาหลักของกระบวนการไฮโดรโพรเซสซิง

(R คือหมู่แอลคิล M คือโลหะ และ A คือสารจับโลหะ)

ชนิดของปฏิกิริยา		สมการ	
2.2.1.1	Hydrodesulfurization (HDS)	$R\text{-}S\text{-}R' + 2\,H_2 \longrightarrow RH + R'H + H_2S$	(2.2)
2.2.1.2	Hydrodenitrogenation (HDN)	$R\text{=}N\text{-}R' + 3\,H_2 \longrightarrow RH + R'H + NH_3$	(2.3)
2.2.1.3	Hydrodeoxygenation (HDO)	$R\text{-}O\text{-}R' + 2\,H_2 \longrightarrow RH + R'H + H_2O$	(2.4)
2.2.1.4	Hydrodemetallation (HDM)	$R\text{-}M + ½\,H_2 + A \longrightarrow RH + M\text{-}A$	(2.5)
2.2.1.5	Hydrogenation of aromatics	$C_{10}H_8 + 2\,H_2 \longrightarrow C_{10}H_{12}$	(2.6)
	Hydrogenation of olefins	$R\text{=}R' + H_2 \longrightarrow HR\text{-}R'H$	(2.7)
2.2.1.6	Hydrocracking of paraffins	$R\text{-}R' + H_2 \longrightarrow RH + R'H$	(2.8)
2.2.1.7	Isomerization	$n\text{-}RH \longrightarrow i\text{-}RH$	(2.9)

2.1.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน (Hydrodesulfurization, HDS) คือปฏิกิริยาในการกำจัดซัลเฟอร์จากสารตั้งต้น โดยการเติมแก๊สไฮโดรเจน เนื่องสารประกอบซัลเฟอร์นั้นมีฤทธิ์กัดกร่อน และเพื่อลดการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SOR$_2$R) ที่มีพิษจากเผาไหม้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ในกระบวนการผลิต โดยทำให้กำมะถันถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการที่ 2.2

2.1.1.2 ปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน (Hydrodenitrogenation, HDN) คือปฏิกิริยาในการกำจัดไนโตรเจนจากสารตั้งต้น โดยการเติมแก๊สไฮโดรเจน เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจน

สามารถทำลาย และก่อให้เกิดปิโตรเลียมโค้ก (coke) บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรดได้ ดังสมการที่ 2.3

2.1.1.3 ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation, HDO) คือปฏิกิริยาที่ใช้ในการกำจัดออกซิเจนจากสารตั้งต้น เนื่องจากสารประกอบออกซิเจนจำพวก-ฟีนอล ส่งผลให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนในเครื่องปฏิกรณ์-และถังเก็บ ดังสมการที่ 2.4 [12]

2.1.1.4 ปฏิกิริยาไฮโดรดีเมทัลเลชัน (Hydrodemetallation, HDM) คือคือปฏิกิริยาที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักจากสารตั้งต้น เนื่องจากโลหะหนักส่งผลต่ออายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่อ ๆ ไป ดังสมการที่ 2.5

2.1.1.5 ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation, HDA) คือ ปฏิกิริยาการเติมแก๊สไฮโดรเจนลงในสายไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวเพื่อเปลี่ยนเป็นสายไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่และพันธะสาม ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

2.1.1.6 ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง (Hydrocracking) คือ ปฏิกิริยาการแยกสลายโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และ จัดเรียงโมเลกุลใหม่เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีจุดเดือดต่ำ ตัวอย่างเช่นน้ำมันดีเซลและขี้โล้ให้เป็นน้ำมันเบนซินและน้ำมันกาดสำหรับเครื่องบินเจ็ท และแยกสลายน้ำมันเตาใหเปนน้ำมันดีเซล ดังสมการที่ 2.8

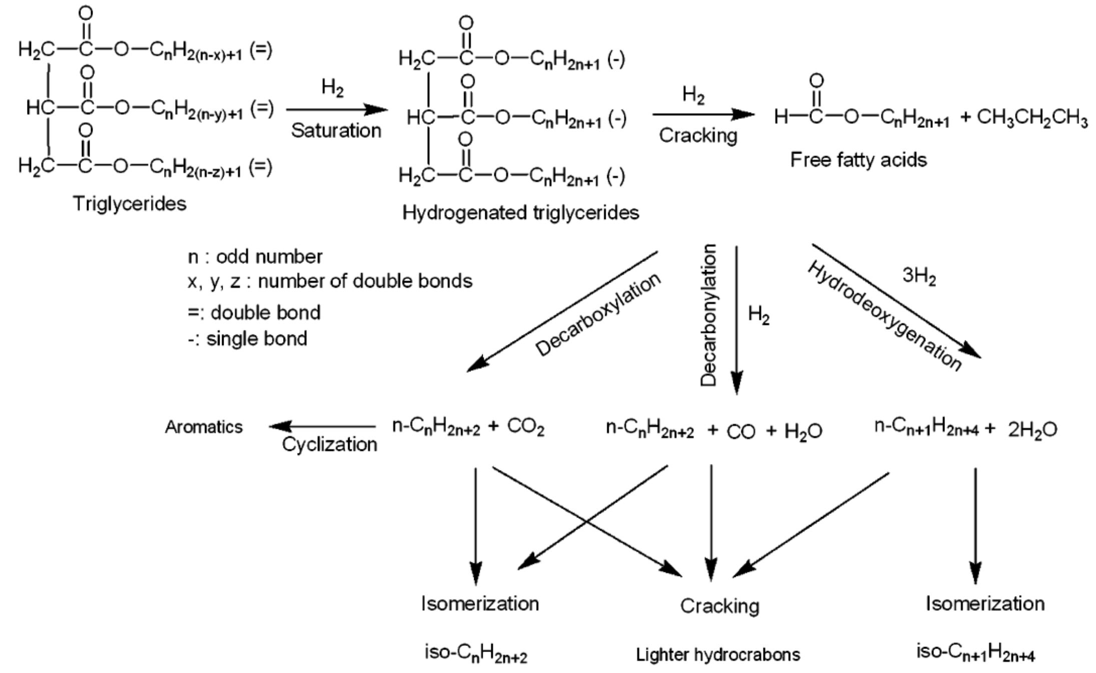
2.1.1.7 ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) คือ ปฏิกิริยาที่สารเปลี่ยนโครงสร้างจากไอโซเมอร์หนึ่งไปเป็นอีกไอโซเมอร์หนึ่ง เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันแนฟทาเบา (light naphtha) ซึ่งมีค่าออกเทนต่ำ โดยนำมาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลจาก นอร์มอลพาราฟิน ไปเป็นไอโซพาราฟิน ดังสมการที่ 2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช

กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช มีสารตั้งต้นคือน้ำมันพืช หรือไตรกลีเซอไรด์ และแก๊สไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ นอร์มอลพาราฟิน และมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ น้ำ และโพรเพน B. Veriansyah และคณะ [5] ได้เสนอเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง ดังรูปที่ 2.1 โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจาก (1) ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว (2) ปฏิกิริยาแครกกิ้ง ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ และโพรเพน (3) กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพร้อมกันเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (4) ปฏิกิริยาข้างเคียง

เช่น เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และปฏิกิริยาไซไคลเซชัน ที่อาจเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงเป็นไฮโดรคาร์บอนสายสั้นลง ไฮโดรคาร์บอนโซ่กิ่ง และไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติก ซึ่งจะเป็นได้ว่าความยาวสายโซ่ของนอร์มอลพาราฟินที่เกิดขึ้น จะใกล้เคียงกับความยาวสายโซ่ของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง [5]

ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในการทำกระบวนการไอโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืชคือ ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงในอุตสาหกรรมน้ำมัน ในช่วงของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน แสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นพร้อมกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันที่เกิดขึ้นอยู่อีก 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (Decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) มีผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นนอร์มอลพาราฟินที่สายโซ่สั้นลงหนึ่งคาร์บอนอะตอม ดังสมการ (2.8) และ (2.9) ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.2.1 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (Decarboxylation) เป็นปฏิกิริยาที่มีความสามารถในการกำจัดออกซิเจนเช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน แต่ไม่จำเป็นต้องใช้ไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยา แต่สายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนนั้นจะมีจำนวนของคาร์บอนอะตอมลดลงไป 1 อะตอม กลายไปเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์

$$R\text{-}CH_2\text{-}COOH \rightarrow R\text{-}CH_3 + CO_2 \qquad (2.8)$$

2.1.2.2 ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) เป็นปฏิกิริยาที่มีความสามารถในการกำจัดออกซิเจนเช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และใช้ไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยา แต่สายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนนั้นจะมีจำนวนของคาร์บอนอะตอมลดลงไป 1 อะตอม เช่นเดียวกันกับปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน แต่ผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จะแตกต่างกันคือ น้ำ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

$$R\text{-}CH_2\text{-}COOH + H_2 \rightarrow R\text{-}CH_3 + CO + H_2O \qquad (2.9)$$

2.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งจะทำจากแร่โลหะที่อยู่ในกลุ่มของโลหะทรานซิชัน (Transition Metals) ได้แก่ แพลเลเดียม แพลทินัม รูทีเนียม โคบอลต์ โมลิบดีนัมออกไซด์ นิกเกิลออกไซด์ ทังสเตน นิกเกิลซัลไฟด์ และวาเนเดียมออกไซด์ ซึ่งโลหะทรานซิชันส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมใช้คือ นิกเกิล โคบอลต์ โมลิบดีนัม และทังสเตน เนื่องจากมีราคาถูก และมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาคือโมลิบดีนัม และทังสเตน ส่วนนิกเกิล และโคบอลต์เป็นโปรโมเตอร์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่นำมาใช้ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทังสเตน และโคบอลต์โมลิบดีนัม โดยที่นิกเกิลโมลิบดีนัมมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน นิกเกิลทังสเตนมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน และโคบอลต์โมลิบดีนัมมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 [8, 10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Catalyst[a]	Hydrodesulfurization	Hydrodenitrogenation	Aromatics hydrogenation
Co–Mo–Al_2O_3	xxxx[b]	xx	x
Ni–Mo–Al_2O^3	xxx	xxx	xx
Ni–W–Al_2O_3	xx	xx	xxxx

[a] All catalysts are in the ''sulfide'' form with the average chemical composition CoO (or NiO) 2–4%; MoO_3 12–15%; and Al_2O_3 81–86%.
[b] Reactivities: x-fair; xx-good; xxx-very good; xxxx-excellent.

รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ตัว [13]

Table 3

Hydrodesulphurisation [7]	Co—Mo > Ni—Mo > Ni—W > Co—W
Hydrodenitrogenation [7]	Ni—Mo = Ni—W > Co—Mo > Co—W
Hydrodeoxygenation [8]	Ni—Mo > Co—Mo > Ni—W > Co—W
Aromatic or olefin hydrogenation [1,12]	Ni—W > Ni—Mo > Co—Mo > Co—W

รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 4 ตัว [14]

ก่อนเริ่มกระบวนการ ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปแบบซัลไฟด์ หรือที่เรียกว่า Presulfiding เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั่วไปอยู่ในรูปแบบออกไซด์ มีความสามารถในการเลือกเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ดี โดยการทำซัลไฟด์นั่นใช้สารที่มีซัลเฟอร์ (Sulfiding Agents) เช่น Dimethyl Disulfide (DMDS) หรือ tertiary-butyl polysulfide (TBPS) ที่มีอัตราส่วนของซัลเฟอร์สูง

การทำ Presulfiding ประกอบด้วยกัน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ไล่น้ำออกตัวเร่งปฏิกิริยา (drying step) ซึ่งปกติทำในอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส 2) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปียก (wetting step) ด้วยสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน 3) การซัลไฟด์ที่อุณหภูมิต่ำ (first sulfiding plateau) เมื่อสารที่มีซัลเฟอร์ อยู่ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไฮโดรเจน ทำให้เกิดการสลายของสารที่มีซัลเฟอร์เป็นไฮโดรเจนไดซัลไฟล์ (H_2S) และเกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีรูปแบบออกไซด์เปลี่ยนรูปแบบเป็นรูปแบบซัลไฟด์ และ 4) การซัลไฟด์ที่อุณหภูมิสูง (second sulfiding plateau) เหมือนกับขั้นตอนที่ 3 แต่เกิดภายใต้อุณหภูมิ 300 ถึง 350 องศาเซลเซียส ซึ่งอัตราการเปลี่ยนรูปแบบเป็นรูปแบบซัลไฟด์ถูกเร่งขึ้น เนื่องอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยการเกิดปฏิกิริยาของโลหะออกไซด์ NiO Co_8O_9 MoO_3 และ WO_3 เป็นไปดังสมการต่อไปนี้ [15]

$$NiO_2 + H_2S + H_2 \dashrightarrow NiS + 2H_2O \quad (2.10)$$

$$Co_8O_9 + 8H_2S + H_2 \dashrightarrow 8CoS + 9H_2O \quad (2.11)$$

$$MoO_3 + 2H_2S + H_2 \dashrightarrow MoS_2 + 3H_2O \quad (2.12)$$

$$WO_3 + 2H_2S + H_2 \dashrightarrow WS_2 + 3H_2O \quad (2.13)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมัน

S.P. Ahuja และคณะ (1970) [16] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันซึ่งประกอบไปด้วย ไซโคลเฮกเซน (Cyclo hexane) 50 wt.% โทลูอีน (Toluene) 40 wt.% ไซโคลเฮกซีน (Cyclohexne) 10 wt.% และ ไธโอฟีน (Thiophene) 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โคบอลต์โมลิบดีนัม นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทังสเตน และ โคบอลต์ทังสเตนบนตัวรองรับซิลิกา อะลูมินา และซิลิกา-อะลูมินา โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 2 ต่อต่อชั่วโมง อัตรการไหลแก๊สไฮโดรเจน 25 ลิตรต่อชั่วโมง และสัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 2 โมลไฮโดรเจนต่อโมลน้ำมัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันชนิดเบา (Light Distillate) สามารถใช้ได้ทั้ง โคบอลต์โมลิบดีนัม และนิกเกิลโมลิบดีนัม แต่ถ้าต้องการปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน และปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน นิกเกิลโมลิบดีนัมเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า ในขณะที่กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันชนิดกลาง (Middle Distillate) ซึ่งมีปริมาณสารอะโรมาติกสูง นิกเกิลทังสเตนที่มีความสามารถในการเลือกปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจึงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

P. Grange และคณะ (1997) [14] ได้ทำการรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมัน ตั้งแต่ปี คศ.1957 ถึงปี คศ.1995 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อุตสาหกรรมน้ำมันเป็นแบบตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสองโลหะ (Bimetallic) ได้แก่ โคบอลต์โมลิบดีนัม นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทังสเตน และ โคบอลต์ทังสเตน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะโคบอลต์โมลิบดีนัม สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน (Hydrodesulfurization, HDS) ได้ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะนิกเกิลโมลิบดีนัม สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน (Hydrodenitrogenation, HDN) และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation, HDO) ได้ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะนิกเกิลทังสเตน สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation, HDA) ได้ดี

M. Absi-Halabi และคณะ (1998) [17] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันก้นหอที่ผ่านหอกลั่นสุญญากาศ (vacuum residue) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในอุตสาหกรรมน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทังสเตน และนิกเกิลโมลิบดีนัมทังสเตน บนตัวรองรับแกมม่าอะลูมิเนียมออกไซด์ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันหนักในปิโตรเลียม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 120 บาร์ ที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 2 ต่อต่อชั่วโมง และ สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 1000 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ทำการทดลองทั้งสิ้น 240 ชม. โดยมีการเก็บตัวอย่างทุกๆ 12 ชม. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะ 3 ชนิด คือนิกเกิลโมลิบดีนัมทังสเตน มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน การกำจัดแอสฟัลต์ทีน และปฏิกิริยาไฮโดรดีเมทัลเลชัน รองลงมาคือนิกเกิลโมลิบดีนัม และสุดท้ายคือนิกเกิลทังสเตน ซึ่งมีการอธิบายไว้ว่าการเติมทังสเตนลงบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมช่วยเพิ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนนิกเกิลทังสเตนที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องมาจากนิกเกิลทังสเตนได้ง่ายเมื่อพบกับไฮโดรเจนซัลไฟด์

R. Wandas และ T. Chrapek (2004) [18] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันชนิดกลาง (Middle Distillate) เช่น แก๊ส LPG และน้ำมันเบนซิน ที่มีปริมาณไนโตรเจนและสารอะโรมาติกสูง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม (quadralobe extrudates 1.3 mm) นิกเกิลโมลิบดีนัม (trilobe extrudates 1.2 mm) นิกเกิลทังสเตน (cylindrical extrudates 1.2 mm) และนิกเกิลโมลิบดีนัมชนิดใหม่ (quadralobe extrudates 1.3 mm) บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบทริคเกิลเบด (Trickle Bed Reactor) ที่มีปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยา 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายใต้ความดัน 3 และ 4.5 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 และ 3.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 500 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรของสารตั้งต้น และเพิ่มการทดลองที่ความดัน 7 เมกะปาสคาลสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน เป็นไปตามนี้ โคบอลต์โมลิบดีนัม < นิกเกิลโมลิบดีนัม < นิกเกิลทังสเตน < นิกเกิลโมลิบดีนัมชนิดใหม่ นอกจากนี้ยังได้มีการอธิบายไว้ว่า เมื่อเพิ่มความดันขึ้น ความสามารถในการเกิดกำจัดไนโตรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น และมีความสเถียรมากขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซ ความสามารถในการเกิดกำจัดไนโตรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

R. Tiwari และคณะ (2011) [19] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้ว และสารผสมของน้ำมันปิโตรเลียม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ และนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล ภายใต้ความดัน 50 บาร์ ที่อุณหภูมิ 340 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 2.0 และ 4.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 1500 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อมิลลิลิตรของสารตั้งต้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้ว และสารผสมของน้ำมันปิโตรเลียมสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน เปลี่ยนเป็นไฮโดรคาร์บอนได้ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันก๊าด (kerosene) มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม ในขณะเดียวกันตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมส่งผลให้เส้นทางของการเกิดปฏิกิริยาไปทางไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตนส่งผลให้เส้นทางของการเกิดปฏิกิริยาไปทางปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2 งานวิจัยที่เสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช

D. Kubička และ L. Kaluža (2010) [20] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเรพสีด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล โมลิบดีนัม และนิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 3.5 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 260 ถึง 280 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.25 ถึง 4.0 ต่อชั่วโมง จากผลการศึกษาได้มีการเสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจาก (1) ไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว (2) ไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน พร้อมกัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็น กรดไขมันอิสระ และไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง ตามลำดับ (3) กรดไขมันอิสระจากขั้นตอนที่ (2) เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง และผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิ 260 ถึง 280 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.25 ถึง 4.0 ต่อชั่วโมง ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น 30 -100 เปอร์เซ็นต์ และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ มีความสามารถอัตราการหายของไตรกลีเซอไรด์ และออกซิเจนมากที่สุด นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ เลือกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน ซึ่งพบได้จากผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่เป็นส่วนใหญ่ ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ เลือกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งพบได้จากผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่เป็นส่วนน้อย ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ต่อเลขคี่เป็นอัตราส่วนโดยโมล 1 ถึง 3.5 เท่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

J. Mikulec และคณะ (2010) [21] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันดิบ (atmospheric gas oil) ผสมกับน้ำมันเรพสีด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 ได้แก่ นิกเกิลทังสเตนบนตัวรองรับโซเดียมอิตเทรียม นิกเกิลทังสเตนบนตัวรองรับไทเทเนียมออกไซด์ นิกเกิลทังสเตนบนตัวรองรับเซอร์โคเนียมออกไซด์ นิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมไทเทเนียมออกไซด์ และนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล ภายใต้ความดัน 3.5 ถึง 5.5 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 320 ถึง 360 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 500 ถึง 1000 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการศึกษาได้มีการเสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจาก (1) ไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว หรือไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดการแตก

ตัวเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (2) ไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว เกิดการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (3) กรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้เป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวตามลำดับ (4) ไฮโดรคาร์บอนโซ่ไม่ตรงอิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงอิ่มตัว และผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนน้ำมันดิบ (atmospheric gas oil) ผสมกับน้ำมันเรพสีดสามารถทำได้โดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน และนิกเกิลโมลิบดีนัม โดยที่การเลือกเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

B. Veriansyah และคณะ (2012) [5] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 6 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม แพลเลเดียม โคบอลต์โมลิบดีนัม แพลทินัม รูทีเนียม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ และนิกเกิล บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์-ซิลิกาออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้ความดัน 9.2 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาได้มีการเสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจาก (1) ไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว (2) ไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ และโพรเพน (3) กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพร้อมกันเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (4) ไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และปฏิกิริยาไซไคลเซชัน เป็นไฮโดรคาร์บอนสายสั้นลง ไฮโดรคาร์บอนโซ่กิ่ง และไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติก และผลการศึกษาของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงไว้ดังนี้ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันที่ 0.044 เป็นไปตามนี้ นิกเกิลโมลิบดีนัม (92.9%) แพลเลเดียม (91.9%) โคบอลต์โมลิบดีนัม (78.9%) นิกเกิล (60.8%) แพลทินัม (50.8%) รูทีเนียม (39.7%) การเกิดผลิตภัณฑ์ที่น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันที่ 0.088 เป็นไปตามนี้ นิกเกิล (95.9%) นิกเกิลโมลิบดีนัม (91.9%) แพลเลเดียม (90.9%) โคบอลต์โมลิบดีนัม (79.9%) โดยที่องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยา นอร์มอลนอร์มอลพาราฟินเกิดขึ้นที่มากกว่า 80 ร้อยละโดยมวล เมื่อใช้แพลเลเดียม หรือนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่นอร์มอลนอร์มอลพาราฟินเกิดขึ้นน้อยกว่า 55 ร้อยละโดยมวล เมื่อใช้โคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าโคบอลต์โมลิบดีนัมส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน และแครกกิ้ง สุดท้ายจากการพิจารณาแล้ว นิกเกิล นิกเกิลโมลิบดีนัม และโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

N. Asikin-Mijan และคณะ (2017) [22] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันของน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ โคบอลต์ นิกเกิล และนิกเกิลโคบอลต์ บนตัวรองรับท่อนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotubes , MWCNTs) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้ความดัน 10 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาได้มีการเสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ (1) ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งเป็นกรดไขมันอิสระ (2) กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพร้อมกันเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (3) ไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่สั้นลง และได้มีผลการศึกษาของตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ดังนี้ นิกเกิลโคบอลต์ บนตัวรองรับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น สามารถเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ได้ โดยที่อัตราส่วนของน้ำหนักนิกเกิลต่อโคบอลต์เป็น 20 ต่อ 10 ให้ผลการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ 64 เปอร์เซ็นต์

V. Itthibenchapong และคณะ (2017) [23] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมซัลไฟด์ บนตัวรองรับแกมม่าอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 30 ถึง 50 บาร์ ที่อุณหภูมิ 270 ถึง 330 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ถึง 5.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 1000 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดีที่ภายใต้ความดันสูง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และความเร็วเชิงสเปซต่ำ ในขณะที่ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน สามารถเกิดได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและความเร็วเชิงสเปซสูง ปฏิกิริยาข้างเคียงเช่น ปฏิกิริยาแครกกิ้ง และปฏิกิริยาเมทาเนชัน เริ่มเกิดเมื่ออุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบเหมือนน้ำมันเครื่องบิน คือ อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 1000 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ได้ผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ 92 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้มีการเสนอเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจาก (1) ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งก่อนเพื่อแตกตัวไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระ และโพรเพน (2) กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพร้อมกันเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (3) โพรเพนสามารถแตกตัวเป็นอีเทน และมีเทนได้ ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเกิดเมเทาเนชันเป็นมีเทน และน้ำได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช

J. Gusmão และคณะ (1989) [1] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรแครกกิ้งของน้ำมันปาล์มบาบาสสุ และน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแกมม่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ("diesel-type" hydrocarbons) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้ความดัน 10-200 บาร์ ที่อุณหภูมิ 623 ถึง 673 เคลวิน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าผลได้เชิงโมลใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่องค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชที่เป็นสารตั้งต้น

P. Šimáček และคณะ (2009) [24] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรโพรเซสซิงของน้ำมันเรพซีด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม 3 ตัวที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล ภายใต้ความดัน 7 เมกะปาสคาว ที่อุณหภูมิ 260 ถึง 340 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซเชิงน้ำหนัก 1 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิมากกว่า 310 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีเพียงพาราฟินเท่านั้น และปริมาณของไอโซพาราฟินของอยู่กับอุณหภูมิ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

P. Charoenwomg (2010) [2] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความเร็วเชิงสเปซ และองค์ประกอบกรดไขมันในสารตั้งต้น ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ถึง 1.5 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินและผลิตภัณฑ์อื่นๆ มีค่ามากขึ้น ผลของความเร็วเชิงสเปซแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วเชิงสเปซลดลง ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินและผลิตภัณฑ์อื่นๆ มีค่ามากขึ้น ในส่วนของความแตกต่างของสารตั้งต้น เนื่องจากองค์ประกอบกรดไขมันในสารตั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกัน สัดส่วนร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินค่อนข้างใกล้เคียงกัน

P. Jirasavetakul (2010) [3] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และโคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความเร็วเชิงสเปซ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ

ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ถึง 1.5 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การทำไฮโดรทรตติ้งของมันปาล์มโอเลอินจะมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพร้อมกัน 5 ปฏิกิริยา คือปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมัน การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เกิดได้ดีขึ้น โดยที่ปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันเกิดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เกิดขึ้นได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส การศึกษาผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของแสดงให้เห็นว่า ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีผลต่อระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มเร็วเชิงสเปซจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถสังเคราะห์สารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินได้ดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมในทุกสภาวะการทดลอง

A. Guzman และคณะ (2010) [25] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับแอลฟ่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของความดันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบทริคเกิลเบด (Trickle Bed Reactor) ภายใต้ความดัน 15 ถึง 90 บาร์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 2.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 484 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการไฮโดรจีเนชันของน้ำมันปาล์มดิบสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบเหมือนน้ำมันดีเซล เมื่อความดันของเครื่องปฏิกรณ์ลดลง หรือเวลาในการดำเนินการของเครื่องผ่านไปมากเพียงพอ นอกจากนี้การมีอยู่ของออกซิเจนอะตอมในน้ำมันปาล์มดิบส่งผลให้เกิดการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการลดการเกิดสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม หรือน้ำมันดีเซลลง ในส่วนของผลการทดลองมีข้อมูลผลกระทบของความดันกับปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรโพรเซสซิง โดยที่ความดัน 15 บาร์ อัตราส่วนระหว่างนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ ต่อนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ ปริมาณไซโคพาราฟิน และอะโรมาติดมีค่าสูงที่สุด และอัตราส่วนระหว่างนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อะตอมเป็นเลขคี่ ต่อนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ ปริมาณไซโคพาราฟินและอะโรมาติก มีค่าลดลงเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น

M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ บนเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 20 ถึง 80 บาร์ ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ถึง 3.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 200 ถึง 800 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์มี ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ปริมาณน้ำ ปริมาณไอโซพาราฟิน และผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ในส่วนของการอธิบายผล ได้มีการอธิบายไว้ว่าสัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปโดม มีค่ามากสุดที่ 500 ถึง 600 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ที่สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันมากกว่า 600 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร มีสมมติฐานว่า เมื่อแก๊สไฮโดรเจนมากเกินไปทำให้เกิดการไล่น้ำมันบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง และเมื่อแก๊สไฮโดรเจนน้อยเกินไป ทำให้แก๊สไม่เพียงพอค่าไฮโดรเจนที่ต้องการตามทฤษฎี ส่งผลให้การเกิดไฮโดรดีออกซิจีเนชันลดลง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเพิ่มขึ้น แต่การเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ลดลง ในส่วนของความดัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันสูงขึ้น การเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ และผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ในส่วนของอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเกิดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนของพาราฟินที่มีเลขคาร์บอนอะตอม 18 ต่อพาราฟินที่มีเลขคาร์บอนอะตอม 17 ลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

N. Jaokaenkaew (2011) [4] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความดัน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดในปาล์มเกิดปฏิกิริยาย่อย ๆ พร้อมกันหลายปฏิกิริยา คือ คือปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมัน ผลกระทบของอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดีขึ้น ผลกระทบของความดัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อความดันสูงขึ้น ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากความดันทำให้ความสามารถในการละลายของไฮโดรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น

M. Toba และคณะ (2011) [27] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม โคบอลต์โมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 5 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 2 กรัม ความเร็วเชิงสเปซ 2.8 ชั่วโมง$^{-1}$ สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 666 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาในการเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้เป็นไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ตั้งแต่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดมากกว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน เหมาะสมกว่าโคบอลต์โมลิบดีนัม สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เนื่องจาก นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตนให้อัตราส่วนของ[เฮปต้าเดกเคน (Heptadecane)] ต่อ [เฮปต้าเดกเคน (Heptadecane) + ออกต้าเดกเคน (octadecane)] มากกว่านิกเกิลโมลิบดีนัม และโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งมีการอธิบายไว้ว่าทั้งสเตนเร่งปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน โดยการเพิ่มการเกิดของปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (decarboxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (decarbonylation) ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนเลขคี่มากขึ้น ซึ่งในที่นี้คือเฮปต้าเดกเคน (Heptadecane)

Sándor Kovács และคณะ (2011) [28] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์-ฟลูออไรด์ บนเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 20 ถึง 80 บาร์ ที่อุณหภูมิ 280 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.75 ถึง 3.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 400 ถึง 600 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรคาร์บอนที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 11 ถึง 21 คือภายใต้ความดัน 20 ถึง 40 บาร์ ที่อุณหภูมิ 350 ถึง 370 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 500 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีผลได้ที่ 73.2 ถึง 75.6 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณพาราฟินมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันมีอัตราส่วนในการเกิดใกล้เคียงกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันมีอัตราส่วนในการเกิดมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการอธิบายผลของตัวแปรอื่น ๆ ไว้ดังนี้ ความเร็วเชิงสเปซคือเวลาที่อยู่เครื่องปฏิกรณ์ ที่ความเร็วความเร็วเชิงสเปซมากกว่า 1 ต่อชั่วโมง เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์น้อยเกินไปทำให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง ความเร็วความเร็วเชิงสเปซน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กว่า 1 ต่อชั่วโมง เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์มากเกินไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง ผลได้ของผลิตภัณฑ์จึงลดลง

J. Hancsók และคณะ (2012) [29] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันเรพสีดและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม โคบอลต์โมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 20 ถึง 100 บาร์ ที่อุณหภูมิ 280 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.75 ถึง 3.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 450 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นพาราฟิน คือ ความดัน 60 ถึง 80 บาร์ ที่อุณหภูมิ 360 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1 ถึง 1.2 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 450 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ที่ให้ผลได้ที่ 75 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์จากตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ผลได้มากที่สุด รองลงมาคือนิกเกิลโมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน

Y. Yang และคณะ (2013) [30] ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม (18:0 18:1 และ 18:2) ผสมในโดเดกเคน (Dodecane) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์-ซิลิกาออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 2 ถึง 8 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 375 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 4.0 ถึง 18.0 ต่อชั่วโมง สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 500 ถึง 1000 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของกรดไขมันในโดเดกเคนที่ 10 ถึง 60 ร้อยละโดยมวล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่มีผลมากสำหรับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง เมื่อเพิ่มอุณหภุมิ ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งเกิดได้มากขึ้น จำกัดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน และเกิดพาราฟินโซ่กิ่งมากขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซ ผลได้ของพาราฟินโซ่ตรงลดลง และการเกิดไอโซเมอไรเซชันเกิดได้มากขึ้น สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันส่งผลน้อยต่อกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง ความเข้มข้นของกรดไขมันในโดเดกเคนน้อย ทำให้เกิดพาราฟินที่มีคาร์บอน 18 อะตอม และเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด การเพิ่มความดัน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันมากขึ้น และลดการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

H. Zhang และคณะ (2014) [31] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันของน้ำมันคาโนลา เพื่อศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมซัลไฟด์ และโคบอลต์โมลิบดีนัมซัลไฟด์ ที่ไม่มีตัวรับรอง โดยการทดลองทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 320 องศาเซลเซียส จากผล

การศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมซัลไฟด์ให้การเกิดปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันได้มากกว่าโคบอลต์โมลิบดีนัมซัลไฟด์ ทำให้เลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีพาราฟินที่มีคาร์บอน 18 อะตอม โดยมีอัตราส่วนของพาราฟินที่มีคาร์บอน 18 อะตอมต่อพาราฟินที่มีคาร์บอน 17 อะตอมเท่ากับ 1.7 นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมซัลไฟด์ ยังมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง และพอลิเมอไรเซชันต่ำ ในส่วนของการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมซัลไฟด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันได้ดีกว่า เนื่องจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาของนิกเกิลและโมลิดีนัมส่งเสริมการกำจัดออกซิเจนโดยการตัดพันธะ C=O ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมซัลไฟด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งได้ดีกว่า เนื่องจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาของโคบอลต์ ได้มีการจับกับซัลไฟด์ จากนั้นจึงทำการจัดพันธะ C-C

J. Horáček และคณะ (2014) [32] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเรพสีด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา 6 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทังสเตน โคบอลต์โมลิบดีนัม โคบอลต์ทังสเตน นิกเกิลโคบอลต์โมลิบดีนัม และโคบอลต์นิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยใช้เครื่องปฏิกิริยาเคมีแบบท่อไหล (Tubular Reactor) ภายใต้ความดัน 5 เมกะปาสกาล ที่อุณหภูมิ 250 และ 270 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 2.0 และ 4.0 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ 250 และ 270 องศาเซลเซียส มากที่สุด และการเติมโลหะโคบอลต์มีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันอย่างมาก รวมถึงผลของโลหะโคบอลต์เริ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลของโลหะนิกเกิล ในที่นี้โคบอลต์ทังสเตนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เชื่องช้าที่สุดในสภาวะที่ใช้ทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

N. Sodsai (2018) [6] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม บนตัวรองรับแกมม่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความดัน และความแตกต่างของสารตั้งต้น ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของสารตั้งต้นทั้งสามชนิดที่เกิดขึ้นประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยนอกจากนี้สารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรดไขมันปาล์มกลั่น ยังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งก่อนเพื่อแตกตัวไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระ ในขณะที่ปาล์มไบโอดีเซลสามารถเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกับทั้ง 2 ชนิด

ข้างต้นโดยปฏิกิริยาทั้งหมดนี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม นอกจากนี้น้ำที่เกิดขึ้นยังมีการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอย่างปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์อีกด้วย ผลกระทบของอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ลดลง จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำและสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมลดลง แต่ไปเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันแทน ผลกระทบของความดัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อความดันสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้มากขึ้น และลดการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันลง ส่งผลให้ได้ปริมาณสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนอะตอมเลขคู่มากกว่าอะตอมเลขคี่ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสารตั้งต้นทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นจะให้ปริมาณสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม และน้ำสูงสุด เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีที่สุดเช่นกัน แต่ในทางกลับกันน้ำมันปาล์มโอเลอินมีร้อยละปริมาณน้ำ และสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนอะตอมเลขคี่สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้ดีที่สุด

T. Satrawaha (2018) [7] ได้ทำการศึกษาไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับแกมม่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความดัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การทำกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่นจะมีปฏิกิริยาหลักเกิดขึ้นทั้งหมด 4 ปฏิกิริยา ซึ่งจะประกอบไปด้วย ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแคร็กกิ้ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ผลกระทบของอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งเกิดไปข้างหน้าได้มากขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเกิดปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ตั้งแต่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสขึ้นไป และมีอัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเล็กน้อยเกิดปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ตั้งแต่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสขึ้นไป ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตนให้อัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ที่สูงเกือบเทียบเท่านอร์มอลพาราฟินที่เป็นเลขคู่ ให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินต่ำที่สุด และปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 340 องศาเซลเซียสขึ้นไป ผลกระทบของความดัน แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้ดีเมื่อความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงขึ้น แต่อัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในสภาวะที่มีความดันเท่ากับ 1050 และ 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และให้อัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่มากที่สุดที่ความดันเท่ากับ 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี และให้ปริมาณหรืออัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ได้ดีที่สุดที่ความดันเท่ากับ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในสภาวะที่มีความดันเท่ากับ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และให้ปริมาณหรืออัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบประเภทนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ได้ดีที่สุดที่ความดันเท่ากับ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

B. Yoosuk และคณะ (2019) [33] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดโอเลอิก และกรดปาลมิติก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม แบบไม่มีตัวรับรอง เพื่อศึกษาผลระทบของอุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนของโปรโมเตอร์ในตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีต่อ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้ความดัน 20 ถึง 90 บาร์ ที่อุณหภูมิ 250 ถึง 360 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดโอเลอิกคือ อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 60 บาร์ และสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดปาลมิติกคือ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 70 บาร์ ผลการศึกษาของตัวเร่งปฏิกิริยามีดังนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ในการกระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน นอกจากนี้การเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้มากขึ้น ในขณะเดียวการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้มากขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic process) และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และดีคาร์บอนิลเลชันเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา (thermal and catalytic process)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 ข้อสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้ศึกษานั้นสามารถสรุปผลกระทบการของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา สภาวะการทดลอง และปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ดังนี้

2.3.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

สารตั้งต้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งนั้นส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้น้ำมันได้ทุกชนิดทั้งน้ำมันจากปิโตรเลียม จากสัตว์ และจากพืช เช่น น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันหมู น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และผลิตภัณฑ์จากปาล์ม โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความยาวสายโซ่ของนอร์มอลพาราฟินที่ต่างกันตามชนิดของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันชนิดนั้น ๆ

2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบได้ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งเป็นโลหะทรานซิชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะและนิยมนำมาใช้ในกระบวนไฮโดรทรีตติ้งคือ นิกเกิลโมลิบดีนัม โคบอลต์โมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีความสามารถที่แตกต่างกันดังนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันดี ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน และทำให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันได้ดี และเมื่อเติมโลหะทังสเตนในตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

2.3.3 สภาวะการทดลอง

ตัวแปรที่สำคัญในสภาวะการทดลองของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งคือ อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วเชิงสเปซ และอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมัน โดยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่ามีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 380 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ถึง 100 บาร์ ความเร็วเชิงสเปซ 0.25 ถึง 18 ต่อชั่วโมงP และอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 200 ถึง 1500 เท่าโดยปริมาตร ที่ความดันบรรยากาศ

2.3.4 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการทดลองส่งผลต่อองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์ โดยองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินแสดงให้เห็นถึงการเกิดเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่ต่างกัน ถ้าหากในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอน

อะตอมเป็นเลขคี่ในปริมาณมาก จะแสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันที่มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าหากในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ในปริมาณมาก แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันในปริมาณมาก โดยสภาวะในการทดลองมีผลดังนี้

2.3.4.1 อุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยตรง โดยปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป และเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 340 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป และส่งผลต่อองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์ดังนี้ สัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ต่อนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

2.3.4.2 ความดันส่งผลต่อองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์ ที่ความดันต่ำสัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ต่อนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ที่ใกล้เคียงกัน ที่ความดันสูงขึ้นสัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ต่อนอร์มอลพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ลดลง เนื่องจากความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณของไฮโดรเจนที่ละลายเข้าไปทำปฏิกิริยามีมากขึ้น

2.3.4.3 สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยามีผลดังนี้ สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปโดม มีค่ามากสุดที่ 500 ถึง 600 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งประมาณ 1.3 เท่าของปริมาณที่ต้องใช้ ที่สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันมากกกว่า 600 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร มีสมมติฐานว่า เมื่อแก๊สไฮโดรเจนมากเกินไป ทำให้เกิดการไล่น้ำมันบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง และเมื่อแก๊สไฮโดรเจนน้อยเกินไป ทำให้แก๊สไม่เพียงพอค่าไฮโดรเจนที่ต้องการตามทฤษฎี และสัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์

2.3.4.4 ความเร็วเชิงสเปซส่งผลต่อค่าเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีผลต่อระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มเร็วเชิงสเปซจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง ทำให้เมื่อความเร็วเชิงสเปซเพิ่มขึ้น ค่าเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์น้อยลง โดยค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 1 ต่อชั่วโมงP เนื่องลดลงมากกว่านี้ ส่งผลต่อค่าเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์น้อย และเพิ่มความยาวของเครื่องปฏิกรณ์โดยไม่จำเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

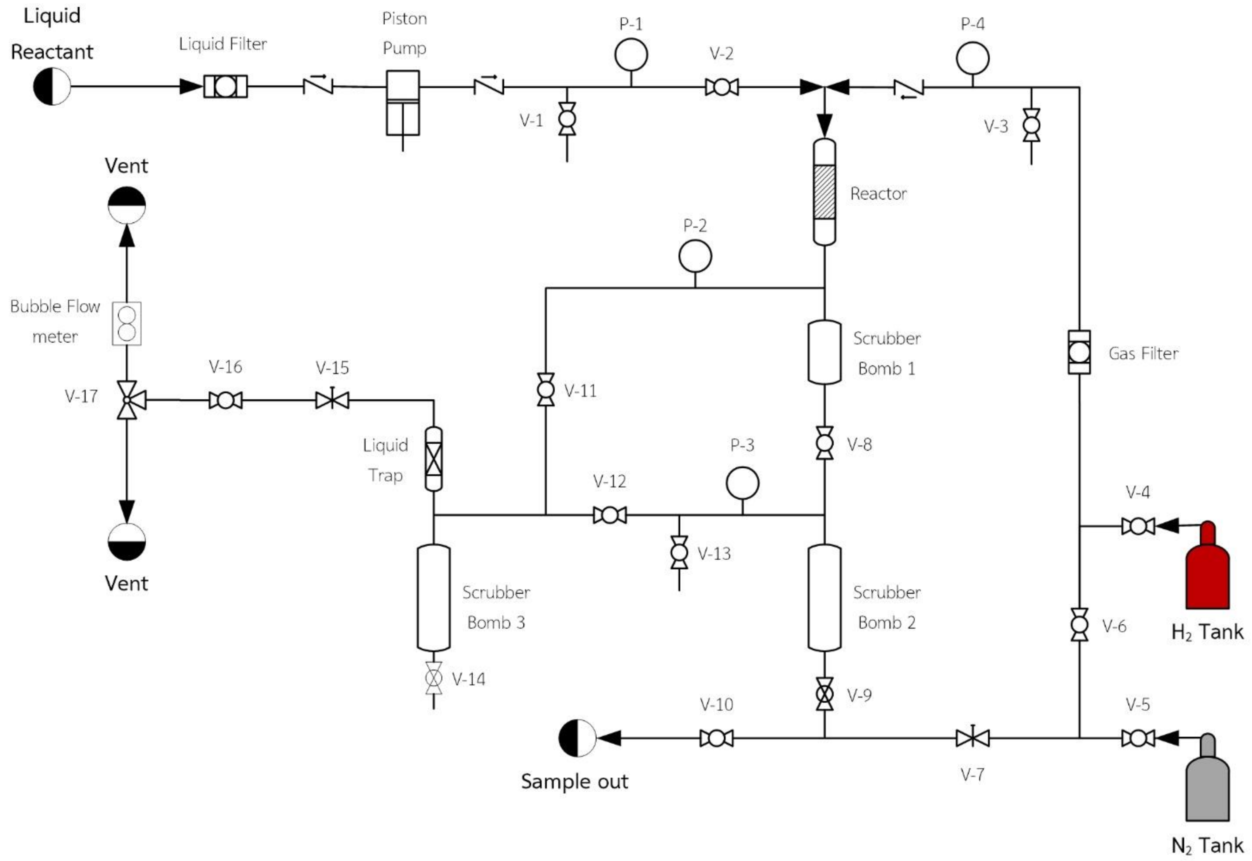
บทที่ 3

การทดลองและการวิเคราะห์

บทนี้แสดงถึงวิธีการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้ วิธีการทดลอง สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา และการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.1 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้นิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Packed Bed Reactor) ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ถูกออกแบบให้รองรับอุณหภูมิสูงสุด 380 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุด 1600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และชิ้นส่วนของเครื่องปฏิกรณ์จะใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุหลัก เพื่อป้องกันการกัดกร่อน เช่น ท่อ ข้อต่อ และวาล์ว โดยแผนผังของกระบวนการดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังของกระบวนการที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 แผนผังของกระบวนการ

จากรูปที่ 3.1 สารตั้งต้นถูกป้อนเข้าระบบได้จาก 3 เส้นทาง คือสายของเหลว 1 สาย แก๊สไนโตรเจน 1 สาย และ แก๊สไฮโดรเจน 1 สาย โดยมีการอธิบายเส้นทางต่าง ๆ ดังนี้ 1) สายของเหลวมีหน้าที่เพื่อป้อนสารตั้งต้นหรือสารที่ใช้ในการพรีซัลไฟด์ เข้าสู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ โดยผ่านตัวกรองของเหลว ก่อนจะเข้าสู่ปั๊มลูกสูบ และผ่านมาตรวัดความดันหมายเลข 1 จากนั้นจึงวิ่งเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ 2) สายแก๊สไฮโดรเจน ใช้วาล์วหมายเลข 4 ในการเปิดหรือปิดแก๊สไฮโดรเจน หลังจากนั้นแก๊สจะไหลผ่านตัวกรองและมาตรวัดความดันหมายเลข 4 ก่อนจะเข้าสู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ 3) สายแก๊สไนโตรเจนนั้น จะใช้วาล์วหมายเลข 5 ในการเปิดหรือปิดแก๊สไนโตรเจน และใช้วาล์วหมายเลข 6 และ 7 ในการเลือกว่าให้แก๊สไนโตรเจนเข้าด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ หรือเข้าด้านล่างของถังเก็บตัวอย่างที่ 2

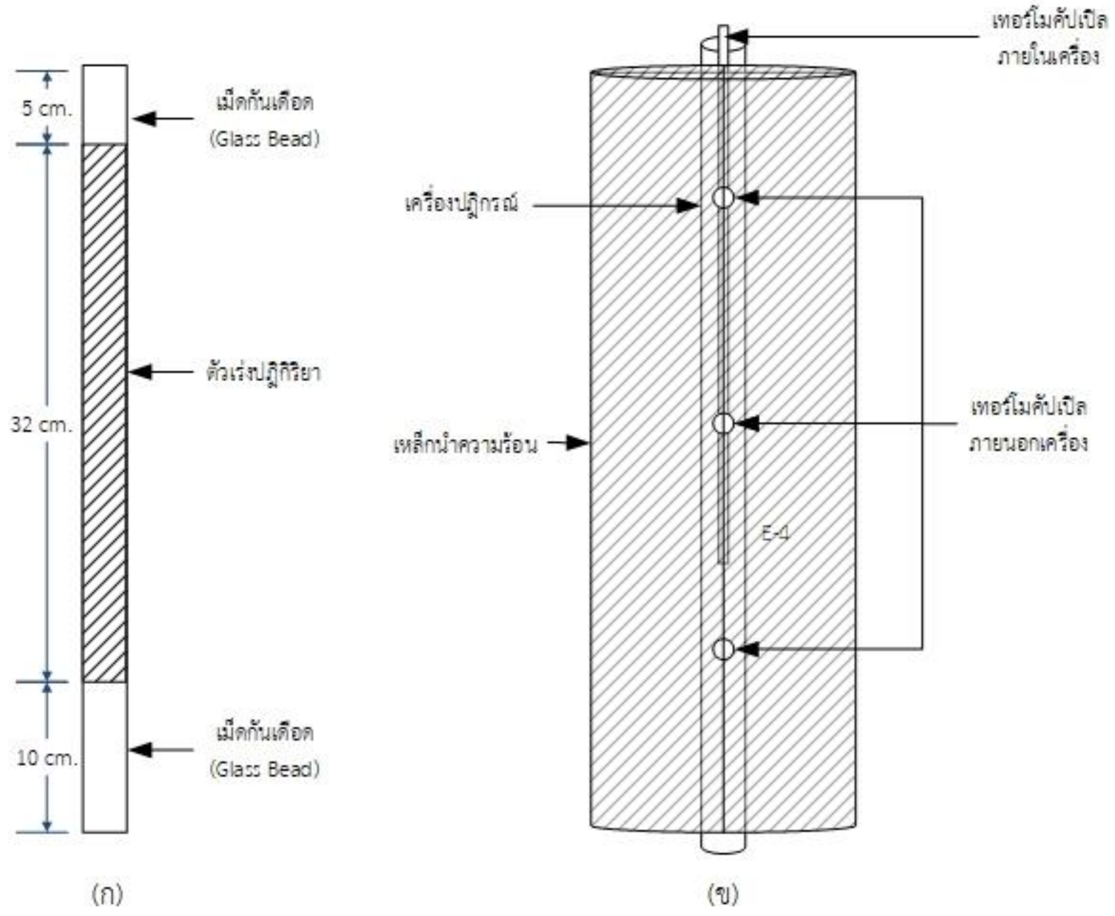
สำหรับการทำการทดลองปกติ น้ำมันปาล์มโอเลอินถูกป้อนผ่านสายของเหลว และทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกป้อนผ่านสายแก๊ส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย 2 วัฏภาค คือ ของเหลว และแก๊ส หลังจากออกจากเครื่องปฏิกรณ์ ผลิตภัณฑ์ไหลไปเก็บที่ถังเก็บตัวอย่างที่ 2 (Scrubber Bomb 2) โดยทางเข้าของถังเก็บตัวอย่างทั้ง 1 และ 2 เป็นแบบท่อจุ่ม (dip pipe) ที่มีท่อยื่นเข้าไปในถังเก็บตัวอย่างเพื่อการแยกแก๊สออกจากของเหลว จากนั้นแก๊สถูกแยกออกจากของเหลวไหลผ่านวาล์วหมายเลข 12 จากนั้นผ่านตัวดักของเหลว ผ่านวาล์วหมายเลข 15 16 17 และถูกทำการบำบัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งวาล์วหมายเลข 17 สามารถเลือกให้ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สแบบที่ใช้ฟองสบู่ (bubble flow meter) เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊ส และปรับอัตราการไหลของแก๊ส โดยใช้วาล์วหมายเลข 15 ซึ่งเป็นวาล์วหรี่ (Needle Valve)

การเก็บตัวอย่างที่เป็นของเหลว เนื่องจากในช่วงปกติของเหลวที่เกิดขึ้นถูกเก็บถังเก็บตัวอย่างที่ 2 ในการเก็บตัวอย่างจึงต้องทำการตัดถังเก็บตัวอย่างที่ 2 ออกจากระบบ โดยการปิดวาล์วหมายเลข 8 และ 12 และเปิดวาล์วหมายเลข 11 เพื่อให้แก๊สที่เกิดขึ้นไหลผ่านแทนวาล์วหมายเลข 12 จากนั้นจึงเปิดวาล์วหมายเลข 9 และ 10 ตามลำดับ เพื่อเก็บตัวอย่างออกจากระบบ ซึ่งขณะที่เก็บตัวอย่างอยู่นั้น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นถูกเก็บไว้ในถังเก็บตัวอย่างที่ 1 แทน เมื่อทำการเก็บตัวอย่างเรียบร้อยให้ทำการปิดวาล์วหมายเลข 10 และเปิดวาล์วหมายเลข 5 และ 7 เพื่อทำการปรับความดันในถังเก็บตัวอย่างที่ 2 โดยใช้แก๊สไนโตรเจน ซึ่งความดันในถังเก็บตัวอย่างที่ 2 สามารถดูได้ผ่านมาตรวัดความดันหมายเลข 3 และเมื่อปรับความดันเท่ากับระบบแล้วให้ทำการปิดวาล์วหมายเลข 9 7 และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5 ตามลำดับ จากนั้นเปิดวาล์วหมายเลข 8 และ 12 เพื่อเชื่อมต่อถังเก็บตัวอย่างที่ 2 เข้าสู่ระบบ และปิดวาล์วหมายเลข 11

3.1.2 รายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์
(ก) องค์ประกอบภายในเครื่องปฏิกรณ์ (ข) องค์ประกอบภายนอกเครื่องปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์มีขนาดความยาว 47 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว และความหนา 0.035 นิ้ว ภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาตร 30 มิลลิลิตร หรือประมาณ 15 กรัม ที่ผ่านอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีเม็ดกันเดือด (Glass Bead) อยู่ด้านบน และด้านล่างของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีความสูงของแต่ละชั้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 (ก)

หลังจากบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเรียบร้อย เครื่องปฏิกรณ์จะถูกครอบด้วยเหล็กนำความร้อน ซึ่งใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ ในการให้ความร้อน และถูกครอบฉนวนใยแก้วกันความร้อนอีกชั้น

เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ในการวัดอุณหภูมิจะทำการวัด 4 จุดคือ ส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ของภายนอกเครื่อง และจุดศูนย์กลางภายในของเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.2 (ข)

หลังจากการประกอบเครื่องปฏิกรณ์เรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบการรั่วซึมโดยการปล่อยความดันเข้าสู่ระบบ และปล่อยค้างอยู่ในระบบโดยใช้แก๊สไนโตรเจน และสังเกตการณ์รั่วซึมโดยดูที่มาตรวัดความดันต่าง ๆ รวมกับการใช้น้ำผสมสบู่ฉีดตรงข้อตรง เพื่อสังเกตฟองแก๊ส และหลังจากนั้นเริ่มทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วจึงเริ่มการป้อนสารตั้งต้น

3.1.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

หลังจากการประกอบเครื่องปฏิกรณ์ และทำการทดสอบการรั่วซึมเรียบร้อยแล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปแบบซัลไฟด์ หรือที่เรียกว่า Presulfiding เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มแรกอยู่ในรูปแบบออกไซด์ มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

1. ไล่ความชื้นของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแก๊สไนโตรเจนที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง
2. ทำการผสมพาราฟิน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เฮปเทน เข้ากับไดเมทิลไดซัลไฟล์
3. ป้อนสารที่ผสมไว้เข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 100 มิลลิลิตร ภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยให้แน่ใจว่าเบดที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยานั่นเปียกไปด้วยสารที่ผสมไว้
4. ป้อนสารที่ความเร็วเชิงสเปซ 1 ต่อชั่วโมง ภายใต้แก๊สไฮโดรเจนที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และทำการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทุก 10 นาที จนได้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และป้อนสารต่อเนื่องทิ้งไว้อีก 7 ชั่วโมง
5. จากนั้นให้ทำการเพิ่มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทุก 10 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนถึงอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส และป้อนสารต่อเนื่องทิ้งไว้อีก 5 ชั่วโมง

3.1.4 รายละเอียดการทดลอง

หลังจากทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงเริ่มการป้อนสารตั้งต้น โดยทำการจับเวลาหลังจากสารลดลงไป 20 มิลลิลิตร ซึ่งเท่ากับปริมาตรจากต้นทางของสารตั้งต้นจนถึงทางเข้าเครื่องปฏิกรณ์ และทำการการเก็บตัวอย่างเพื่อมาทำการวิเคราะห์นั้นเก็บทุก ๆ 6 ชั่วโมง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปสภาวะในการการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลทังสเตน และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะในการทำทดลอง

สภาวะในการทดลอง	
ตัวเร่งปฏิกิริยา	นิกเกิลโมลิบดินัม และโคบอลต์โมลิบดีนัม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	300, 320, 340, 360, 380
ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	220, 300, 450
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (ต่อชั่วโมง)	1
อัตราส่วน แก๊สไฮโดรเจน : น้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อลูกบาศก์เมตร)	500 : 1
ปริมาตรเบดที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิลิตร)	30
สารตั้งต้น	น้ำมันปาล์มโอเลอิน

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองและการวิเคราะห์ผล มีใช้สารเคมีและแก๊สหลายชนิด โดยแสดงชื่อสาร และความบริสุทธิ์ไว้ในตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.2 แสดงสารเคมี และความบริสุทธิ์ที่ในการทดลอง

ชื่อสาร	**เกรด/ความบริสุทธิ์**
Hydrogen	Industrial grade
Nitrogen	99.99%
Phenolphthalein	Analytical grade
Sodium Hydroxide	Analytical grade
Heptane	Analytical grade
Dimethyl disulfide (DMDS)	Industrial grade
Palm olein oil	Food grade
Cyclohexane	Analytical grade
Sodium Thiosulphate	Analytical grade
Potassium Iodide	Analytical grade
Wij's Solution (Iodine Monochloride)	Analytical grade
Starch Soluble	Analytical grade
Pyridine	Analytical grade
N-methyl-N-trimethysilyltrifluoroacetamide (MSTFA)	Analytical grade
Nickel Molybdenum (NiMo)	Commercial
Cobalt Molybdenum (CoMo)	Commercial
Glass balls, undrilled 3 mm	Laboratory grade

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และนิกเกิลทังสเตน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครังสีเอ็กซ์ฟูออเรสเซนต์ (XRF) เพื่อหาธาตุองค์ประกอบธาตุของตัวเร่งปฏิกิริยา และเทคนิคบีอีที (BET) เพื่อหาพื้นที่ผิว รัศมีของรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ในการทดลอง

รายการ	NiMo	CoMo
องค์ประกอบ (%wt.)		
Al_2O_3	80.94	83.81
NiO	4.85	-
CoO	-	3.44
MoO_3	13.95	12.53
SiO_2	0.15	0.04
Ru	0.16	-
Nb_2O_5	0.06	-
Rh	0.07	-
Cl	0.07	0.074
TiO_2	-	0.14
CaO	0.03	0.01
พื้นที่ผิวบีอีที (ตารางเมตรต่อกรัม)	237.64	246.32
ปริมาตรของรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)	0.65	0.419
รัศมีของรูพรุน (อังสตรอม)*	61.87	44.15

3.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลิตภัณฑ์ถูกเก็บจากเครื่องปฏิกรณ์ทุก ๆ 6 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นของเหลวที่มี 2 วัฏภาค คือวัฏภาคน้ำมัน และน้ำ ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์จึงต้องแยกวัฏภาค โดยการใส่ทิ้งไว้ในขวดแก้วเพื่อให้แยกชั้นกันอย่างชัดเจน การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มีทั้งสิ้น 6 รายการ ได้แก่ การพิสูจน์น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความหนาแน่นของของเหลว ร้อยละกรดไขมัน ปริมาณพันธะคู่ ปริมาณและการกระจายตัวของสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน และปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ โดยมีรายละเอียด และจุดประสงค์ในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.4.1 การพิสูจน์น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การพิสูจน์น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดประสงค์ในการตรวจสอบว่ามีเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ขึ้นจริงหรือไม่ ซึ่งต้องร่วมกับการวิเคราะห์อื่น ๆ เพื่อยืนยันต่อไป โดยเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันให้ผลิตภัณฑ์

ข้างเคียงออกมาเป็นน้ำ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกมาเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกมาเป็นแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ และน้ำ

หลังจากผลิตภัณฑ์ถูกแยกวัฏภาคเรียบร้อยแล้ว วัฏภาคที่อยู่ข้างบนคือน้ำมัน และวัฏภาคที่อยู่ข้างล่างคือน้ำ เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันน้อยกว่าน้ำ ในการพิสูจน์น้ำ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ข้างล่างกรวยแยกสารถูกนำหาไปความหนาแน่นของของเหลว และนำไปหยดลงบนคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSOR$_4$R) โดยหากผลิตภัณฑ์ที่อยู่ข้างล่างกรวยแยกสารเป็นน้ำ ต้องแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นใกล้เคียง 997 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีสีขาวจะเปลี่ยนเป็นผลึกคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีน้ำสีน้ำเงิน ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)

ในส่วนที่เป็นแก๊ส ไม่ว่าเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) โดยให้แก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์วิ่งผ่านสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สารละลายขุ่น

3.4.2 ความหนาแน่นของของเหลว

การหาความหนาแน่นเป็นการหาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นที่สามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นบ่งบอกถึงการกระจายตัวของสารประกอบนอร์มอลพาราฟินของผลิตภัณฑ์เบื้องต้น โดยที่ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์สามารถสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของสารในขวดถ่วงจำเพาะแบบ Gay-Lussac pycnometer ที่มีค่าปริมาตรที่แน่นอน โดยเริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักขวดถ่วงจำเพาะเปล่า จากนั้นจึงเติมสารจนเต็ม ทำการปิดฝา และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าความหนาแน่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.3 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันเป็นตัวบ่งบอกว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งดังรูปที่ 2.1 ซึ่งดูร่วมกับปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งร้อยละของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์มีมากหรือน้อยว่าในสารตั้งต้นขึ้นอยู่กับว่ากรดไขมันมีการเกิดปฏิกิริยาต่อไปหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ร้อยละของกรดไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้ด้วยวิธีการไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีสารละลายฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ตามวิธีการไตเตรทตามวิธีการดัดแปลงจากมาตรฐาน AOCs Ca 5a-40 [34] ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่ใช้ เนื่องจากปริมาณของสารที่ใช้ตามมาตรฐานมีค่ามาก โดยปริมาณของสารที่ใช้เป็นไปดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นที่ใช้ในการหาร้อยละของกรดไขมัน

ช่วงของกรดไขมันอิสระ (%)	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	นอมอลลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอมอล)
0.01 - 0.2	5.64	5	0.013
0.20 - 1.0	2.82	5	0.013
1.00 - 30.0	0.7	7.5	0.031
30.00 - 50.0	0.7	10	0.13
50.00 - 100.0	0.35	10	0.125

3.4.4 ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถดูได้จากปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันดังรูปที่ 2.1 หากมีการเกิดเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเกิดขึ้น ปริมาณพันธะคู่ในผลิตภัณฑ์ควรมีน้อยกว่าในสารตั้งต้น โดยการวิเคราะห์ปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้ด้วยการวิเคราะหหาคาไอโอดีน (Iodine number) ในที่นี้เป็นวิธีของ Wijs ซึ่งเป็นการเติมไอโอดีนคลอไรด์ (iodine chloride) และไทเทรตย้อนกลับ (Back Titration) ด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate) ตามมาตรฐาน ASTM D 1959-97

3.4.5 ปริมาณและการกระจายตัวของนอร์มอลพาราฟิน

ปริมาณและการกระจายตัวของนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์เป็นตัวบ่งบอกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ดังรูปที่ 2.1 หากนอร์มอลพาราฟินเลขคู่มีปริมาณมาก แสดงว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันมีการเกิดขึ้นมาก หากนอร์มอลพาราฟินเลขคี่มีปริมาณมาก แสดงว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันมีการเกิดขึ้นมาก โดยการกระจายตัวของสารประกอบนอร์มอลพาราฟินในผลิตภัณฑ์นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทรกราฟี โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี Varian รุ่น 3800 ที่มีตัวตรวจวัดแบบ เฟรมไอออนไนซ์ (Flame Ionization detector) ที่ที่เป็นคอลัมน์แบบคาปิลารีรุ่น DB-5HT เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร และความหนาของชั้นฟิล์ม 0.1 ไมโครเมตร โดยสภาวะที่จะใช้ในคอลัมน์ที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงสภาวะของคอลัมน์เพื่อหาการกระจายตัวของสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน

สภาวะของคอลัมน์	
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	40
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิ (นาที)	3
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิถึง 230 (องศาเซลเซียสต่อนาที)	20
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	230
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาที)	5
อุณหภูมิหัวฉีดสาร (องศาเซลเซียส)	230
อุณหภูมิตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	250

3.4.6 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์

ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เป็นตัวบ่งบอกว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งดังรูปที่ 2.1 ซึ่งดูร่วมกับร้อยละของกรดไขมัน หากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งขึ้น ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ควรมีน้อยกว่าในสารตั้งต้น โดยการวิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์จะทำวิเคราะห์โดยใช้เครื่องโครโมโตกราฟฟี Agilent รุ่น 7890A ที่มีตัวตรวจวัดแบบ เฟรมไอออนไนซ์ (Flame Ionization detector) ที่เป็นคอลัมน์แบบคาปิลารีรุ่น DB-5HT เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร และความหนาของชั้นฟิล์ม 0.1 ไมโครเมตร ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างและสภาวะของคอลัมน์ตามมาตราฐาน EN14105 โดยสภาวะของคอลัมน์ในการวิเคราะห์เป็นไปดังตารางที่ 3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.6 แสดงสภาวะของคอลัมน์ในการวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์

สภาวะของคอลัมน์	
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	50
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิ (นาที)	1
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิชั้นที่ 1 เพิ่มถึง 180 (องศาเซลเซียสต่อนาที)	15
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิชั้นที่ 2 เพิ่มถึง 230 (องศาเซลเซียสต่อนาที)	7
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิชั้นที่ 3 เพิ่มถึง 370 (องศาเซลเซียสต่อนาที)	10
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	370
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาที)	15
อุณหภูมิตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	380

3.5 การคำนวณ

3.5.1 การคำนวณร้อยละกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

ร้อยละกรดไขมันอิสระสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณสารที่ใช้ในไตเตรทโดยร้อยละกรดไขมันอิสระที่คิดได้อยู่ในรูปกรดโอเลอิก (Oleic acid) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\%\text{FFA as oleic acid} = \frac{\text{alkali volume (mL)} \times \text{alkali normality} \times 28.2}{\text{sample weight (g)}} \qquad (3.1)$$

โดยที่ %FFA as oleic acid คือ ร้อยละกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก

alkali volume (mL) คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป (มิลลิลิตร)

alkali normality คือ นอมอลลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์

sample weight (g) คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณหาร้อยละกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์

- ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = 0.6 มิลลิลิตร
- ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ = 0.0104 N
- น้ำหนักตัวอย่าง = 5.67 กรัม

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.1; ร้อยละกรดไขมันอิสระ = $\frac{0.6 \times 0.0104 \times 28.2}{5.67} = 0.031$

3.5.2 การคำนวณร้อยละกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

คาไอโอดีน (Iodine number) สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณสารที่ใช้ในไตเตรทจากสมการดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$I = \left[(B\text{-}V)N \times 12.69\right]/S \qquad (3.2)$$

โดยที่ I คือ ค่าไอโอดีน (Iodine number) ของตัวอย่าง

B คือ ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปสำหรับสารละลายเบื้องต้น (มิลลิลิตร)

V คือ ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปสำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ นอมอลลิตีของโซเดียมไทโอซัลเฟต

S คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ร้อยละกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถคำนวณได้จากค่าไอโอดีนโดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่ในน้ำมันปาล์มเป็นกรดโอเลอิกจึงใช้ค่าไอโอดีนของกรดโอเลอิกมาคิดย้อนกลับดังต่อไปนี้

ร้อยละกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว = (I/I of Oleic acid) x 100 (3.3)

โดยที่ I คือ ค่าไอโอดีนของตัวอย่าง

I of Oleic acid คือ ค่าไอโอดีนของกรดโอเลอิกที่มีค่าเท่ากับ 90.1

ตัวอย่างการคำนวณหาร้อยละกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์

- ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปสำหรับสารละลายเบื้องต้น = 24.4 มิลลิลิตร
- ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปสำหรับตัวอย่าง = 18.8 มิลลิลิตร
- นอมอลลิตีของโซเดียมไทโอซัลเฟต = 0.1 นอมอล
- น้ำหนักของตัวอย่าง = 1.02 กรัม

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.2; I = [(24.4-18.8)*0.1*12.69]/1.02 = 6.97

และนำมาแทนค่าลงสมการ 3.3; ร้อยละกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว = (6.97/90.1)*100 = 7.73

3.5.3 การคำนวณค่าแฟกเตอร์ตอบสนอง (Respond Factor) ของการตรวจวัดปริมาณและการกระจายตัวของนอร์มอลพาราฟิน

ค่าแฟกเตอร์ตอบสนองที่ใช้ในการคำนวณผลที่ได้จากโครมาโตแกรมมีนิยามดังนี้

$$\text{Respond Factor}\ (\text{RF}) = \left(\frac{\text{Area of n-paraffin}}{\text{Weight of n-paraffin}}\right) \times \left(\frac{\text{Weight of I.S.}}{\text{Area of I.S.}}\right) \qquad (3.4)$$

ซึ่ง Respond Factor (RF) คือ ค่าแฟกเตอร์ตอบสนอง

Area of n-paraffin คือ พื้นที่ของนอร์มอลพาราฟิน

Weight of n-paraffin คือ น้ำหนักของนอร์มอลพาราฟิน (กรัม)

Area of I.S. คือ พื้นที่ของสารมาตรฐาน (methyl decanoate)

Weight of I.S. คือ น้ำหนักของสารมาตรฐาน (methyl decanoate, กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณค่าแฟกเตอร์ตอบสนองของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอม (N-paraffin C16)

- พื้นที่ของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอม = 24411.5
- น้ำหนักของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอม = 0.2554 กรัม
- พื้นที่ของสารมาตรฐาน (methyl decanoate) = 17660
- น้ำหนักของสารมาตรฐาน (methyl decanoate) = 0.2492 กรัม

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.4; RF (N-paraffin C16) = $\left(\frac{24411.5}{0.255}\right) \times \left(\frac{0.2492}{17660}\right)$ =1.349

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5.4 การคำนวณร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินโดยมวล

ร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินโดยน้ำหนักสามารถคำนวณได้จากผลที่ได้จากโครมาโตแกรมและค่าแฟกเตอร์ตอบสนองดังต่อไปนี้

$$\text{N-paraffin composition}\left(\%\text{wt}\right) = \frac{\text{Area of n-paraffin} \times \text{Weight of I.S.} \times 100}{\text{RF} \times \text{Area of I.S.} \times \text{Weight of sample}} \quad (3.5)$$

โดยที่ N-paraffin composition (%wt) คือ ร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินโดยมวล

Area of n-paraffin คือ พื้นที่ของนอร์มอลพาราฟิน

Area of I.S. คือ พื้นที่ของสารมาตรฐาน (methyl decanoate)

Weight of I.S. คือ น้ำหนักของสารมาตรฐาน (methyl decanoate, กรัม)

Respond Factor (RF) คือ ค่าแฟกเตอร์ตอบสนอง

Weight of sample คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอมโดยมวล

- น้ำหนักของตัวอย่าง = 0.102 กรัม
- พื้นที่ของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอม = 7169
- พื้นที่ของสารมาตรฐาน (methyl decanoate) = 4803
- น้ำหนักของสารมาตรฐาน (methyl decanoate) = 0.0194 กรัม
- ค่าแฟกเตอร์ตอบสนองของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอม = 1.349

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.5; $\text{N-paraffin C16}\left(\%\text{wt}\right) = \frac{7169 \times 0.0194 \times 100}{1.349 \times 4803. \times 0.102} = 21.04$

3.5.5 การคำนวณร้อยละผลได้เทียบกับสารตั้งต้นโดยมวล (Yields to feedstock, %wt)

$$\text{N-paraffin yield}\left(\%\text{wt}\right) = \frac{(\text{Total n-paraffin composition} \times \text{Oil phase mass})}{\text{Feedstock mass}} \quad (3.6)$$

โดยที่ N-paraffin yield คือ ร้อยละผลได้ของสารประกอบนอร์มอลพาราฟินโดยน้ำหนัก

Total n-paraffin composition คือ ร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินรวมโดยน้ำหนัก

Oil phase mass คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (กรัม)

Feedstock mass คือ น้ำหนักของสารตั้งต้น (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละผลได้ของสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอน 16 อะตอมโดยมวล

- ร้อยละสารประกอบนอร์มอลพาราฟินรวมโดยน้ำหนัก = 96.72

- น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน = 131.59
- น้ำหนักของสารตั้งต้น = 178.13

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.6; N-paraffin yield $(\%wt) = \frac{96.72 \times 131.59}{178.13} = 71.45$

3.5.6 การคำนวณอัตราส่วนการเลือกเกิดสารประกอบนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่โดยโมล (Selectivity ratio of n-paraffin C15/16 and C17/18)

$$\text{Selectivity ratio} = \frac{\text{Mole of odd-numbered n-paraffin composition}}{\text{Mole of even-numbered n-paraffin composition}} \quad (3.7)$$

โดยที่ Selectivity คือ อัตราส่วนการเลือกเกิดสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน

Mole of odd alkane composition คือ โมลของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่

Mole of even alkane compositionคือ โมลของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคู่

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนการเลือกเกิดสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน

- โมลของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ = 0.04
- โมลของนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคู่ = 0.07

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.7; Selectivity ratio = 0.04/0.07 = 0.57

3.5.7 การคำนวณร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์

ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างซึ่งได้มาจากการทำเส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve)

$$\text{Triglyceride composition } (\%wt) = \text{Area of triglyceride} \times 0.002 \quad (3.8)$$

$$\text{Diglyceride composition } (\%wt) = \text{Area of diglyceride} \times 0.0005 \quad (3.9)$$

$$\text{Monoglyceride composition } (\%wt) = \text{Area of monoglyceride} \times 0.0004 \quad (3.10)$$

โดยที่ Triglyceride composition (%wt) คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์โดยมวล

Area of triglyceride คือ พื้นที่ของไตรกลีเซอไรด์

Diglyceride composition (%wt) คือ ร้อยละไดกลีเซอไรด์โดยมวล

Area of diglyceride คือ พื้นที่ของไดกลีเซอไรด์

Monoglyceride composition (%wt) คือ ร้อยละโมโนกลีเซอไรด์โดยมวล

Area of monoglyceride คือ พื้นที่ของโมโนกลีเซอไรด์

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์

- พื้นที่ของไตรกลีเซอไรด์ = 750.2
- พื้นที่ของไดกลีเซอไรด์ = 267.7
- พื้นที่ของโมโนกลีเซอไรด์ = 200

นำค่าด้านบนมาแทนลงสมการ 3.8, 3.9 และ 3.10;

Triglyceride composition $(\%wt) = 750.2 \times 0.002 = 16.61$

Diglyceride composition $(\%wt) = 267.7 \times 0.0005 = 1.48$

Monoglyceride composition $(\%wt) = 200 \times 0.0004 = 0.89$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่สามารถสังเคราะห์นอร์มอลพาราฟินจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส และความดันที่ 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ส่วน คือวัฏภาคน้ำมัน วัฏภาคน้ำ และวัฏภาคแก๊ส โดยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือนอร์มอลพาราฟินอยู่ในวัฏภาคน้ำมัน ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณและการกระจายตัวของนอร์มอลพาราฟิน และปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ นอกจากนี้ทำการพิสูจน์น้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคน้ำ และวัฏภาคแก๊ส โดยการพิสูจน์น้ำในส่วนวัฏภาคน้ำด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต และการพิสูจน์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคแก๊สด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยผลการทดลองจะถูกนำเสนอและอภิปรายตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

4.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

4.3 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

4.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

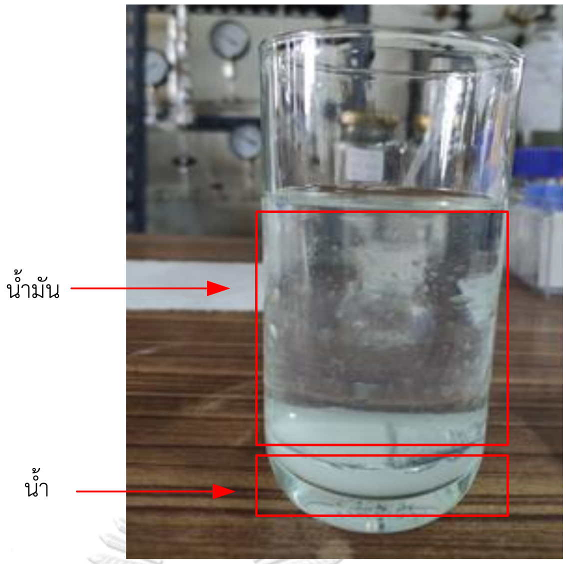
กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นปฏิกิริยาระหว่าง 3 วัฏภาค คือ สารตั้งต้นที่เป็นวัฏภาคของเหลวซึ่งคือน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ และวัฏภาคแก๊สคือแก๊สไฮโดรเจน เกิดปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นน้ำมันพืชที่มีการผลิตเป็นปริมาณมาก ทำให้ง่ายต่อการนำไปต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม ได้ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันโดยการเปลี่ยนให้เป็นเมทิลเอสเทอร์และนำไปวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟีตามมาตรฐาน EN 14103 และปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีการดัดแปลงจากมาตรฐาน AOCs Ca 5a-40 โดยมีองค์ประกอบของสารตั้งต้นที่แสดงไว้ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ชนิดสาร ตั้งต้น		น้ำมันปาล์มโอเลอิน
องค์ประกอบทั้งหมด (%wt.)		
Palmitic acid	($C_{16}H_{32}O_2$)	37.59
Stearic acid	($C_{18}H_{36}O_2$)	10.25
Oleic acid	($C_{18}H_{34}O_2$)	48.13
Linoleic aci	($C_{18}H_{32}O_2$)	4.03
ค่าของกรด (%wt.)		0.09
ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (%wt.)		52.16
ความหนาแน่น (g/ml)		0.905

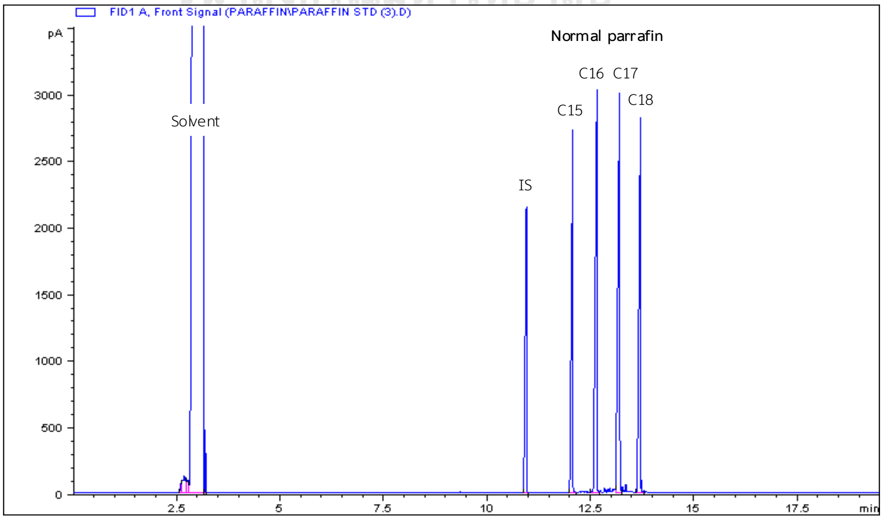
เมื่อทำการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นแก๊ส และส่วนที่เป็นของเหลว ในส่วนที่เป็นแก๊สได้นำมาผ่านสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วพบว่าสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ในส่วนที่เป็นของเหลวพบว่ามีการแยกออกเป็นสองวัฏภาคอย่างเห็นได้ชัดดังรูปที่ 4.1 พบว่าวัฏภาคชั้นล่างทำให้คอปเปอร์ซัลเฟตเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าวัฏภาคดังกล่าวเป็นวัฏภาคของน้ำ จึงทำให้ส่วนวัฏภาคชั้นบนเป็นวัฏภาคน้ำมัน ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณและการกระจายตัวของนอร์มอลพาราฟิน และปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

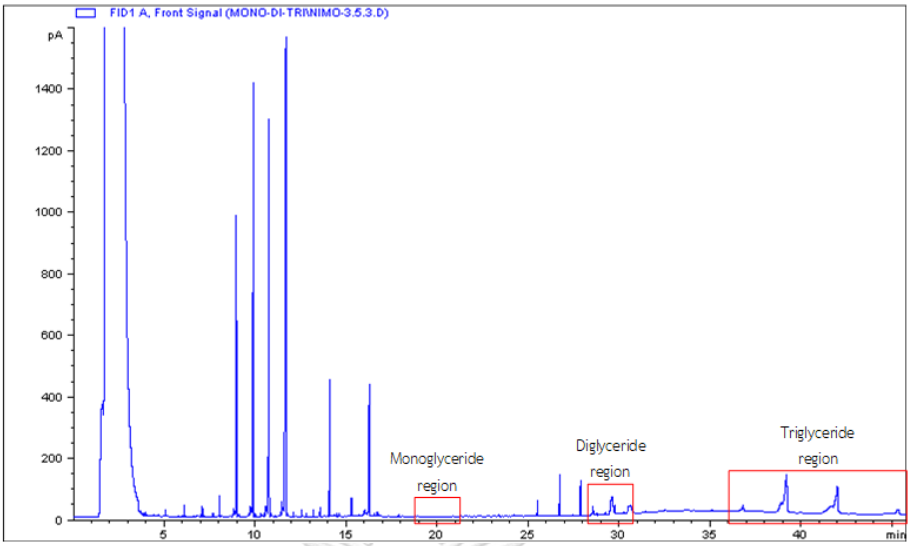


รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เปลี่ยนไปจากปริมาณกรดไขมันที่มีในสารตั้งต้น มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ที่ลดลงจากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในสารตั้งต้น มีนอร์มอลพาราฟินเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟีดังรูปที่ 4.2 และมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟีดังรูปที่ 4.3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดสามารถอธิบายได้ด้วยเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่ B. Veriansyah และคณะ [5] ที่ได้เสนอไว้



รูปที่ 4.2 แสดงโครมาโทแกรมของนอร์มอลพาราฟินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟี



รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโทแกรมของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟี

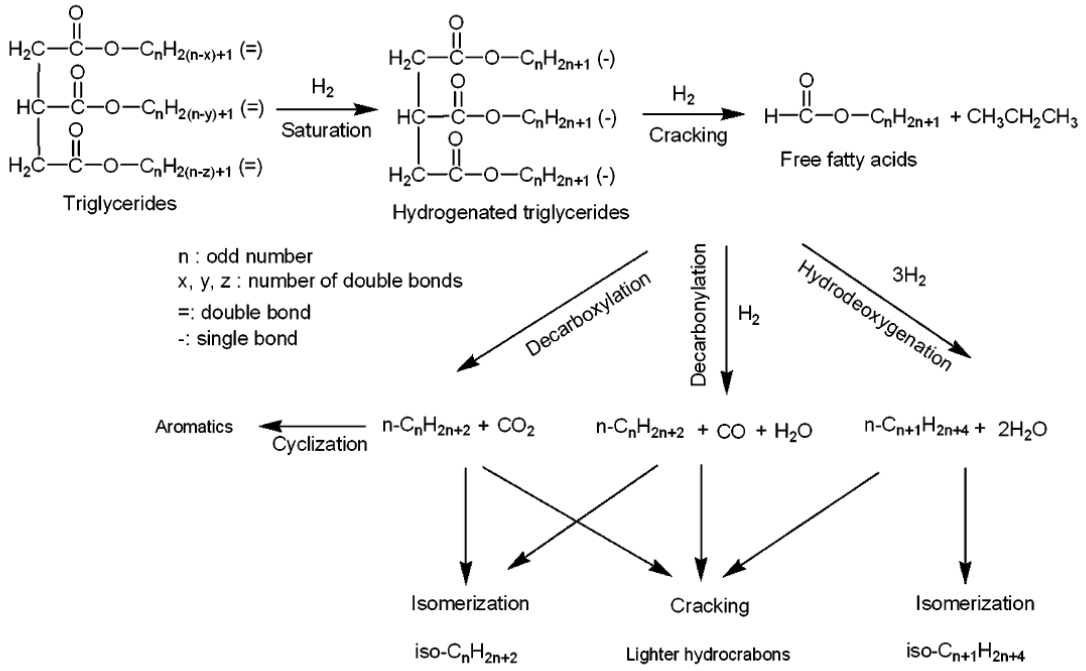
ผลการศึกษาของ B. Veriansyah และคณะ [5] ได้เสนอเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันถั่วเหลือง ดังรูปที่ 4.4 โดยสามารถนำมาอธิบายผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

(1) ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน เปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว ซึ่งปฏิกิริยานี้ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ลดลง

(2) ปฏิกิริยาแครกกิ้ง ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ และโพรเพน จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเป็นการแตกตัวที่ล่ะขา เนื่องจากพบไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งปฏิกิริยานี้ส่งผลให้มีไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์มีการเปลี่ยนแปลง และปริมาณกรดไขมันเพิ่มมากขึ้น

(3) กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ผลิตภัณฑ์เป็นนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคู่ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นน้ำ พร้อมกับปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นนอร์มอลพาราฟินมีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ แต่เนื่องจากในการทดลองนี้จะกำหนดสัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันไว้ที่ 500 ต่อ 1 จึงทำให้ปริมาณของไฮโดรเจนที่ออกมานั้นมีปริมาณที่เยอะมากเมื่อเทียบกับปริมาณของแก๊สที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณที่แน่นอนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงไม่สามารถแยกว่านอร์มอลพาราฟินมีคาร์บอนอะตอมเลขคี่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ซึ่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันดลง และมีนอร์มอลพาราฟินเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์

(4) ปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้ง ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และปฏิกิริยาไซไคลเซชัน ที่อาจเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงเป็นไฮโดรคาร์บอนสายสั้นลง ไฮโดรคาร์บอนโซ่กิ่ง และไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติก



รูปที่ 4.4 แสดงเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง [5]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการทำกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งขอน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะทรานซิชัน จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั้งหมด 5 ปฏิกิริยา ประกอบไปด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแคร๊กกิ้ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเท่ากับ 15 ถึง 18 อะตอม และมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงได้แก่ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์

4.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ณ สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส และความดัน 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งสามารถวิเคราะห์ได้จาก

ผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว ด้วยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถแสดงผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	4.59	5.97	8.76	7.74	7.12
pH ของน้ำ	4.5	5.0	6.0	6.0	6.0
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	41.93	62.63	95.54	95.10	92.66
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	5.56	8.48	15.12	16.45	17.28
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	10.21	15.05	21.11	19.89	18.56
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	10.12	15.27	27.35	28.24	29.03
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	16.05	23.84	31.97	30.52	27.79
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.58	0.60	0.76	0.88	0.99
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.67	0.68	0.91	0.98	1.11
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	34.59	56.64	78.12	77.38	79.22
ความหนาแน่น (g/ml)	0.817	0.795	0.765	0.766	0.767
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.45	3.22	0.06	0.03	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	16.18	13.54	0.00	0.00	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.23	2.99	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	42.01	25.75	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	5.55	7.96	8.78	8.25	8.04
pH ของน้ำ	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	49.79	85.32	96.44	97.13	95.80
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	6.85	12.10	14.89	16.06	16.63
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	12.26	20.49	21.76	21.08	20.50
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	12.23	21.39	26.56	27.98	28.33
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	18.45	31.34	33.23	32.00	30.34
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.60	0.63	0.73	0.81	0.86
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.70	0.72	0.85	0.93	0.99
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	40.99	74.32	79.09	79.52	79.17
ความหนาแน่น (g/ml)	0.805	0.770	0.765	0.765	0.766
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.22	1.98	0.04	0.05	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	11.05	3.60	0.00	0.00	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	3.60	1.17	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	33.68	8.47	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

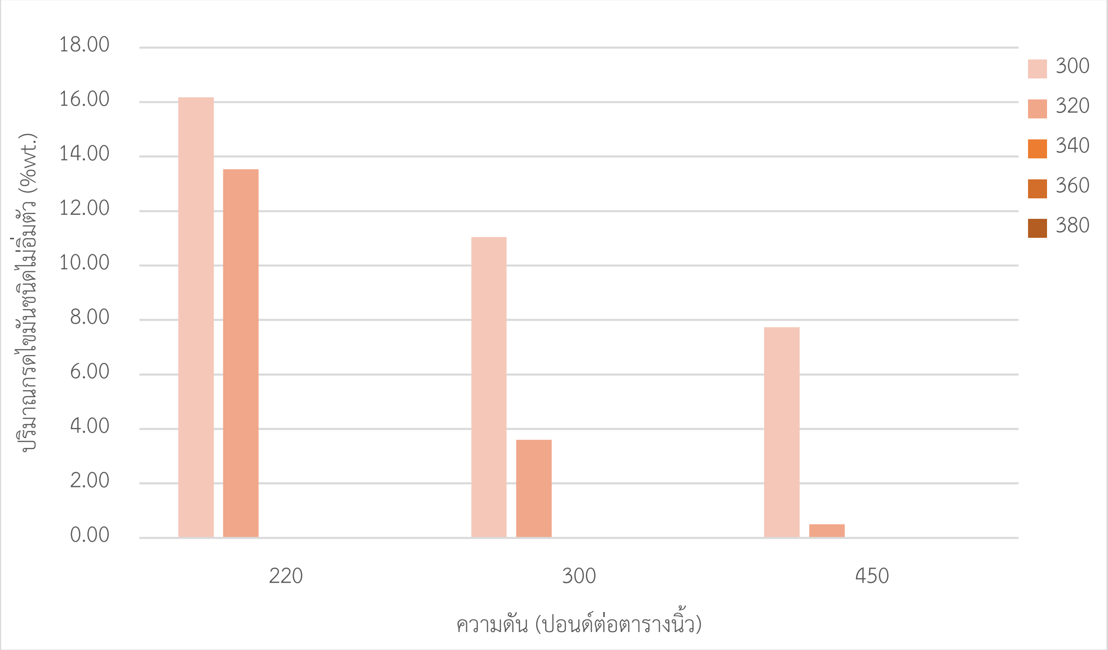
รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	6.90	9.57	9.40	8.74	8.59
pH ของน้ำ	4.5	6.0	6.0	6.0	5.5
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	68.06	96.31	96.72	96.85	97.49
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	8.68	12.42	13.00	15.32	15.73
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	16.86	24.27	23.72	21.39	22.02
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	15.49	21.94	23.18	27.60	28.13
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	27.03	37.69	36.82	32.53	31.61
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.55	0.55	0.58	0.76	0.76
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.61	0.62	0.67	0.90	0.94
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	57.90	79.31	78.95	78.74	79.14
ความหนาแน่น (g/ml)	0.790	0.768	0.765	0.766	0.764
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.12	0.25	0.04	0.03	0.04
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	7.73	0.51	0.00	0	0
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	1.48	0.04	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	16.61	0.10	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลกระทบของอุณหภูมิสามารถอธิบายได้จากผลวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน โดยผลวิเคราะห์เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

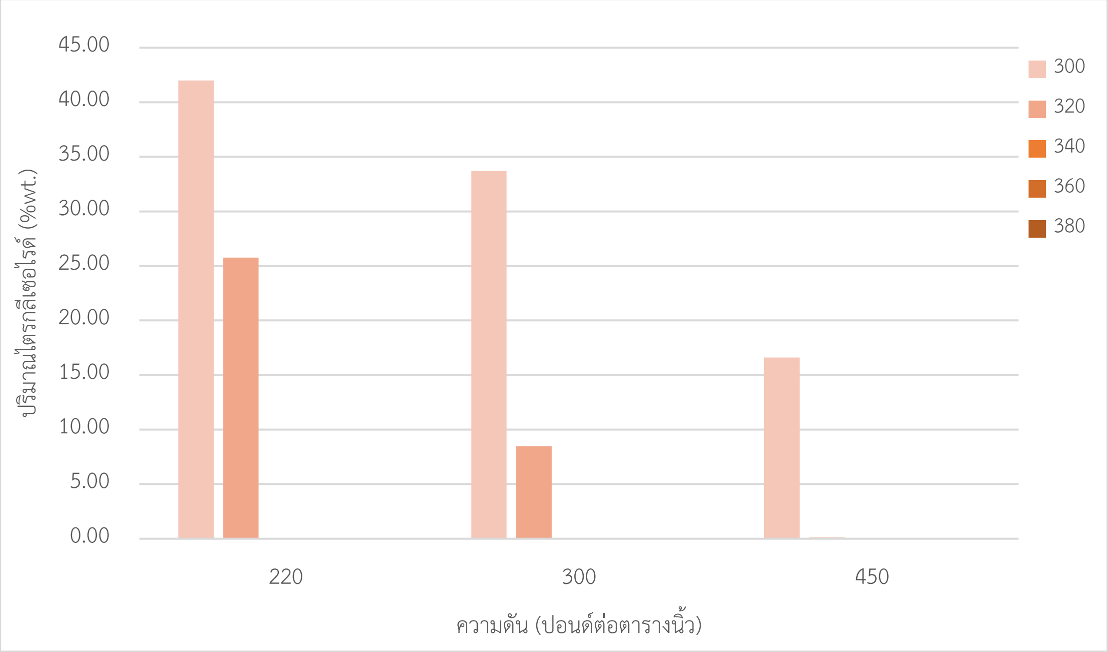
4.2.1.1 ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว



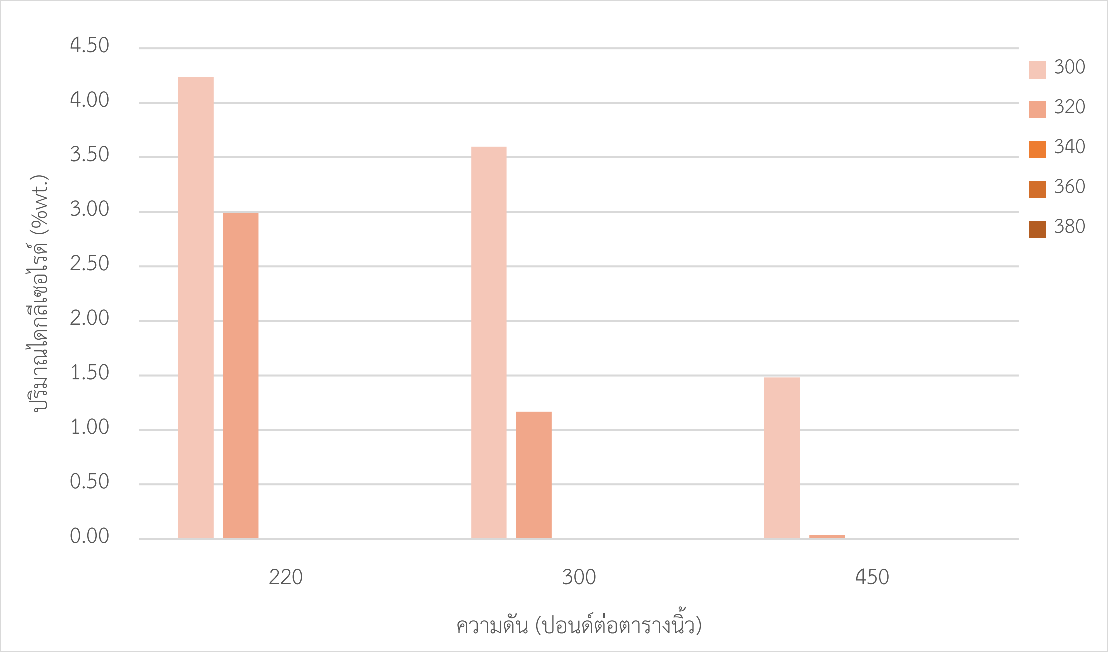
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในตัวอย่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในสารตั้งต้นที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ร้อยละ 52.16 โดยมวล นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันสังเกตจากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่แสดงดังรูปที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเหลืออยู่ และเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ไม่พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้สมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส

4.2.1.2 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม



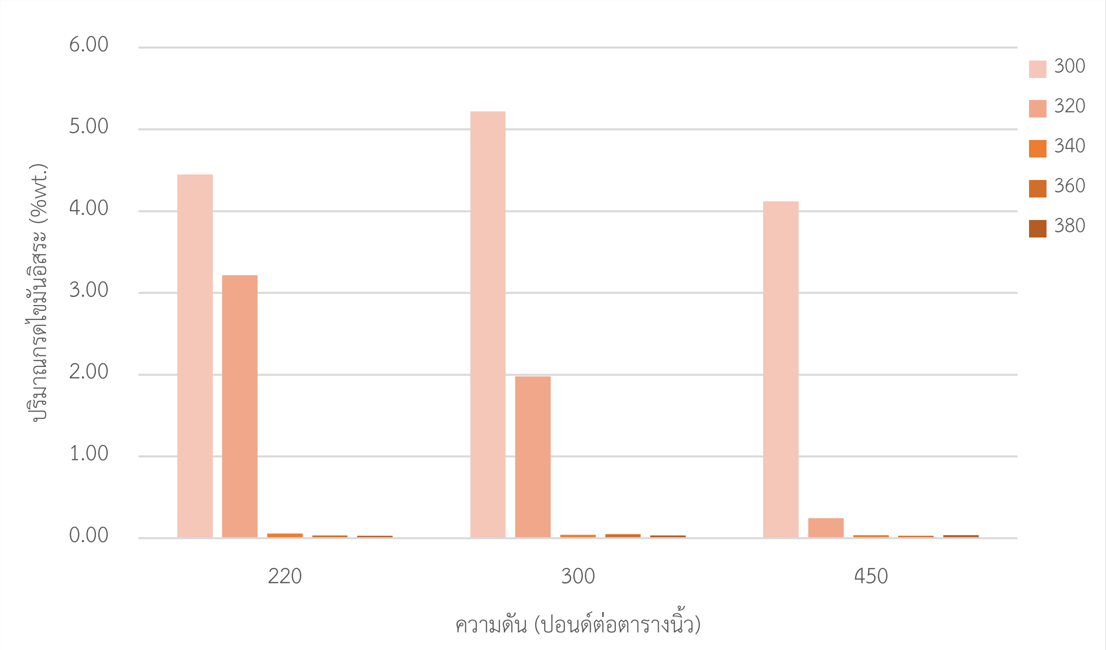
รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งขึ้น เนื่องจากปริมาณไตรกลีเซอไรด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารตั้งต้นที่เป็นน้ำมันพืชซึ่งประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์เกือบทั้งหมดดังปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่แสดงในรูปที่ 4.6 และพบว่ามีไดกลีเซอไรด์เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่ไม่มีองค์ประกอบของไดกลีเซอไรด์ดังปริมาณไดกลีเซอไรด์ที่แสดงในรูปที่ 4.7 และไม่พบโมโนกลีเซอไรด์คาดว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาแครกกิ้งขึ้นเกิดได้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เหลืออยู่ และเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ไม่พบไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้สมบูรณ์เกิดได้สมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Šimáček และคณะ (2009) [24] ที่ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรโพรเซสซิงของน้ำมันเรพซีดโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดินัม โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 260 ถึง 340 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ไม่พบไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ในผลิตภัณฑ์

4.2.1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น เนื่องจากหากไม่เกิดทั้ง 3 ปฏิกิริยาขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาแครกกิ้งควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 โดยมวล เมื่อเทียบกับปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากรูปที่ 4.6 ที่มีปริมาณเหลือมากสุดคือร้อยละ 42.01 โดยมวล แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระมีค่าลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

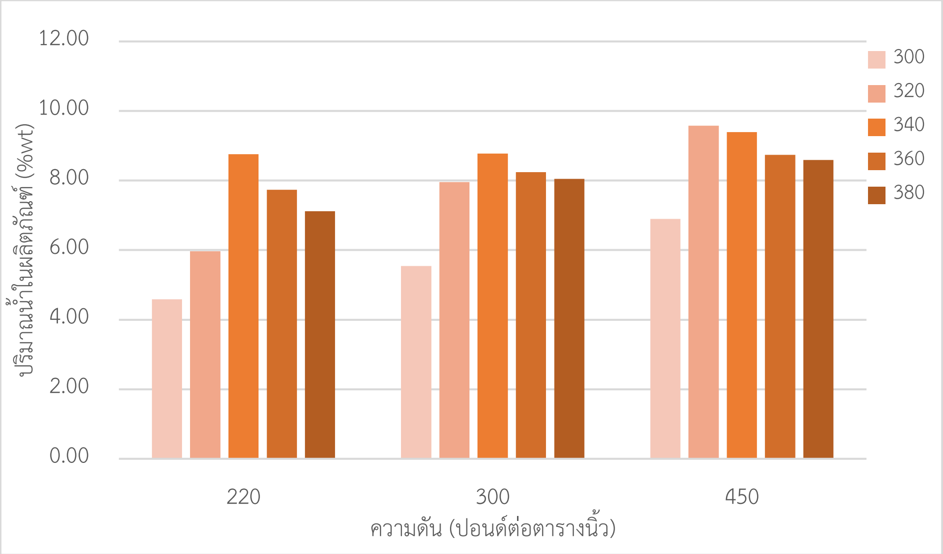


รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากผลการทดลองดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.8 ที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของกรดไขมันเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 โดยมวล แต่มีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของกรดไขมันอิสระจากการทดลองในที่มีอุณหภูมิอุณหภูมิ 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณเพียงร้อยละ 0.03 ถึง 0.06 โดยมวล แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้สมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากกว่า 340 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ P. Jirasavetakul (2010) [3] และ N. Sodsai (2018) [6] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณมาก และลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น จนมีปริมาณเหลือน้อยมากที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 340 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.1.4 ปริมาณน้ำ

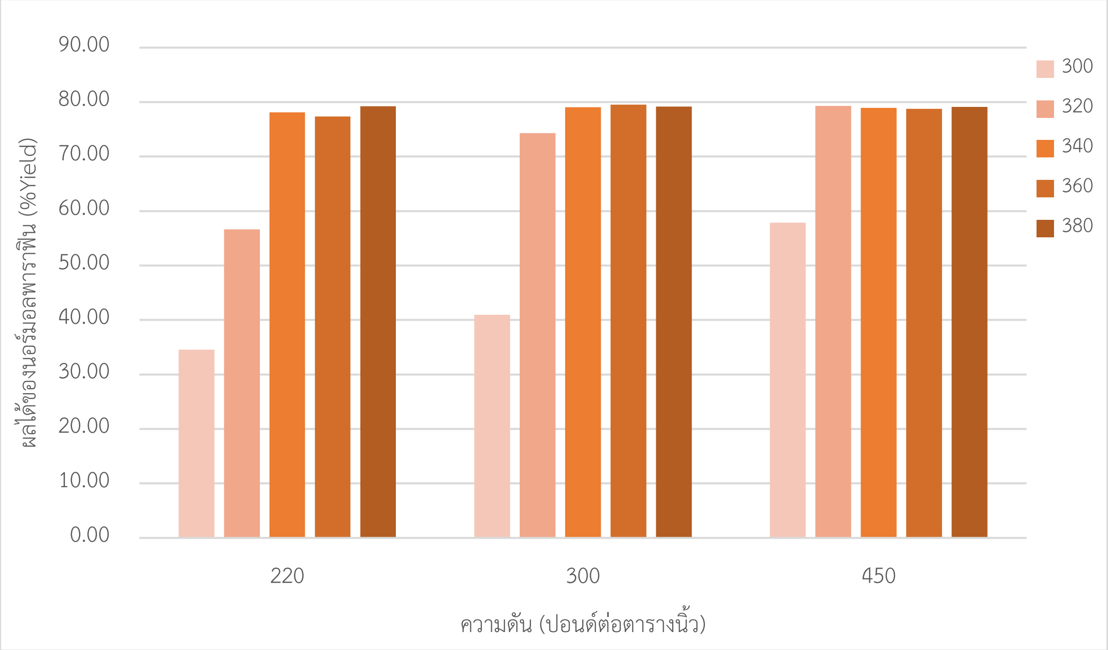


รูปที่ 4.9 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

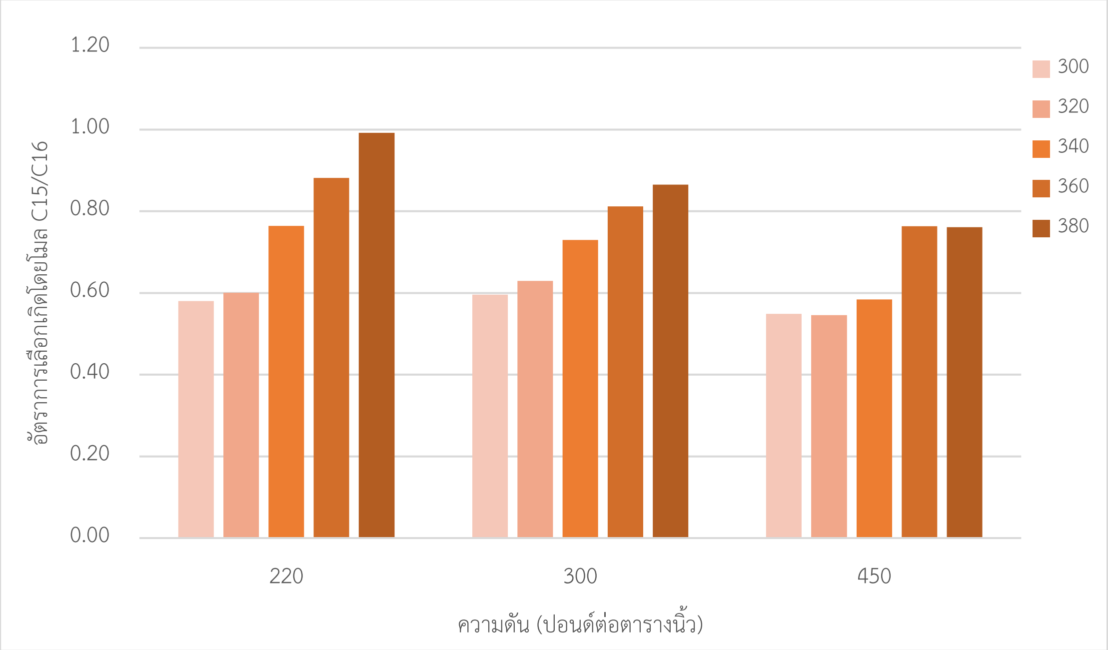
จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เนื่องจากน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันและสารตั้งต้นไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 4.5 ถึง 9.6 โดยมวล ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 โดยปริมาณน้ำมีการเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเดียวกับที่ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากกว่า 340 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้แย่ลง แต่ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดี จึงทำให้ปริมาณน้ำมีค่าลดลงแต่ปริมาณกรดไขมันยังคงมีค่าต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

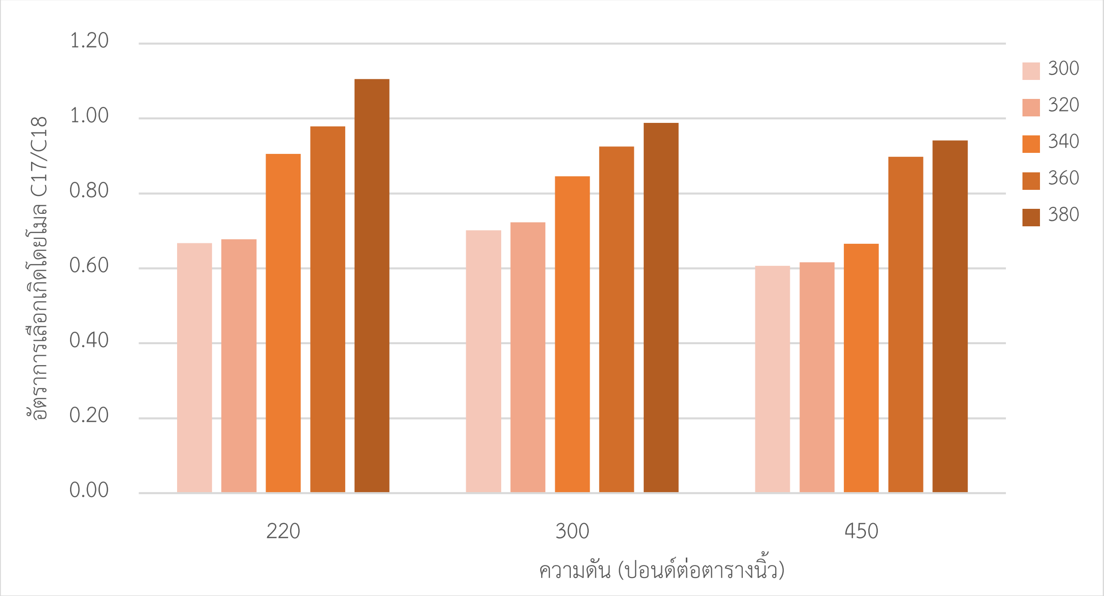
4.2.1.5 สารประกอบนอร์มอลพาราฟิน



รูปที่ 4.10 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม



รูปที่ 4.11 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม



รูปที่ 4.12 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นไม่มีนอร์มอลพาราฟินเป็นองค์ประกอบ ดังผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งสอดคล้องกับส่วนของปริมาณกรดไขมันอิสระที่แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส สังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีค่าต่ำจนไม่เปลี่ยนแปลง และผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่ค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 79 โดยมวล นอกจากนี้หากพิจารณาปริมาณน้ำร่วมกับอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีขึ้น ในขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้แย่ลง เนื่องจากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่มขึ้น ประกอบกับปริมาณน้ำที่มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Sodsai (2018) [6] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และ T.

Satrawaha (2018) [7] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้นต้องการพลังงานที่สูงเพื่อให้พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมนั้นแตกตัวได้ง่ายขึ้น

จากผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ไม่พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ และพบกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์เป็นปริมาณน้อยมาก หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ K. Charoensedtasin (2020) [35] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองนี้ ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้สมบูรณ์ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ไม่พบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ และพบกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์เป็นปริมาณน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง แต่มีความแตกต่างตรงที่ไม่พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส คาดว่าเนื่องจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพียงร้อยละ 20.92 โดยมวล ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้อัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีค่าน้อยกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C15/C16 และ C17/C18 ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.71 และ 0.78 ในขณะที่อัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟิน C15/C16 และ C17/C18 ของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.76 และ 0.94

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 340 องศาเซลเซียส สามารถทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งแตกตัวเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระได้ทั้งหมด และกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเปลี่ยนเป็นนอร์มอลพาราฟินเกือบทั้งหมด เมื่อพิจารณาอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ ควบคู่

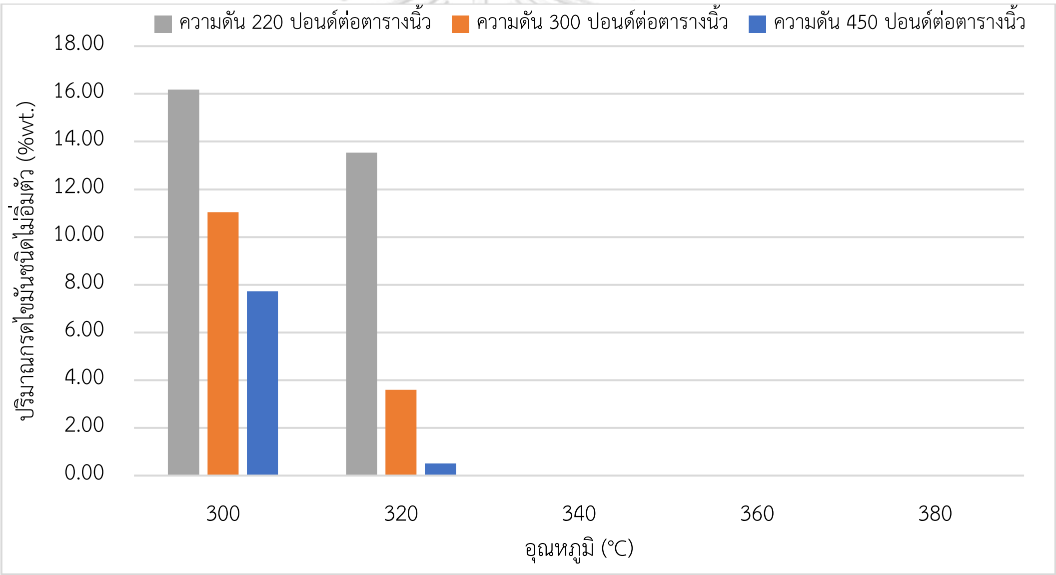
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณน้ำ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดคือ 380 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลกระทบของความดัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลกระทบของความดันสามารถอธิบายได้จากผลวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วยปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน ซึ่งผลวิเคราะห์เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

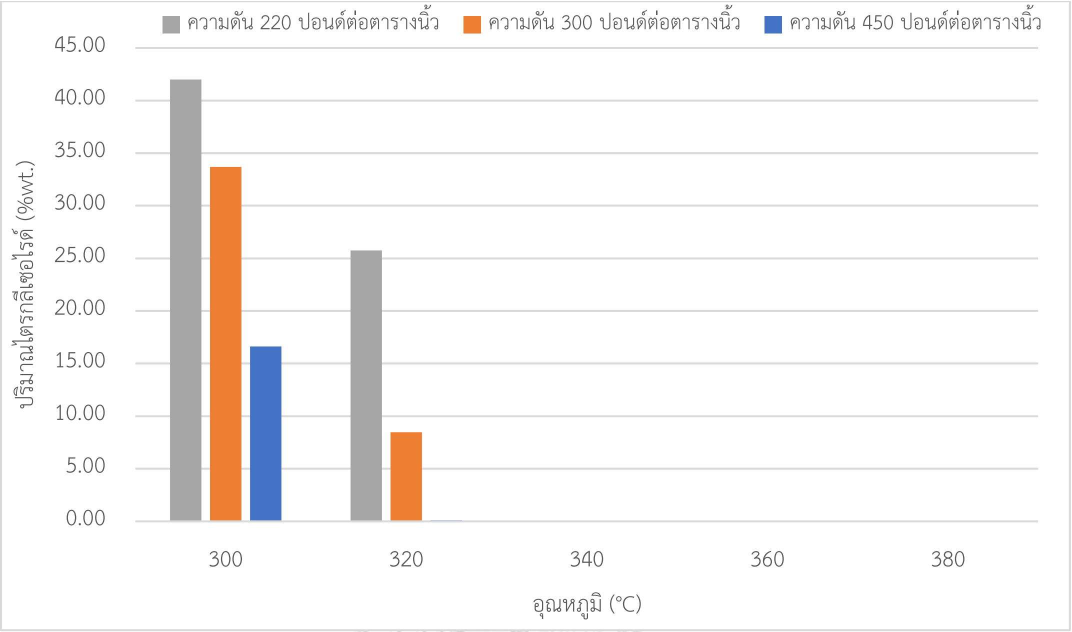
4.2.2.1 ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว



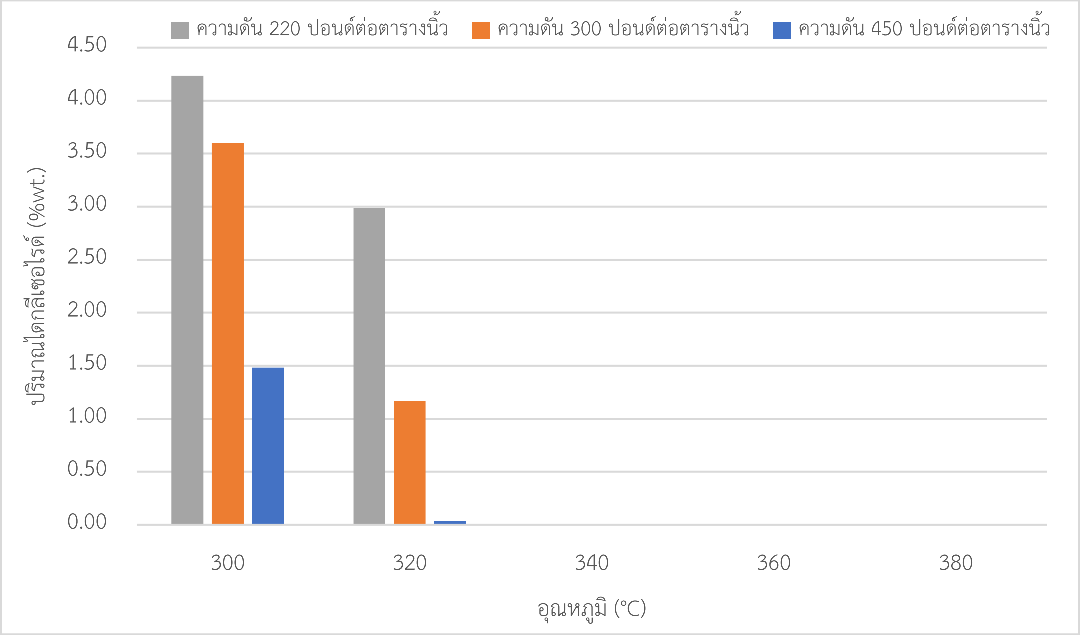
รูปที่ 4.13 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 16.18 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 11.05 และ 7.73 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ ซึ่งความดันไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันที่อุณหภูมิในการทดลองมากกว่า 340 องศาเซลเซียส

4.2.2.2 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์



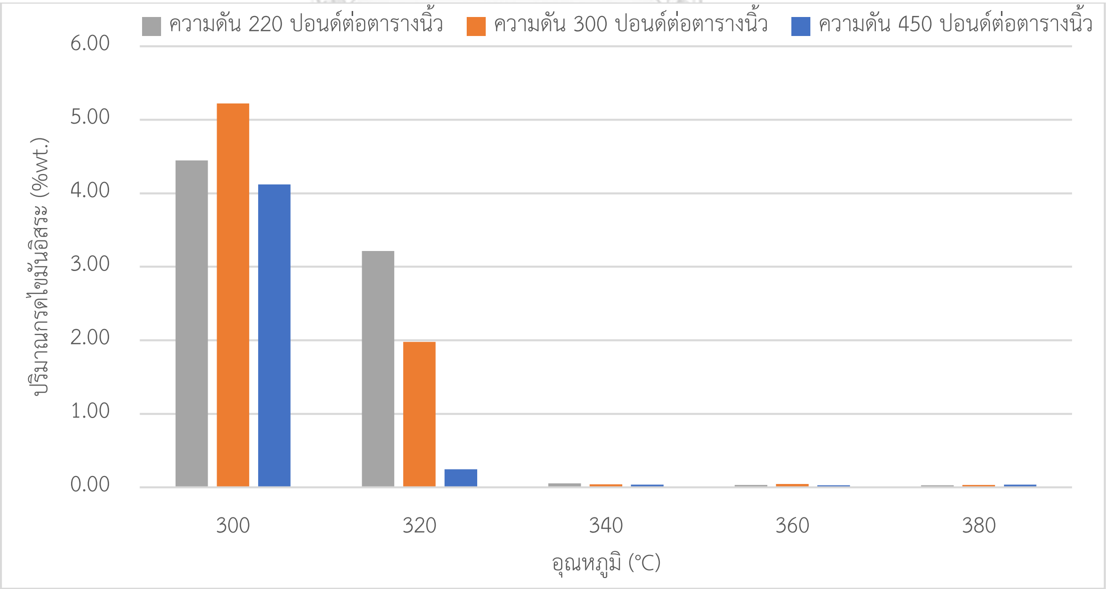
รูปที่ 4.14 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม



รูปที่ 4.15 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้ปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณไตรกลีเซอไรด์ของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 42.01 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 33.68 และ 16.61 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณไดกลีเซอไรด์ของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 4.23 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 3.6 และ 1.48 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ และความดันไม่ส่งผลต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ เนื่องจากไม่พบโมโนกลีเซอไรด์ในทุกการทดลอง นอกจากนี้ความดันไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งที่อุณหภูมิในการทดลองมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น หรือปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลือน้อยลง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น และความดันส่งผลน้อยลงต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

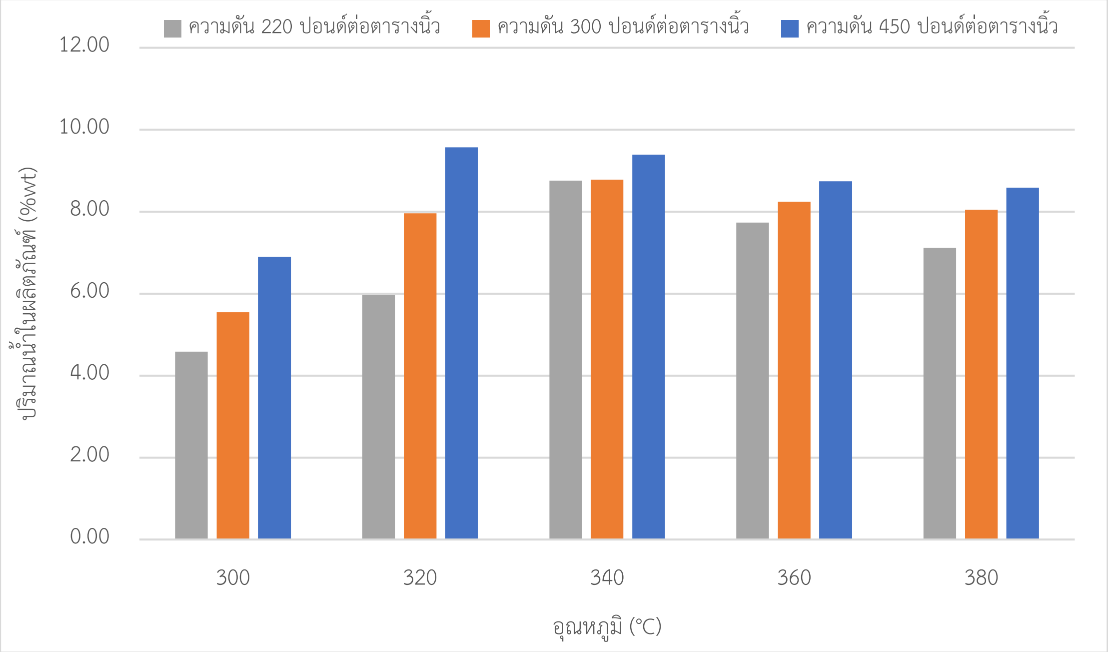
4.2.2.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ



รูปที่ 4.16 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.16 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระ ของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 320 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 3.22 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 1.98 และ 0.25 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ยกเว้นสภาวะที่มีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้วมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื่องจากปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้ดีขึ้นมากกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น

4.2.2.4 ปริมาณน้ำ

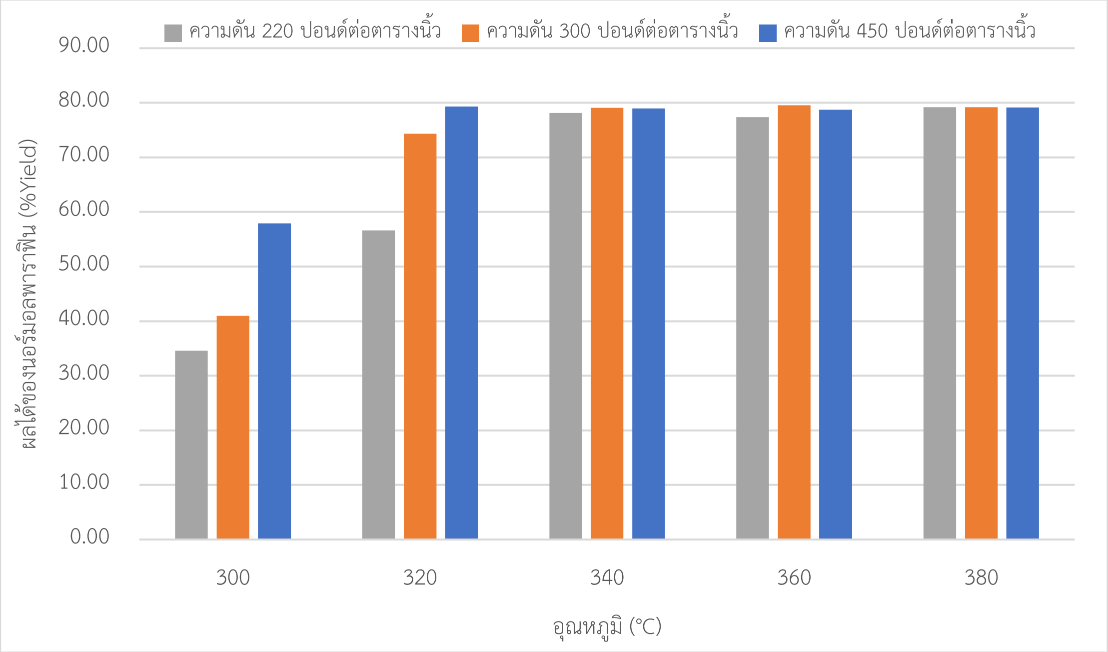


รูปที่ 4.17 ผลกระทบของความดันต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นของทุกสภาวะในการทดลอง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Sodsai (2018) [6] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และ T. Satrawaha (2018) [7] ที่ได้ศึกษากระบวนการ

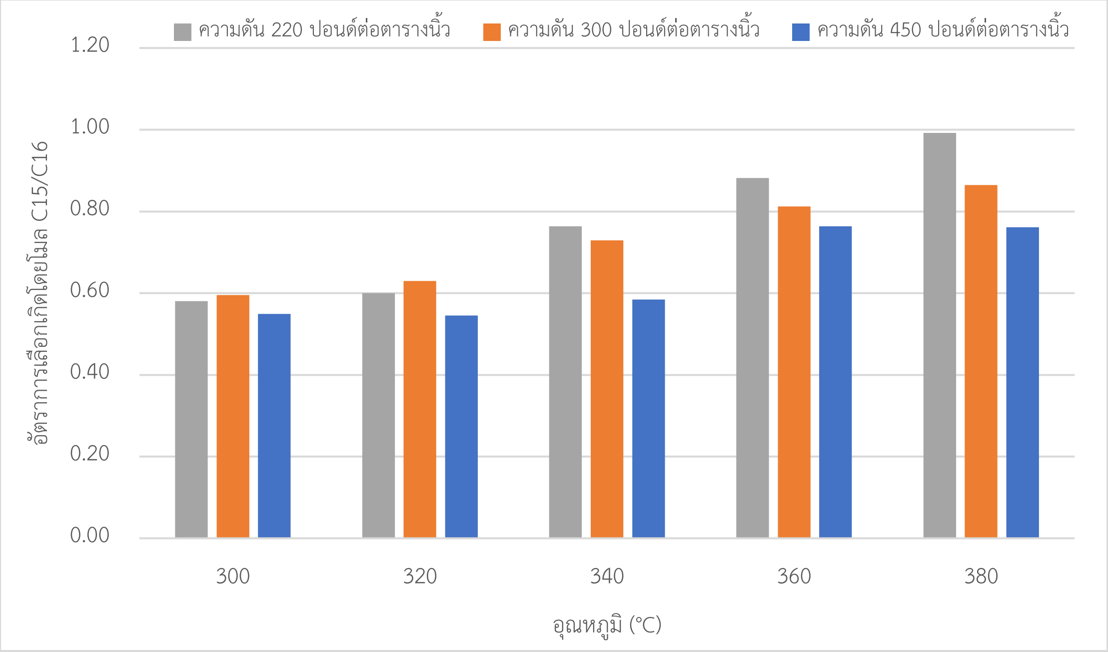
ไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นขึ้น เมื่อความดัน

4.2.2.5 สารประกอบนอร์มอลพาราฟิน

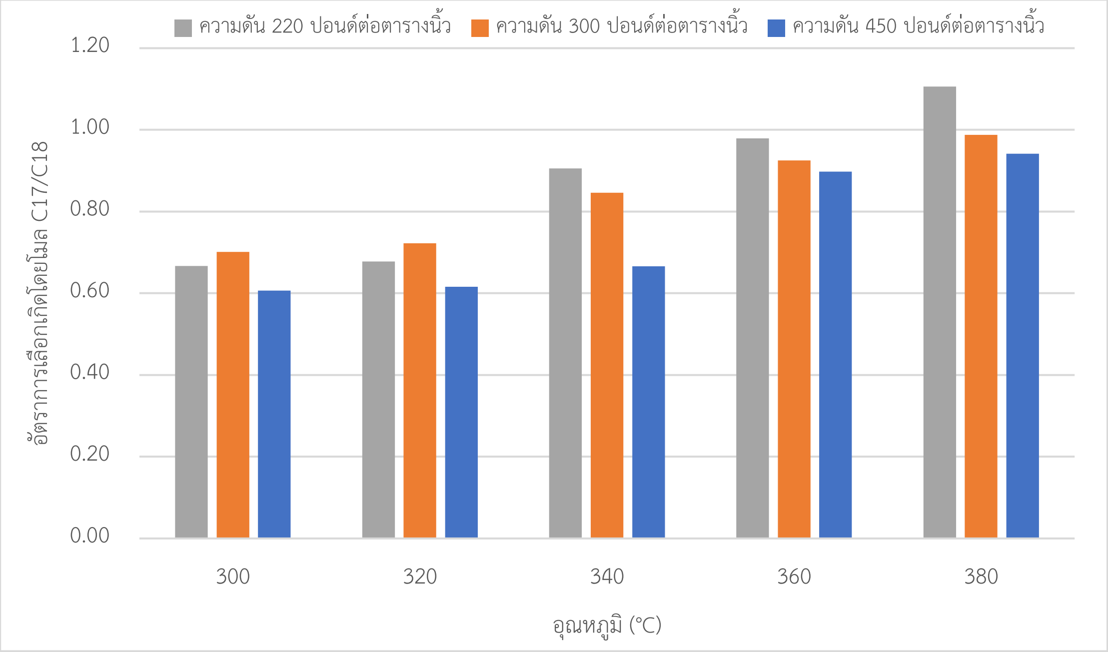


รูปที่ 4.18 ผลกระทบของความดันต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.19 ผลกระทบของความดันต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม



รูปที่ 4.20 ผลกระทบของความดันต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.18 โดยที่ความดันส่งผลต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่อุณหภูมิในการทดลองที่ 300 และ 320 องศาเซลเซียส และไม่ส่งผลต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่อุณหภูมิ 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ สามารถเกิดได้สมบูรณ์ นอกจากนี้หากพิจารณาปริมาณน้ำร่วมกับอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ดังที่แสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าต่ำลง เมื่อความดันที่ใช้ในการทดลองสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้แย่ลง ในขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าลดลง ประกอบกับปริมาณน้ำที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความดันต่ำลงทำให้ไฮโดรเจนที่สามารถละลายเข้าไปในสารตั้งต้นที่ของเหลวได้ลดลง ทำให้ที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียสที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ ยังเกิดได้ไม่สมบูรณ์ การเพิ่มความดันทำให้สารตั้งต้น ซึ่งคือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ที่ได้มีค่าน้อยลง และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งคือนอร์มอลพาราฟิน และปริมาณน้ำ ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงมากพอที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้สมบูรณ์ การเพิ่มความดันไม่ส่งต่อสารตั้งตั้น แต่ส่งผลต่อการเลือกเกิดของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อความดันลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนที่สามารถละลายเข้าไปในของเหลวมีค่าลดลงเมื่อความดันลดลง ทำให้ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่มีความต้องการใช้ไฮโดรเจนน้อยกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส ณ ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่มีอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ต่ำกว่าที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื่องจากที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส ณ ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ยังเกิดได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Guzman และคณะ (2010) [25] ที่ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรโพรเซสซิงของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแอลฟ่าอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ลดลง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันมีความต้องการใช้ไฮโดรเจนน้อยกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความดันส่งผลต่อปริมาณไฮโดรเจนที่สามารถละลายเข้าไปในสารตั้งต้น ทำให้ปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนเกิดได้ดีขึ้น เมื่อความดัน ในช่วงอุณหภูมิที่ปฏิกิริยายังเกิดได้ไม่สมบูรณ์คือที่ 300 และ 320 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 340 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้สมบูรณ์ การเพิ่มความดันส่งผลต่อเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เมื่อความดันต่ำ ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่เพิ่มขึ้น ดังนั้นความดันที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดคือ 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.3 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ณ สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส และความดัน 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจากผลิตภัณฑ์ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว ด้วยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในตารางต่อไปนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	2.44	4.55	5.56	6.41	6.28
pH ของน้ำ	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	25.03	52.10	73.47	91.21	89.26
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	4.75	11.43	16.84	21.28	20.81
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	5.04	9.10	11.94	14.67	15.30
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	7.98	18.06	26.86	33.71	32.10
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	7.26	13.52	17.83	21.55	21.06
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	1.00	1.34	1.50	1.55	1.45
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	1.16	1.41	1.59	1.66	1.61
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	22.36	44.78	60.71	72.91	71.62
ความหนาแน่น (g/ml)	0.843	0.810	0.785	0.762	0.762
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.26	5.13	1.63	0.13	0.05
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	52.98	30.18	16.20	1.56	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.61	1.42	1.13	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	41.57	23.14	12.16	1.38	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	3.38	3.85	6.22	6.83	7.00
pH ของน้ำ	5	5.5	6.0	6.0	6.0
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	35.45	48.71	81.20	91.37	89.24
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	6.86	7.80	18.33	21.22	20.79
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	6.97	9.25	13.53	15.15	15.29
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	11.13	17.85	29.69	33.48	32.03
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	10.49	13.81	19.65	21.51	21.14
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	1.05	0.90	1.44	1.49	1.45
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	1.12	1.37	1.60	1.65	1.60
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	31.59	42.14	66.32	73.35	71.70
ความหนาแน่น (g/ml)	0.834	0.806	0.776	0.764	0.766
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.92	3.64	1.31	0.05	0.05
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	44.37	29.16	15.48	0.48	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.27	2.71	0.87	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	39.92	27.28	8.51	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

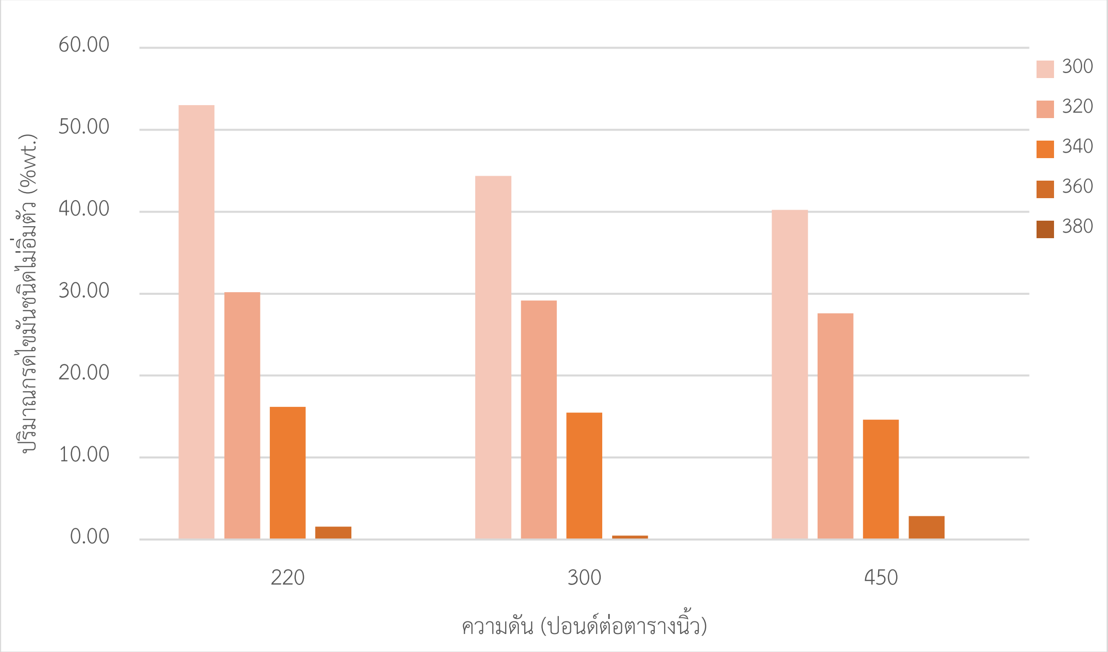
รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	2.52	4.16	6.31	7.56	7.68
pH ของน้ำ	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	32.46	48.18	75.03	93.25	93.90
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	5.61	9.43	15.65	19.64	21.22
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	7.04	9.38	13.74	17.01	16.35
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	9.20	15.30	25.30	32.00	32.49
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	10.62	14.07	20.34	24.60	23.84
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.85	1.07	1.21	1.23	1.38
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.92	1.15	1.32	1.38	1.44
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	29.18	41.94	62.29	75.24	74.35
ความหนาแน่น (g/ml)	0.833	0.807	0.785	0.766	0.767
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.13	4.75	1.18	0.22	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	40.20	27.61	14.64	2.87	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	6.55	3.68	2.80	0.09	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	55.13	29.26	13.35	1.64	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลกระทบของอุณหภูมิสามารถอธิบายได้จากผลวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน โดยผลวิเคราะห์เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

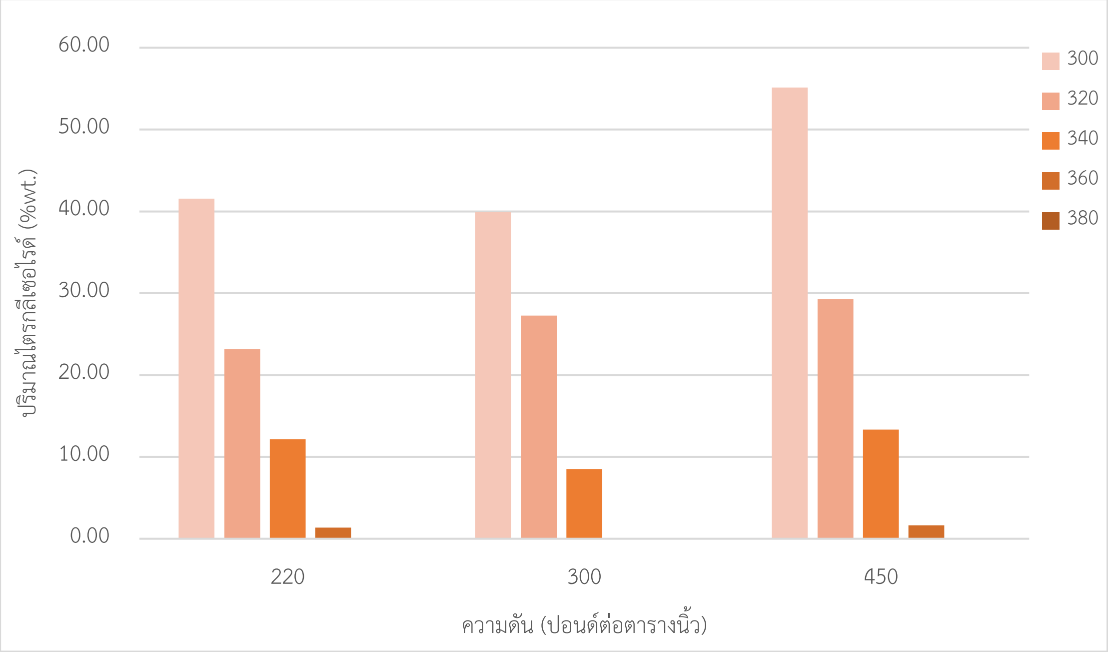
4.3.1.1 ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว



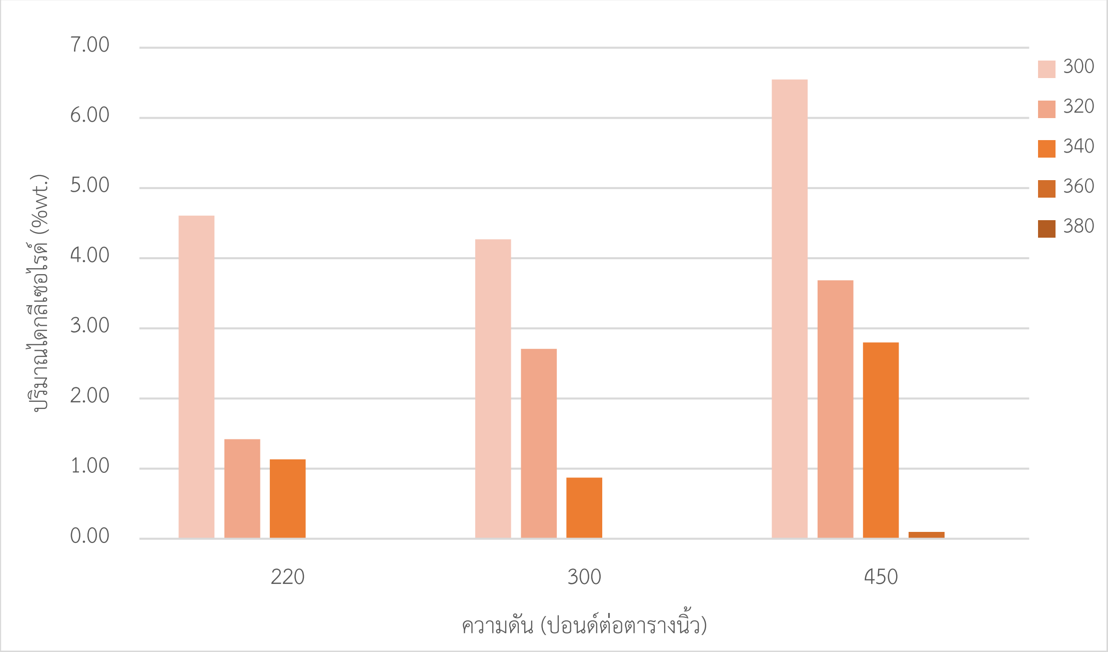
รูปที่ 4.21 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในตัวอย่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารตั้งต้นที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ร้อยละ 52.16 โดยมวล ยกเว้นตัวอย่างจากสภาวะการดำเนินการที่ 300 องศาเซลเซียส ในตัวอย่างมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 52.98 โดยมวล ซึ่งมาจากการคำนวณโดยคิดทั้งหมดเป็นกรดโอเลอิก หากนำสารตั้งต้นมาคิดวิธีเดียวกัน ได้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ร้อยละ 73.10 โดยมวล ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่แต่ละสภาวะมีปริมาณดังที่แสดงรูปที่ 4.21 ซึ่งที่อุณหภูมิ 300 320 340 และ 360 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเหลืออยู่ และไม่พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้สมบูรณ์

4.3.1.2 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์



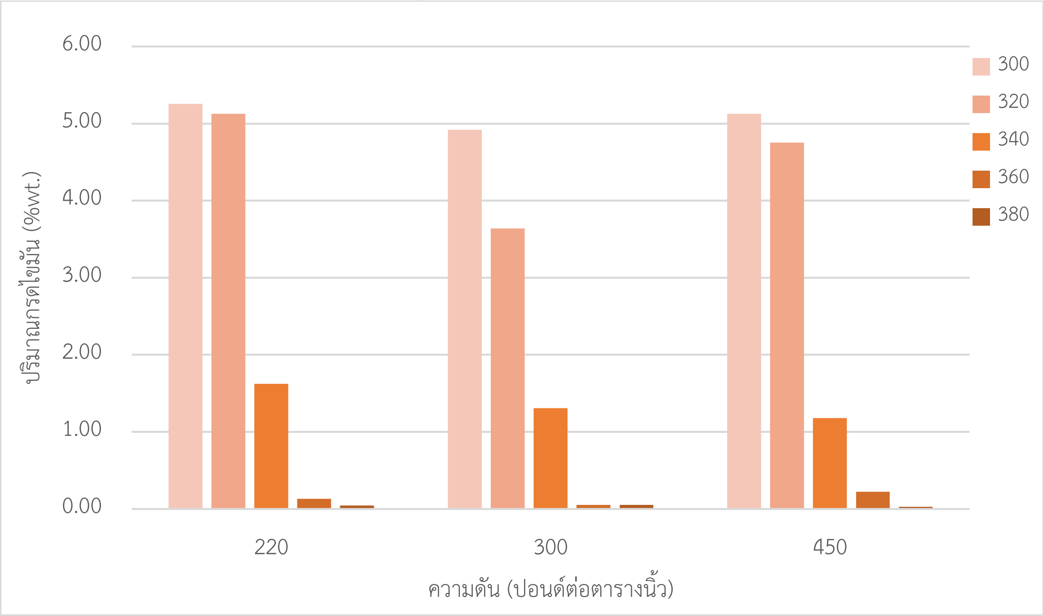
รูปที่ 4.22 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.23 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งขึ้น เนื่องจากปริมาณไตรกลีเซอไรด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารตั้งต้นที่เป็นน้ำมันพืชซึ่งประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์เกือบทั้งหมดดังปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่แสดงในรูปที่ 4.22 และพบว่ามีไดกลีเซอไรด์เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่ไม่มีองค์ประกอบของไดกลีเซอไรด์ดังปริมาณไดกลีเซอไรด์ที่แสดงในรูปที่ 4.23 และไม่พบโมโนกลีเซอไรด์คาดว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งที่อุณหภูมิ 300 320 340 และ 360 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาแครกกิ้งขึ้นเกิดได้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เหลืออยู่ และเมื่ออุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ไม่พบไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้สมบูรณ์เกิดได้สมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 360 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 320 340 และ 360 องศาเซลเซียส ยังคงพบไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ และเมื่ออุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ไม่พบไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์

4.3.1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ



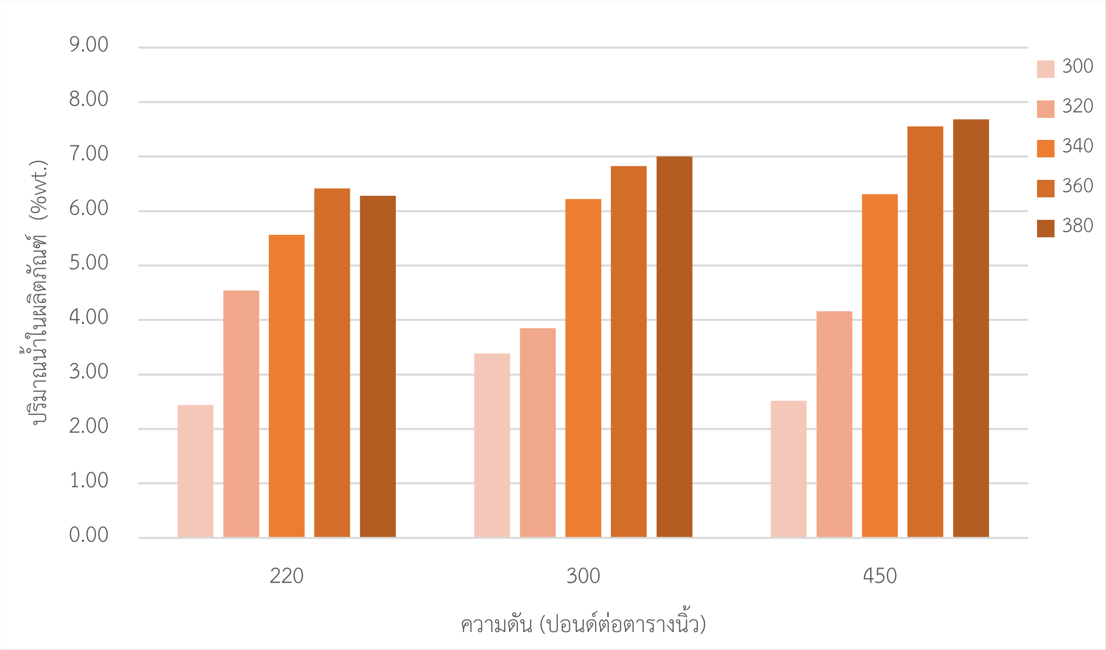
รูปที่ 4.24 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น เนื่องจากหากไม่เกิดทั้ง 3 ปฏิกิริยาขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาแครกกิ้งควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 40 โดยมวล สังเกตได้จากรูปที่ 4.22 ในสภาวะที่มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลือมากสุดคือร้อยละ 55.13 โดยมวล แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระมีค่าลดลง

จากผลการทดลองดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.24 ที่อุณหภูมิ 300 320 และ 320 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของกรดไขมันเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 1 ถึง 5 โดยมวล แต่มีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของกรดไขมันอิสระจากการทดลองในที่มีอุณหภูมิอุณหภูมิ 360 และ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณเพียงร้อยละ 0.03 ถึง 0.22 โดยมวล แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้น้อยที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเริ่มเกิดได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส สังเกตจากปริมาณกรดไขมันที่อุณหภูมิ 320 และ 340 องศาเซลเซียสที่มีค่าต่างกันมาก และสามารถเกิดสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่า 380 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัย T. Satrawaha (2018) [7] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณมาก และลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น จนมีปริมาณเหลือน้อยที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 360 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

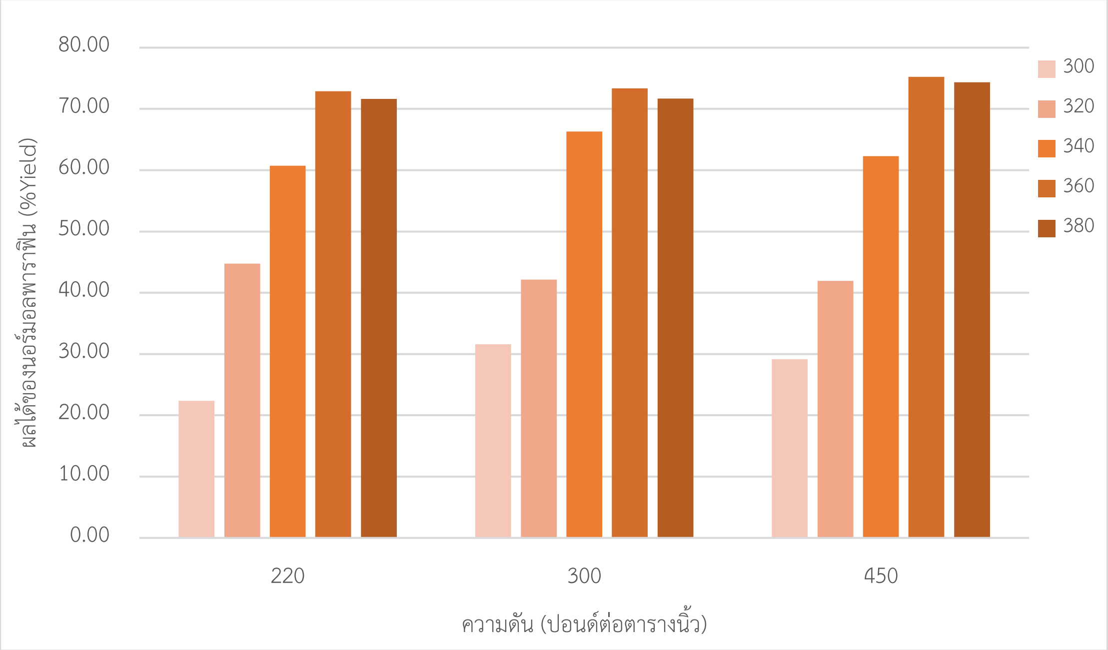
4.3.1.4 ปริมาณน้ำ



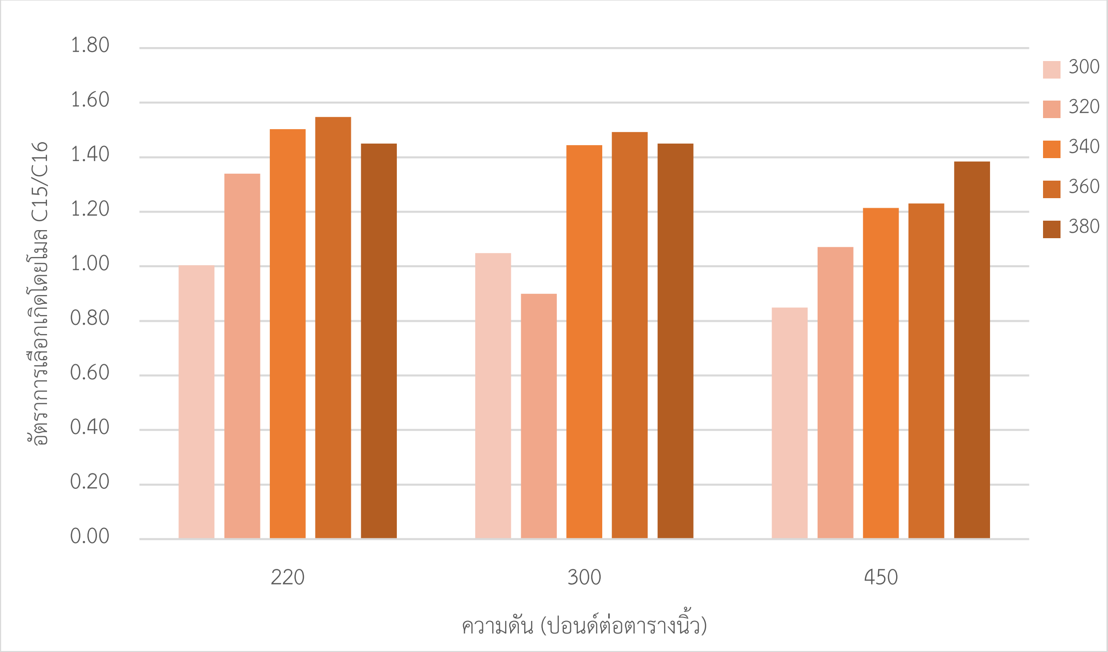
รูปที่ 4.25 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันขึ้น เนื่องจากน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันและสารตั้งต้นไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 2.4 ถึง 7.68 โดยมวล ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.25 โดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่ามากที่สุดที่ 380 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีค่าต่ำที่สุดที่อุณหภูมิมากกว่า 360 องศาเซลเซียส

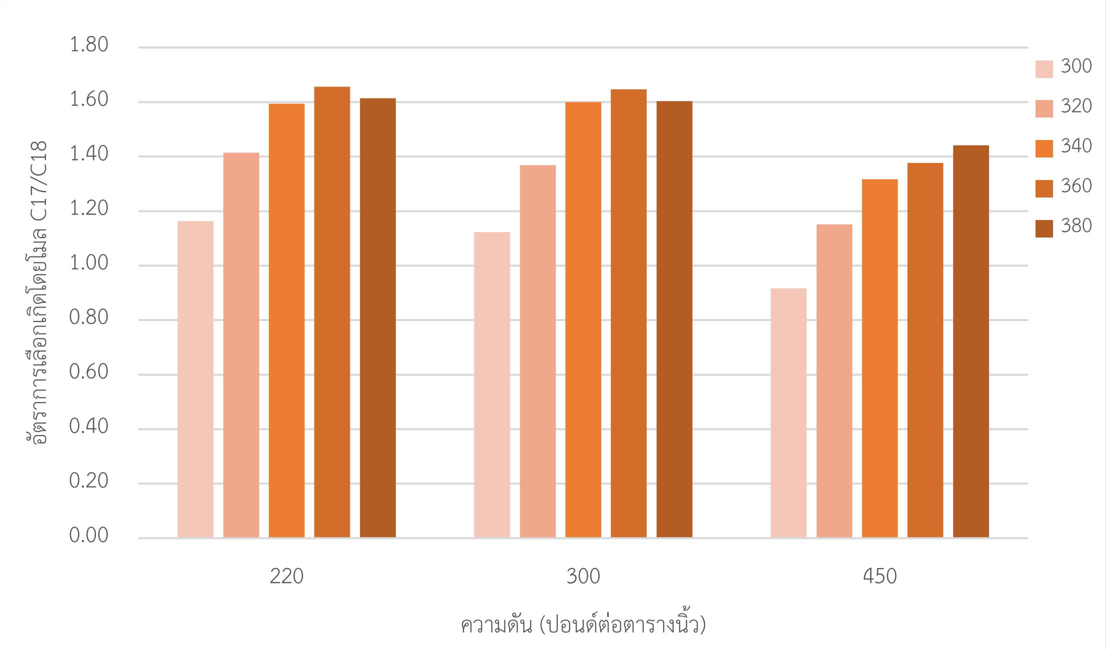
4.3.1.5 สารประกอบนอร์มอลพาราฟิน



รูปที่ 4.26 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.27 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.28 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน แสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะของทุก ๆ อุณหภูมิมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นไม่มีนอร์มอลพาราฟินเป็นองค์ประกอบ ดังผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่แสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งสอดคล้องกับส่วนของปริมาณกรดไขมันอิสระที่แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิมากกว่า 360 องศาเซลเซียส สังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีค่าต่ำมาก นอกจากนี้หากพิจารณาอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ดังที่แสดงในรูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีขึ้น ในขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้น้อยลง เนื่องจากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่มขึ้น ประกอบกับปริมาณน้ำที่มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ T. Satrawaha (2018) [7] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าเพิ่ม

สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน และอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าลดลง คาดว่าเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันขึ้นทำให้นอร์มอลพาราฟินเปลี่ยนเป็นไอโซพาราฟิน ส่งผลให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน และอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าลดลง ดังงานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการศึกษาแสดงให้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ไอโซพาราฟินมีปริมาณเพิ่มขึ้น

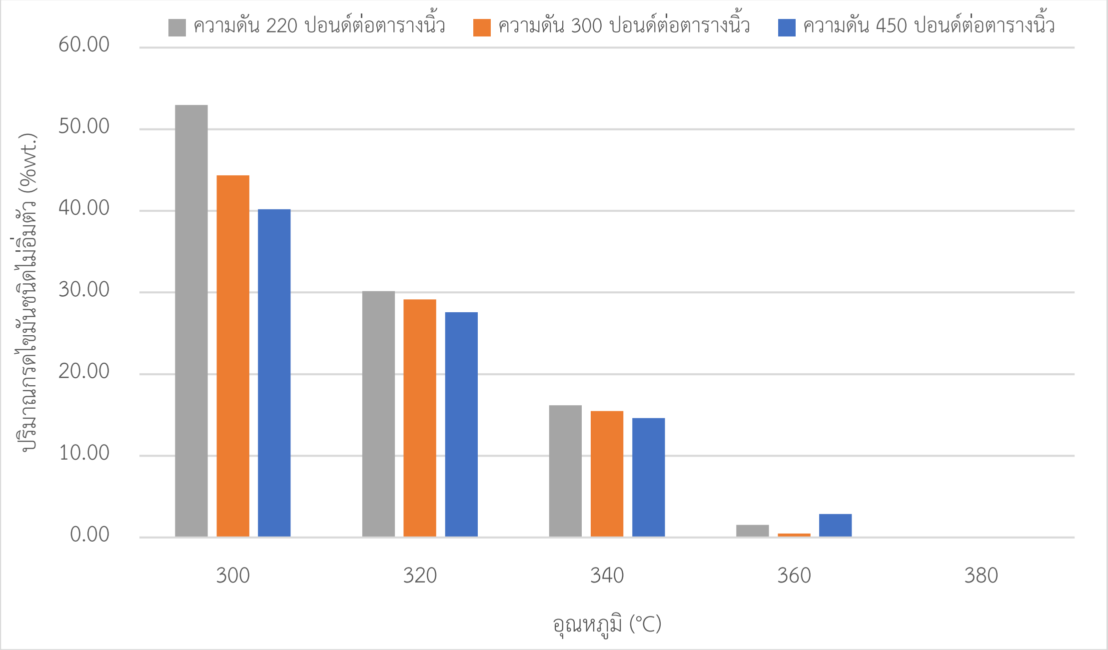
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 380 องศาเซลเซียส สามารถทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว และกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเปลี่ยนเป็นนอร์มอลพาราฟินเกือบทั้งหมด เมื่อพิจารณาอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดคือ 360 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.2 ผลกระทบของความดัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลกระทบของความดันสามารถอธิบายได้จากผลวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วยปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน ซึ่งผลวิเคราะห์เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

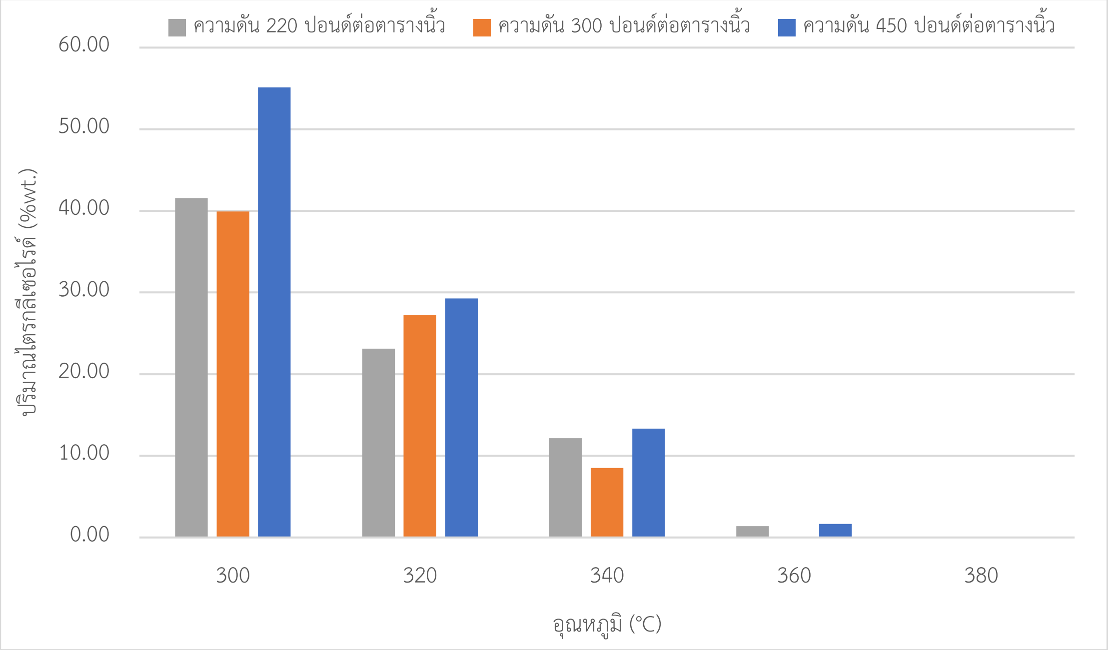
4.3.2.1 ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว



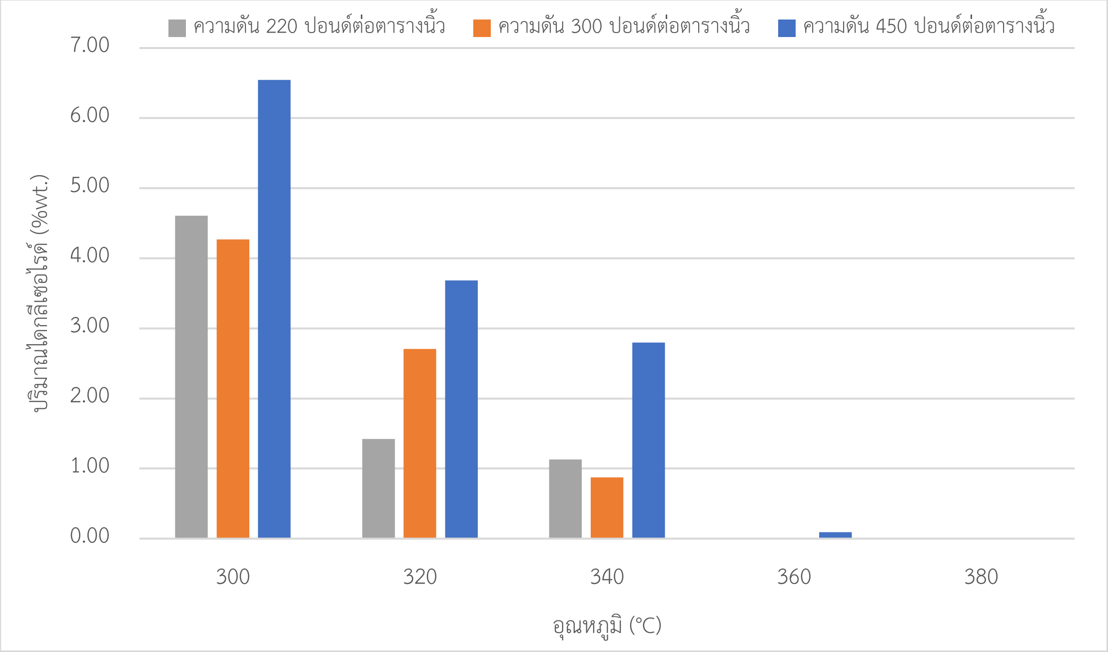
รูปที่ 4.29 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.29 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 52.98 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 44.37 และ 40.20 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ ซึ่งความดันไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันที่อุณหภูมิในการทดลองมากกว่า 360 องศาเซลเซียส

4.3.2.2 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์



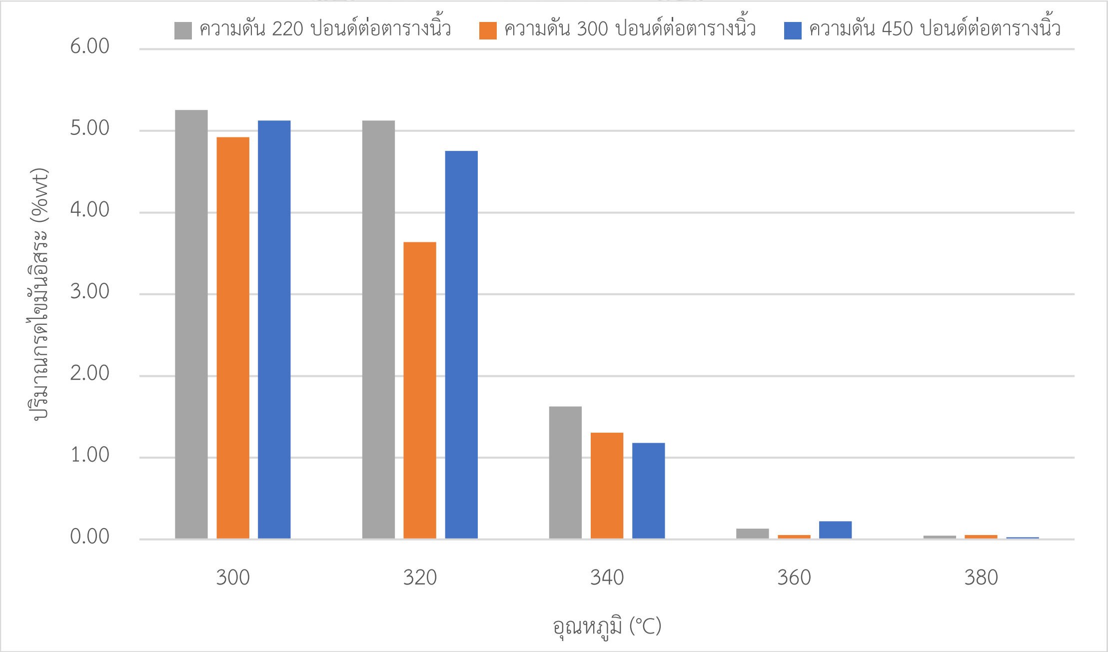
รูปที่ 4.30 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.31 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้ปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้ลดลง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.30 และ 4.31 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณไตรกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ของสภาวะที่มีความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีปริมาณมากกว่าสภาวะที่มีความดัน 220 และ 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง หากสังเกตุรวมกับปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพบว่าที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยกว่าที่ความดัน 220 และ 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว คาดว่าปฏิกิริยาแครกกิ้งของไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวเกิดได้ยากกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่อิ่มตัว แต่ความดันไม่ส่งผลต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ เนื่องจากไม่พบโมโนกลีเซอไรด์ในทุกการทดลอง นอกจากนี้ความดันไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแครกกิ้งที่อุณหภูมิในการทดลองมากกว่า 360 องศาเซลเซียส ในขณะที่งานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลือน้อยลง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น และความดันส่งผลน้อยลงต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และความดันไม่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ เมื่ออุณหภูมิในการทดลองมากกว่า 360 องศาเซลเซียส

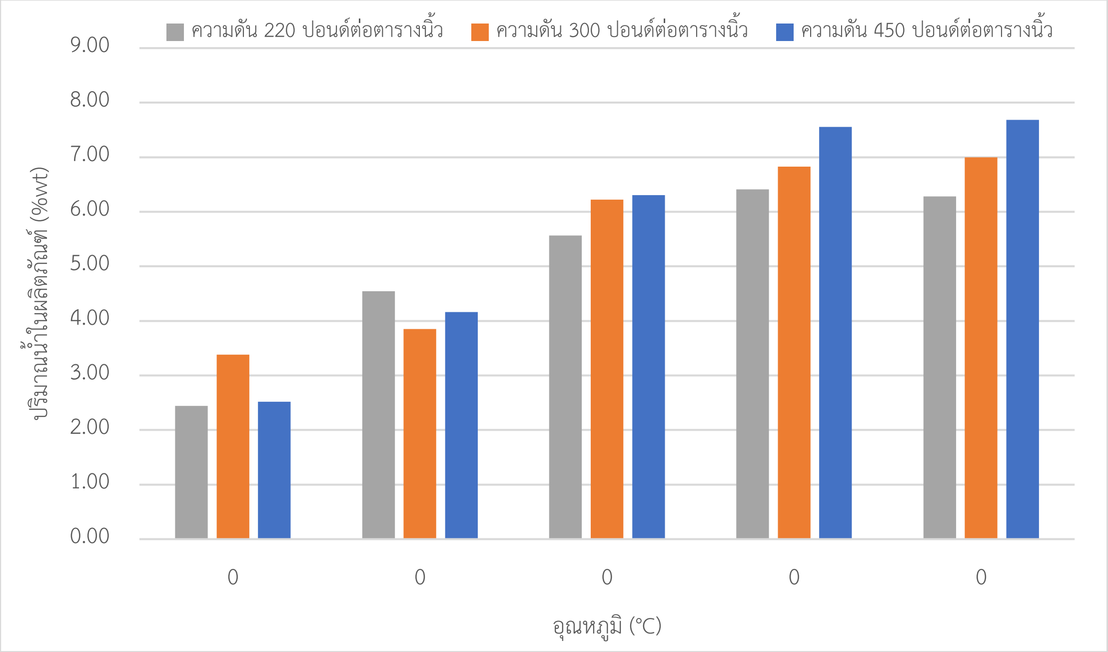
4.3.2.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ



รูปที่ 4.32 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.32 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระของสภาวะที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 340 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจากร้อยละ 1.63 ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นร้อยละ 1.31 และ 1.18 ที่ความดัน 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระของสภาวะมีอุณหภูมิเท่ากับ 300 และ 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้อยสุดที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

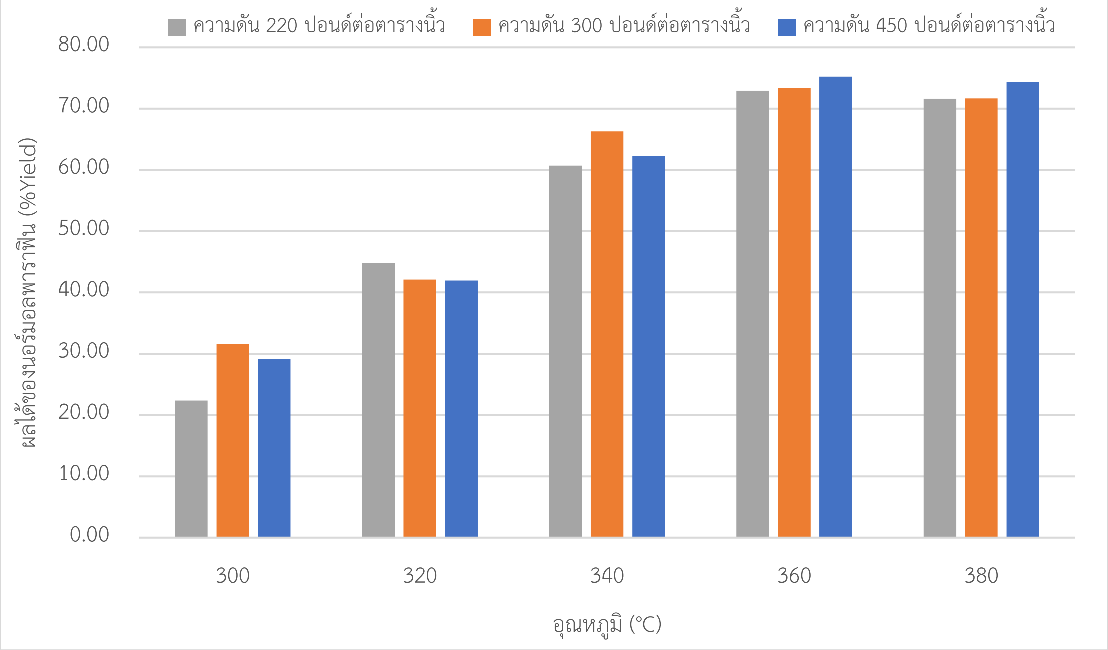
4.3.2.4 ปริมาณน้ำ



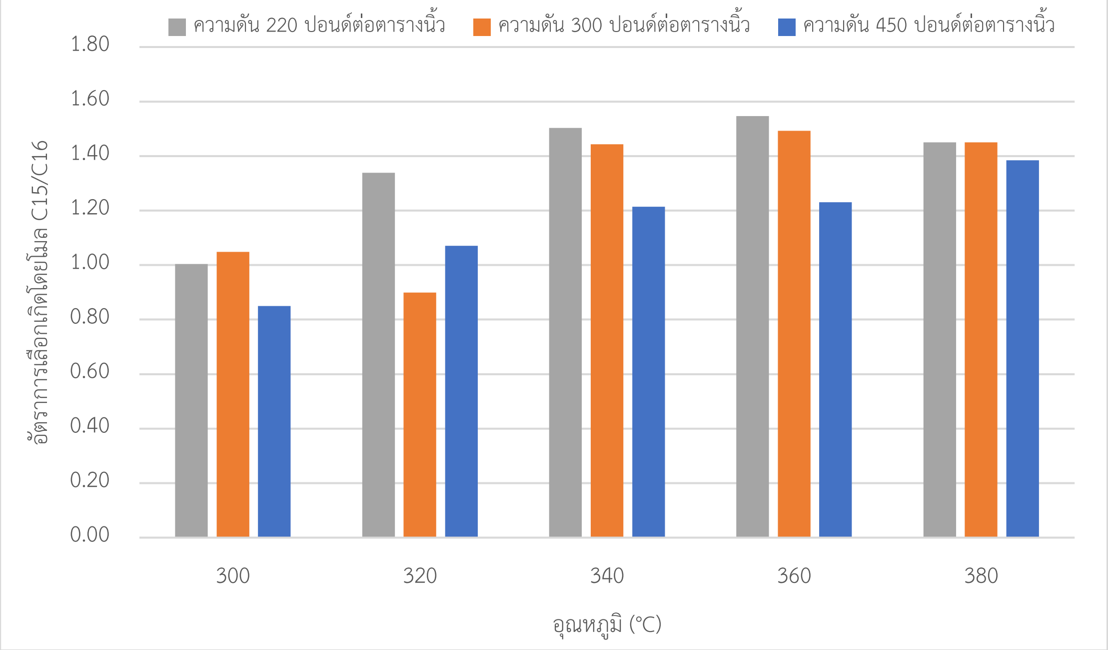
รูปที่ 4.33 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้เพิ่มมากขึ้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.33 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นของทุกสภาวะที่มีอุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย T. Satrawaha (2018) [7] ที่ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นขึ้น เมื่อความดันเพิ่มขึ้น

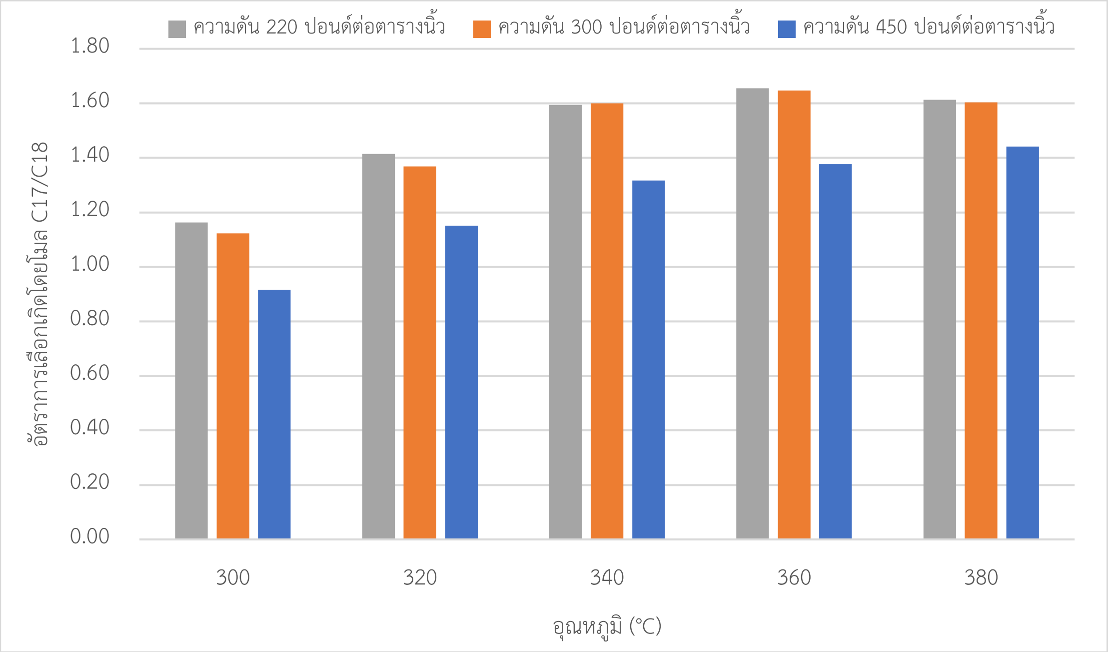
4.3.2.5 สารประกอบนอร์มอลพาราฟิน



รูปที่ 4.34 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.35 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม



รูปที่ 4.36 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบนอร์มอลพาราฟิน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันส่งผลไม่แน่ชัดต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.34 และไม่ส่งผลต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่อุณหภูมิมากกว่า 360 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ สามารถเกิดได้สมบูรณ์ นอกจากนี้หากพิจารณาปริมาณน้ำร่วมกับอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่และเลขคู่ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.35 และ 4.36 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าต่ำลง เมื่อความดันที่ใช้ในการทดลองสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้แย่ลง ในขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่มีค่าลดลง ประกอบกับปริมาณน้ำที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการเพิ่มความดันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ไม่ชัดเจน หากพิจารณาตั้งแต่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพบว่าที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเหลือน้อยที่สุด แต่มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลือมากที่สุด และมีปริมาณกรดไขมันอิสระใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากความดันอื่น ๆ พบว่าปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้

ยากกับไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว นอกจากนี้ความดันส่งผลต่อการเลือกเกิดของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อความดันลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนที่สามารถละลายเข้าไปในของเหลวมีค่าลดลงเมื่อความดันลดลง ทำให้ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่มีความต้องการใช้ไฮโดรเจนน้อยกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ลดลง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีที่ความดันต่ำ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความดันส่งผลต่อปริมาณไฮโดรเจนที่สามารถละลายเข้าไปในสารตั้งต้น ทำให้ปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนเกิดได้ดีขึ้น เมื่อความดัน ในช่วงอุณหภูมิที่ปฏิกิริยายังเกิดได้ไม่สมบูรณ์คือที่ 300 320 340 และ 360 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีค่า 380 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้สมบูรณ์ การเพิ่มความดันส่งผลต่อเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เมื่อความดันต่ำ ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเลือกเกิดโดยโมลของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่เพิ่มขึ้น ดังนั้นความดันที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดคือ 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม ณ สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส และความดัน 220 300 และ 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจากผลิตภัณฑ์ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว ด้วยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
*ผลการทดลองที่ไม่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และผลการทดลองที่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำ (%wt)	4.6 (2.4)	6 (4.5)	8.8 (5.6)	7.7 (6.4)	7.1 (6.3)
pH ของน้ำ	5 (5)	5 (5)	6 (6)	6 (6)	6 (6)
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน					
C15 (%wt.)	5.6 (4.7)	8.5 (11.4)	15.1 (16.8)	16.4 (21.3)	17.3 (20.8)
C16 (%wt.)	10.2 (5)	15.1 (9.1)	21.1 (11.9)	19.9 (14.7)	18.6 (15.3)
C17 (%wt.)	10.1 (8)	15.3 (18.1)	27.3 (26.9)	28.2 (33.7)	29 (32.1)
C18 (%wt.)	16 (7.3)	23.8 (13.5)	32 (17.8)	30.5 (21.5)	27.8 (21.1)
ผลได้ (%Yield)	34.6 (22.4)	56.6 (44.8)	78.1 (60.7)	77.4 (72.9)	79.2 (71.6)
ความหนาแน่น (g/ml)	0.82 (0.84)	0.8 (0.81)	0.77 (0.78)	0.77 (0.76)	0.77 (0.76)
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล					
C15/C16	0.58 (1)	0.6 (1.34)	0.76 (1.5)	0.88 (1.55)	0.99 (1.45)
C17/C18	0.67 (1.16)	0.68 (1.41)	0.91 (1.59)	0.98 (1.66)	1.11 (1.61)
ปริมาณสารตั้งต้น (%wt.)					
กรดไขมันอิสระ	4.45 (5.26)	3.22 (5.13)	0.06 (1.63)	0.03 (0.13)	0.03 (0.05)
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	16.2 (53)	13.5 (30.2)	0 (16.2)	0 (1.6)	0 (0)
โมโนกลีเซอไรด์	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ไดกลีเซอไรด์	4.2 (4.6)	3 (1.4)	0 (1.1)	0 (0)	0 (0)
ไตรกลีเซอไรด์	42 (41.6)	25.8 (23.1)	0 (12.2)	0 (1.4)	0 (0)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว *ผลการทดลองที่ไม่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และผลการทดลองที่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำ (%wt)	5.5 (3.4)	8 (3.8)	8.8 (6.2)	8.2 (6.8)	8 (7)
pH ของน้ำ	5 (5)	5 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน					
C15 (%wt.)	6.9 (6.9)	12.1 (7.8)	14.9 (18.3)	16.1 (21.2)	16.6 (20.8)
C16 (%wt.)	12.3 (7)	20.5 (9.2)	21.8 (13.5)	21.1 (15.2)	20.5 (15.3)
C17 (%wt.)	12.2 (11.1)	21.4 (17.9)	26.6 (29.7)	28 (33.5)	28.3 (32)
C18 (%wt.)	18.4 (10.5)	31.3 (13.8)	33.2 (19.6)	32 (21.5)	30.3 (21.1)
ผลได้ (%Yield)	41 (31.6)	74.3 (42.1)	79.1 (66.3)	79.5 (73.3)	79.2 (71.7)
ความหนาแน่น (g/ml)	0.81 (0.83)	0.77 (0.81)	0.77 (0.78)	0.77 (0.76)	0.77 (0.77)
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล					
C15/C16	0.6 (1.05)	0.63 (0.9)	0.73 (1.44)	0.81 (1.49)	0.86 (1.45)
C17/C18	0.7 (1.12)	0.72 (1.37)	0.85 (1.6)	0.93 (1.65)	0.99 (1.6)
ปริมาณสารตั้งต้น (%wt.)					
กรดไขมันอิสระ	5.22 (4.92)	1.98 (3.64)	0.04 (1.31)	0.05 (0.05)	0.03 (0.05)
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	11 (44.4)	3.6 (29.2)	0 (15.5)	0 (0.5)	0 (0)
โมโนกลีเซอไรด์	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ไดกลีเซอไรด์	3.6 (4.3)	1.2 (2.7)	0 (0.9)	0 (0)	0 (0)
ไตรกลีเซอไรด์	33.7 (39.9)	8.5 (27.3)	0 (8.5)	0 (0)	0 (0)

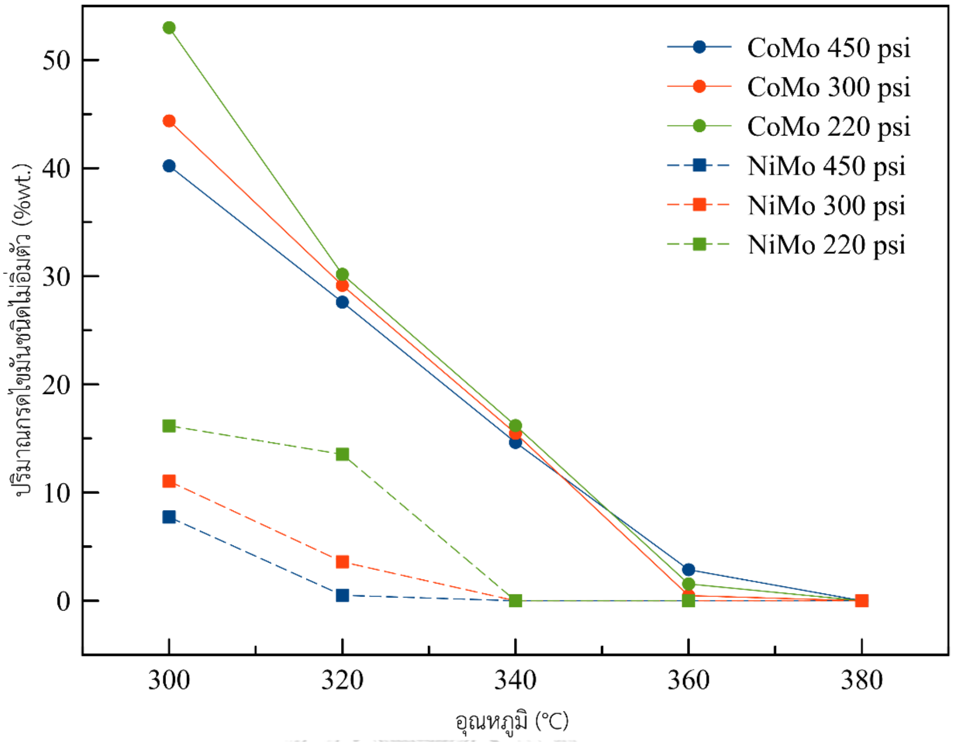
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว *ผลการทดลองที่ไม่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และผลการทดลองที่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณน้ำ (%wt)	6.9 (2.5)	9.6 (4.2)	9.4 (6.3)	8.7 (7.6)	8.6 (7.7)
pH ของน้ำ	5 (5)	5 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน					
C15 (%wt.)	8.7 (5.6)	12.4 (9.4)	13 (15.6)	15.3 (19.6)	15.7 (21.2)
C16 (%wt.)	16.9 (7)	24.3 (9.4)	23.7 (13.7)	21.4 (17)	22 (16.3)
C17 (%wt.)	15.5 (9.2)	21.9 (15.3)	23.2 (25.3)	27.6 (32)	28.1 (32.5)
C18 (%wt.)	27 (10.6)	37.7 (14.1)	36.8 (20.3)	32.5 (24.6)	31.6 (23.8)
ผลได้ (%Yield)	57.9 (29.2)	79.3 (41.9)	78.9 (62.3)	78.7 (75.2)	79.1 (74.3)
ความหนาแน่น (g/ml)	0.79 (0.83)	0.77 (0.81)	0.77 (0.79)	0.77 (0.77)	0.76 (0.77)
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล					
C15/C16	0.55 (0.85)	0.55 (1.07)	0.58 (1.21)	0.76 (1.23)	0.76 (1.38)
C17/C18	0.61 (0.92)	0.62 (1.15)	0.67 (1.32)	0.9 (1.38)	0.94 (1.44)
ปริมาณสารตั้งต้น (%wt.)					
กรดไขมันอิสระ	4.12 (5.13)	0.25 (4.75)	0.04 (1.18)	0.03 (0.22)	0.04 (0.03)
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	7.7 (40.2)	0.5 (27.6)	0 (14.6)	0 (2.9)	0 (0)
โมโนกลีเซอไรด์	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ไดกลีเซอไรด์	1.5 (6.5)	0 (3.7)	0 (2.8)	0 (0.1)	0 (0)
ไตรกลีเซอไรด์	16.6 (55.1)	0.1 (29.3)	0 (13.3)	0 (1.6)	0 (0)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.1 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

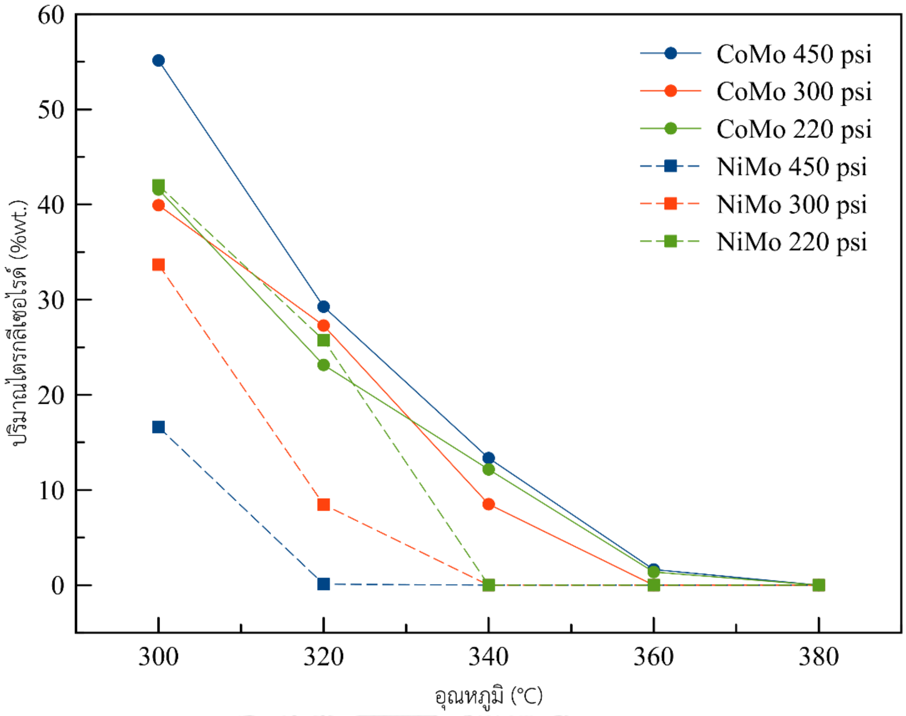


รูปที่ 4.37 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

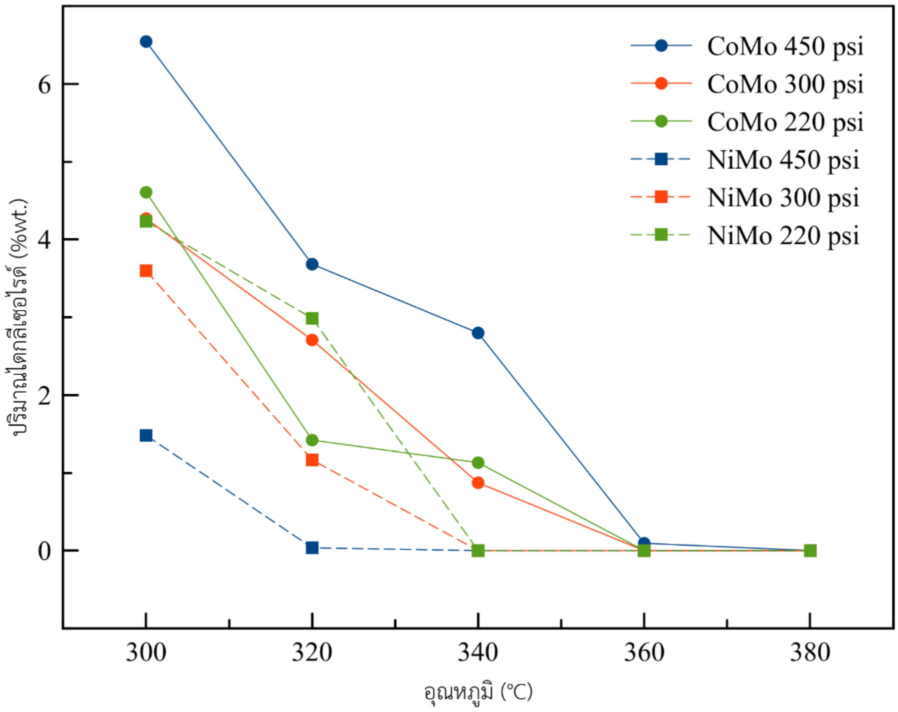
ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันสามารถสังเกตุได้จากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวดังที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม เนื่องจากปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจากผลการวิเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีค่าต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมในทุกสภาวะการดำเนินการ นอกจากนี้อุณหภูมิที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเกิดได้สมบูรณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมยังต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเกิดได้สมบูรณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมคือ 340 และ 380 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.2 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาแครกกิ้ง



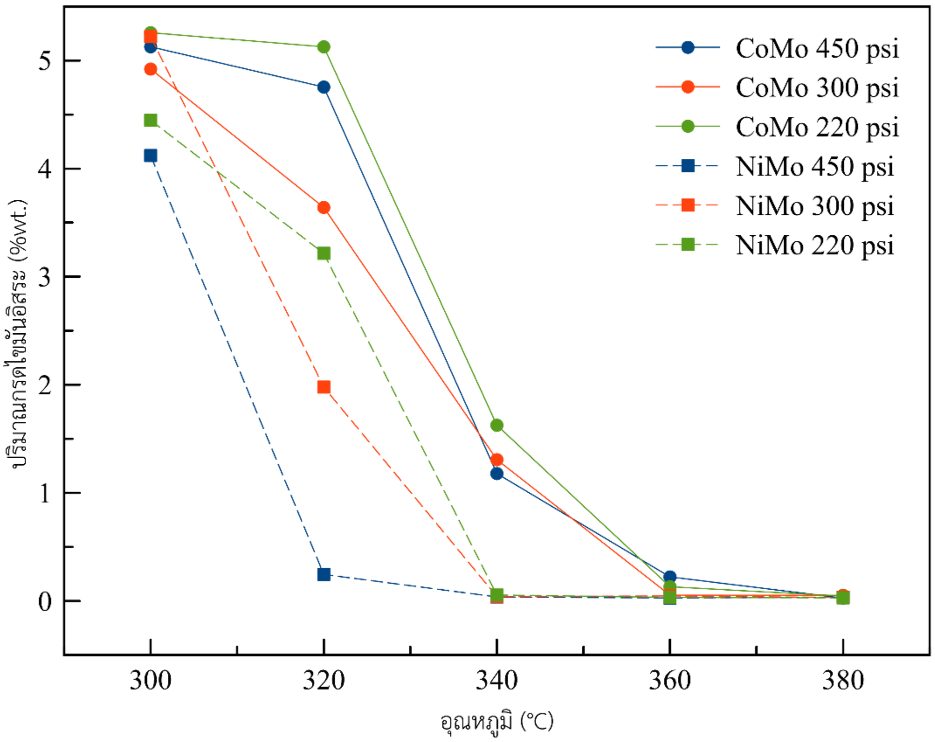
รูปที่ 4.38 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์



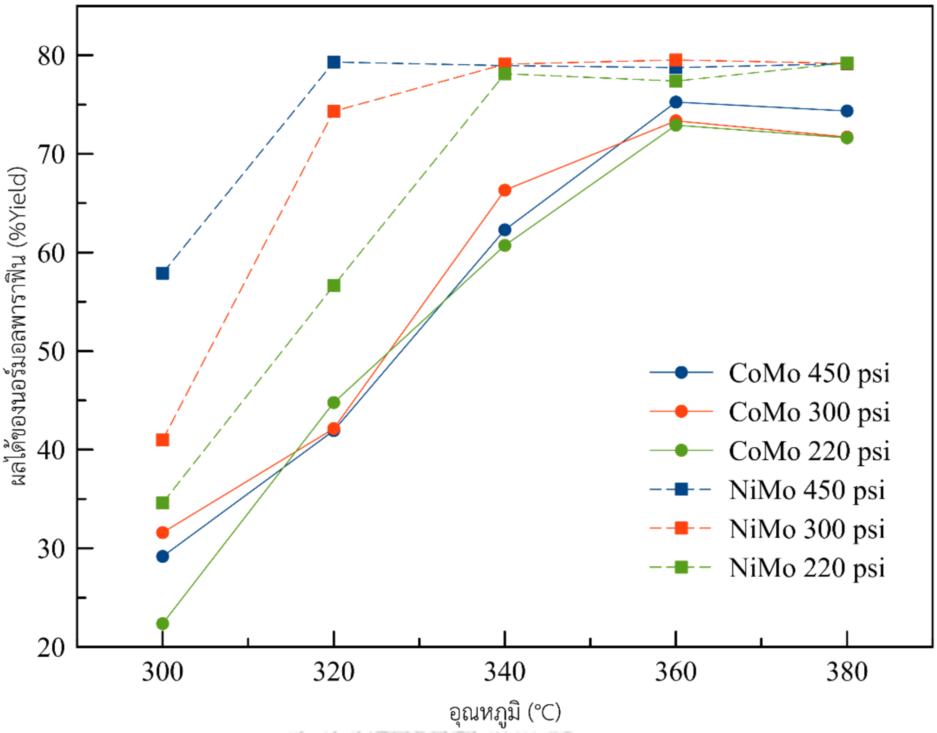
รูปที่ 4.39 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไดกลีเซอไรด์

ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาแครกกิ้งสามารถสังเกตุได้จากปริมาณไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ดังที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.38 และ 4.39 ซึ่งในส่วนของโมโนกลีเซอไรด์ไม่พบในทุกสภาวะการดำเนินการ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถเร่งปฏิกิริยาแครกกิ้งได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม เนื่องจากอุณหภูมิที่ทำให้ปฏิกิริยาแครกกิ้งเกิดได้สมบูรณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ซึ่งคืออุณหภูมิที่ทำให้ไม่พบไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมคือ 340 และ 380 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

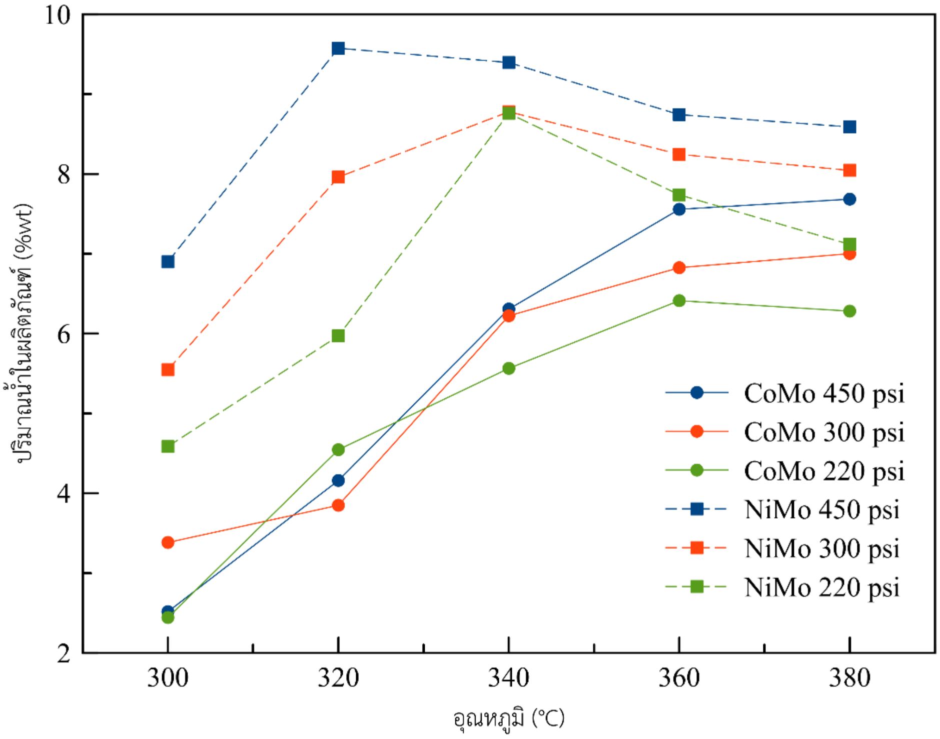
4.4.3 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน



รูปที่ 4.40 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ



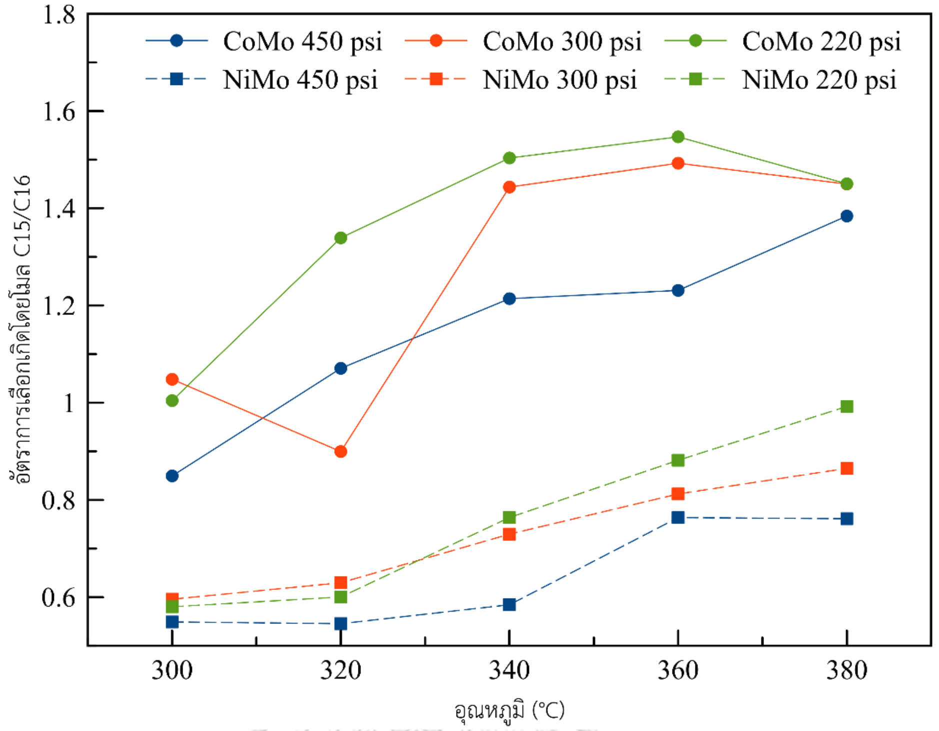
รูปที่ 4.41 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน



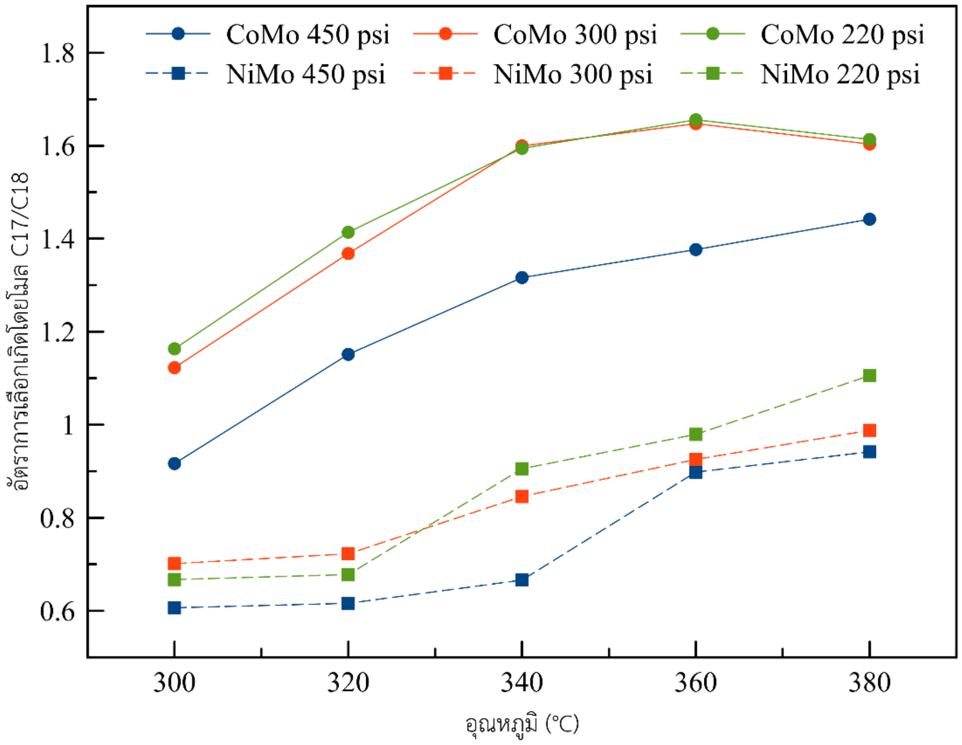
รูปที่ 4.42 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อต่อปริมาณน้ำ

ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันสามารถสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.40 ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.41 และปริมาณน้ำดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีความสามารถในการเร่งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันให้เกิดได้สมบูรณ์มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม โดยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 340 องศาเซลเซียส สังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระ และผลได้ของนอร์มอลพาราฟินเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันอิสระถูกเปลี่ยนเป็นนอร์มอลพาราฟินได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ปริมาณน้ำยังมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส แสดงว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้สมบูรณ์ และปริมาณน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 340 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้มากกว่า และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 380 องศาเซลเซียส สังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มมีค่าต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส และผลได้ของนอร์มอลพาราฟินมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน แต่ปริมาณน้ำมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่ลดลงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของนอร์มอลพาราฟินเป็นไอโซพาราฟินโดยปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ดังงานวิจัยของ M. Krar และคณะ (2010) [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยใช้โคบอลต์โมลิบดีนัม บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการศึกษาแสดงให้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ไอโซพาราฟินมีปริมาณเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.43 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16



รูปที่ 4.44 ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18

ในส่วนของการเลือกเกิดเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันสามารถสังเกตได้จากอัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.43 และอัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีความสามารถในการเร่งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมมีความสามารถในการเร่งเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมให้อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 และ C17/C18 สูงสุดที่ 0.99 และ 1.11 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบให้อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 และ C17/C18 สูงสุดที่ 1.55 และ 1.66 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Haiping Zhang และคณะ (2014) [31] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันของนำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมที่ไม่มีตัวรองรับ และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมที่ไม่มีตัวรองรับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมให้อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18 สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม เนื่องจากมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเป็นการจับที่พันธะคู่ของคาร์บอนอะตอมและออกซิเจนอะตอมทำให้ปฏิกิริยาเลือกเกิดไปในทางปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นการจับที่พันธะเดียวระหว่างคาร์บอนอะตอมและคาร์บอนอะตอมทำให้ปฏิกิริยาเลือกเกิดไปในทางปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่มีการเสียคาร์บอนอะตอม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีความสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่ 340 องศาเซลเซียส และมีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 380 องศาเซลเซียส ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่ร้อยละ 79.22 โดยมวลและมีอัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 และ C17/C18 สูงสุดที่ 0.99 และ 1.11 ตามลำดับ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมนั้นมีความสามารถเร่งปฏิกิริยาปฏิกิริยาดีคาร์บอนนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่ 380 องศาเซลเซียส และมีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 360 องศาเซลเซียส ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งให้ผลได้ของนอร์มอลพาราฟินที่ร้อยละ 72.91 โดยมวลและมีอัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16 และ C17/C18 สูงสุดที่ 1.55 และ 1.66 ตามลำดับ

ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อให้ได้ปริมาณของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด

ตารางที่ 4.11 แสดงสภาวะของการทดลองที่ให้นอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม

รายการ	ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม	ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม
อุณหภูมิ (°C)	380	360
ความดัน (psi)	220	220
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	7.12	6.41
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินทั้งหมด (%wt.)	92.66	91.21
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	17.28	21.28
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	18.56	14.67
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	29.03	33.71
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	27.79	21.55
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.99	1.55
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	1.11	1.66
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	79.22	72.91
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน C15 (%Yield)	14.77	17.01
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน C16 (%Yield)	15.87	11.72
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน C17 (%Yield)	24.82	26.95
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน C18 (%Yield)	23.76	17.23
ความหนาแน่น (g/ml)	0.77	0.76
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	0.03	0.13
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	0.00	1.56
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	1.38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อให้สัดส่วนของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่สูงขึ้น โดยใช้นิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งขอน้ำมันปาล์มโอเลอินมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั้งหมด 5 ปฏิกิริยา ประกอบไปด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแคร๊กกิ้ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน
2. ผลกระทบของอุณหภูมิพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาทั้ง 5 เกิดไปข้างหน้าได้มากขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง
   - 2.1. ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่ 340 องศาเซลเซียส และให้อัตราการเลือกเกิดนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่มากที่สุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส
   - 2.2. ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมมีอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ที่ 380 องศาเซลเซียส และให้อัตราการเลือกเกิดนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่มากที่สุดที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส
3. ผลกระทบของความดันพบว่าการเพิ่มความดันทำให้ปฏิกิริยาทั้ง 5 เกิดไปข้างหน้าได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิไม่สูงมากพอให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดได้สมบูรณ์ นอกจากนี้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้ดีที่ความดันต่ำ
   - 3.1. ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมให้อัตราการเลือกเกิดนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่มากที่สุดที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
   - 3.2. ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมให้อัตราการเลือกเกิดนอร์มอลพาราฟินคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่มากที่สุดที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
4. ตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีความสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมมีความสามารถเร่งปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมเหมาะสมในการกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อให้ได้ปริมาณของนอร์มอลพาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่ในผลิตภัณฑ์มาก โดยมีสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดคือ 360 องศาเซลเซียส ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. J. Gusmão, et al., *Utilization of vegetable oils as an alternative source for diesel-type fuel: hydrocracking on reduced Ni/SiO2 and sulphided Ni-Mo/γ-Al2O3.* Catalysis Today, 1989. **5**(4): p. 533-544.
2. P. Charoenwomg, *Hydrotreating of palm olein, palm stearin and palm fatty acid distillate using Nickel Molybdenum catalyst*, in *Chemical Engineering*. 2010, Chulalongkorn University.
3. P. Jirasavetakul, *Hydrodeoxygenation of palm olein using nickel molybdenum and cobalt molybdenum catalysts*, in *Chemical Engineering*. 2010, Chulalongkorn University.
4. N. Jaokaenkaew, *Hydrodeoxygenation of palm kernel oil using nickel molybdenum catalyst*, in *Chemical Engineering*. 2011, Chulalongkorn University.
5. B. Veriansyah, et al., *Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts.* Fuel, 2012. **94**: p. 578-585.
6. N. Sodsai, *Hydrotreating reaction of palm fatty aicd distillate, palm olein and palm biodiesel using nickel molybdenum catalyst for phase change material production*, in *Chemical Engineering*. 2018, Chulalongkorn University.
7. T. Satrawaha, *Hydrotreating of palm fatty acid distillate using nickel molybdenum cobalt molybdenum and nickel tungsten catalysts*, in *Chemical Engineering*. 2018, Chulalongkorn University.
8. J.G. Speight, *The Chemistry and Technology of Petroleum, 5th Edition*. 2014: CRC Press. 953.
9. J.G. Speight, *Chapter 2 - Refining Processes*, in *The Refinery of the Future*, J.G. Speight, Editor. 2011, William Andrew Publishing: Boston. p. 39-80.
10. J. H. Gary and G. E. Handwerk, *Petroleum Refining : Technology and Economics / J.H. Gary, G.E. Handwerk.* 2001.
11. P.R. Robinson and G.E. Dolbear, *Practical advances in petroleum processing*. 2006, Springer: New York, NY. p. 177-218.
12. I. Mochida and K.-H. Choi, *An Overview of Hydrodesulfurization and*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hydrodenitrogenation. Journal of The Japan Petroleum Institute - J JPN PET INST, 2004. **47**: p. 145-163.

13. J.G. Speight, *Desulfurization of heavy oils and residua*. 1981, United States: Marcel Dekker, Inc.,New York, NY.
14. P. Grange and X. Vanhaeren, *Hydrotreating catalysts, an old story with new challenges.* Catalysis Today, 1997. **36**(4): p. 375-391.
15. M. Zdražil, *Recent advances in catalysis over sulphides.* Catalysis Today, 1988. **3**(4): p. 269-365.
16. S.P. Ahuja, M.L. Derrien, and J.F. Le Page, *Activity and Selectivity of Hydrotreating Catalysts.* Product R&D, 1970. **9**(3): p. 272-281.
17. M. Absi-Halabi, A. Stanislaus, and K. Al-Dolama, *Performance comparison of alumina-supported Ni-Mo, Ni-W and Ni-Mo-W catalysis in hydrotreating vacuum residue.* Fuel, 1998. **77**(7): p. 787-790.
18. R. Wandas and T. Chrapek, *Hydrotreating of middle distillates from destructive petroleum processing over high-activity catalysts to reduce nitrogen and improve the quality.* Fuel Processing Technology, 2004. **85**(11): p. 1333-1343.
19. R. Tiwari, et al., *Hydrotreating and hydrocracking catalysts for processing of waste soya-oil and refinery-oil mixtures.* Catalysis Communications, 2011. **12**(6): p. 559-562.
20. D. Kubička and L. Kaluža, *Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts.* Applied Catalysis A: General, 2010. **372**(2): p. 199-208.
21. J. Mikulec, et al., *Second generation diesel fuel from renewable sources.* Journal of Cleaner Production, 2010. **18**(9): p. 917-926.
22. N. Asikin-Mijan, et al., *Production of green diesel via cleaner catalytic deoxygenation of Jatropha curcas oil.* Journal of Cleaner Production, 2017. **167**: p. 1048-1059.
23. V. Itthibenchapong, et al., *Deoxygenation of palm kernel oil to jet fuel-like hydrocarbons using Ni-MoS2/γ-Al2O3 catalysts.* Energy Conversion and Management, 2017. **134**: p. 188-196.
24. P. Šimáček, et al., *Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

based biodiesel. Fuel, 2009. **88**(3): p. 456-460.

25. A. Guzman, et al., *Hydroprocessing of crude palm oil at pilot plant scale.* Catalysis Today, 2010. **156**(1-2): p. 38-43.
26. M. Krar, et al., *Fuel purpose hydrotreating of sunflower oil on CoMo/Al2O3 catalyst.* Bioresour Technol, 2010. **101**(23): p. 9287-93.
27. M. Toba, et al., *Hydrodeoxygenation of waste vegetable oil over sulfide catalysts.* Catalysis Today, 2011. **164**(1): p. 533-537.
28. S. Kovács, et al., *Fuel production by hydrotreating of triglycerides on NiMo/Al2O3/F catalyst.* Chemical Engineering Journal, 2011. **176-177**: p. 237-243.
29. J. Hancsók, et al., *Production of bioparaffins by the catalytic hydrogenation of natural triglycerides.* Journal of Cleaner Production, 2012. **34**: p. 76-81.
30. Y. Yang, et al., *Hydrotreating of C18 fatty acids to hydrocarbons on sulphided NiW/SiO2–Al2O3.* Fuel Processing Technology, 2013. **116**: p. 165-174.
31. H. Zhang, H. Lin, and Y. Zheng, *The role of cobalt and nickel in deoxygenation of vegetable oils.* Applied Catalysis B: Environmental, 2014. **160-161**: p. 415-422.
32. J. Horáček, et al., *HDO catalysts for triglycerides conversion into pyrolysis and isomerization feedstock.* Fuel, 2014. **121**: p. 57-64.
33. B. Yoosuk, et al., *Hydrodeoxygenation of oleic acid and palmitic acid to hydrocarbon-like biofuel over unsupported Ni-Mo and Co-Mo sulfide catalysts.* Renewable Energy, 2019. **139**: p. 1391-1399.
34. I. Rukunudin, et al., *A modified method for determining free fatty acids from small soybean sample sizes.* Journal of the American Oil Chemists' Society, 1998. **75**: p. 563-568.
35. K. Charoensedtasin, *Effect of Ni and Mo contents on catalyst on hydrodeoxygenation reaction of palm kernel oil*, in *Chemical Engineering*. 2020, Chulalongkorn University.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ตารางที่ ก - 1 ผลการทดลองที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	162.5	160.28	161.77	161.34	160.88
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	140.51	154.14	144.96	142.29	148.09
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	6.44	9.20	12.70	11.01	10.54
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	4.59	5.97	8.76	7.74	7.12
pH ของน้ำ	4.50	5.00	5.85	6.06	6.00
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	134.07	144.94	132.27	131.28	137.55
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	41.93	62.63	95.54	95.10	92.66
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	5.56	8.48	15.12	16.45	17.28
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	10.21	15.05	21.11	19.89	18.56
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	10.12	15.27	27.35	28.24	29.03
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	16.05	23.84	31.97	30.52	27.79
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.58	0.60	0.76	0.88	0.99
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.67	0.68	0.91	0.98	1.11
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	34.59	56.64	78.12	77.38	79.22
ความหนาแน่น (g/ml)	0.817	0.795	0.765	0.766	0.767
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.45	3.22	0.06	0.03	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	16.18	13.54	0.00	0.00	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.23	2.99	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	42.01	25.75	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก - 2 ผลการทดลองที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	162.24	161.02	162.15	160.98	161.71
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	141.40	152.39	145.78	143.63	145.33
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	7.84	12.13	12.80	11.84	11.69
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	5.55	7.96	8.78	8.25	8.04
pH ของน้ำ	4.83	5.13	5.75	5.92	6.00
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	133.56	140.26	132.98	131.79	133.64
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	49.79	85.32	96.44	97.13	95.80
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	6.85	12.10	14.89	16.06	16.63
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	12.26	20.49	21.76	21.08	20.50
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	12.23	21.39	26.56	27.98	28.33
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	18.45	31.34	33.23	32.00	30.34
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.60	0.63	0.73	0.81	0.86
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.70	0.72	0.85	0.93	0.99
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	40.99	74.32	79.09	79.52	79.17
ความหนาแน่น (g/ml)	0.805	0.770	0.765	0.765	0.766
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.22	1.98	0.04	0.05	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	11.05	3.60	0.00	0.00	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	3.60	1.17	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	33.68	8.47	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก - 3 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	162.24	162.60	161.21	161.42	161.72
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	149.20	148.07	145.23	143.82	143.62
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	11.19	14.18	13.64	12.57	12.34
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	6.90	9.57	9.40	8.74	8.59
pH ของน้ำ	4.50	6.00	5.97	6.00	5.75
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	138.01	133.89	131.59	131.25	131.29
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	68.06	96.31	96.72	96.85	97.49
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	8.68	12.42	13.00	15.32	15.73
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	16.86	24.27	23.72	21.39	22.02
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	15.49	21.94	23.18	27.60	28.13
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	27.03	37.69	36.82	32.53	31.61
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.55	0.55	0.58	0.76	0.76
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.61	0.62	0.67	0.90	0.94
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	57.90	79.31	78.95	78.74	79.14
ความหนาแน่น (g/ml)	0.790	0.768	0.765	0.766	0.764
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.12	0.25	0.04	0.03	0.04
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	7.73	0.51	0.00	0	0
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	1.48	0.04	0.00	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	16.61	0.10	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ตารางที่ ข - 1 ผลการทดลองที่ความดัน 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	165.55	163.87	162.31	160.98	163.26
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	151.58	147.55	142.04	137.49	139.78
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	3.70	6.71	7.90	8.82	8.78
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	2.44	4.55	5.56	6.41	6.28
pH ของน้ำ	4.7	4.7	5.7	5.9	6.0
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	147.88	140.84	134.13	128.67	131.00
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	25.03	52.10	73.47	91.21	89.26
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	4.75	11.43	16.84	21.28	20.81
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	5.04	9.10	11.94	14.67	15.30
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	7.98	18.06	26.86	33.71	32.10
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	7.26	13.52	17.83	21.55	21.06
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	1.00	1.34	1.50	1.55	1.45
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	1.16	1.41	1.59	1.66	1.61
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	22.36	44.78	60.71	72.91	71.62
ความหนาแน่น (g/ml)	0.843	0.810	0.785	0.762	0.762
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.26	5.13	1.63	0.13	0.05
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	52.98	30.18	16.20	1.56	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.61	1.42	1.13	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	41.57	23.14	12.16	1.38	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข - 2 ผลการทดลองที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	161.28	161.98	161.95	162.18	161.63
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	148.76	145.75	141.04	139.72	139.65
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	5.03	5.61	8.78	9.54	9.78
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	3.38	3.85	6.22	6.83	7.00
pH ของน้ำ	4.8	5.5	5.7	5.8	5.9
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	143.73	140.14	132.26	130.18	129.87
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	35.45	48.71	81.20	91.37	89.24
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	6.86	7.80	18.33	21.22	20.79
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	6.97	9.25	13.53	15.15	15.29
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	11.13	17.85	29.69	33.48	32.03
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	10.49	13.81	19.65	21.51	21.14
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	1.05	0.90	1.44	1.49	1.45
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	1.12	1.37	1.60	1.65	1.60
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	31.59	42.14	66.32	73.35	71.70
ความหนาแน่น (g/ml)	0.834	0.806	0.776	0.764	0.766
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	4.92	3.64	1.31	0.05	0.05
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	44.37	29.16	15.48	0.48	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	4.27	2.71	0.87	0.00	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	39.92	27.28	8.51	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข - 3 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รายการ	อุณหภูมิ (°C)				
	300	320	340	360	380
ปริมาณสารตั้งต้น (Gram)	161.60	161.30	162.49	162.28	160.19
ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Gram)	149.33	146.49	143.98	141.64	137.39
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ (Gram)	4.07	6.09	9.08	10.70	10.56
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (%wt)	2.52	4.16	6.31	7.56	7.68
pH ของน้ำ	5.2	5.0	5.7	5.9	6.0
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน (Gram)	145.27	140.39	134.90	130.94	126.83
ปริมาณนอร์มอลพาราฟินรวม (%wt.)	32.46	48.18	75.03	93.25	93.90
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C15 (%wt.)	5.61	9.43	15.65	19.64	21.22
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C16 (%wt.)	7.04	9.38	13.74	17.01	16.35
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C17 (%wt.)	9.20	15.30	25.30	32.00	32.49
ปริมาณนอร์มอลพาราฟิน C18 (%wt.)	10.62	14.07	20.34	24.60	23.84
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C15/C16	0.85	1.07	1.21	1.23	1.38
อัตราการเลือกเกิดโดยโมล C17/C18	0.92	1.15	1.32	1.38	1.44
ผลได้ของนอร์มอลพาราฟิน (%Yield)	29.18	41.94	62.29	75.24	74.35
ความหนาแน่น (g/ml)	0.833	0.807	0.785	0.766	0.767
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt.)	5.13	4.75	1.18	0.22	0.03
ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%wt.)	40.20	27.61	14.64	2.87	0.00
โมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
ไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	6.55	3.68	2.80	0.09	0.00
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	55.13	29.26	13.35	1.64	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนน ศรีชัยวรนาถ
วัน เดือน ปี เกิด	3 มิถุนายน 2539
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	1852 ถ.ประชาสงเคราะห์ ดินแดง กรุงเทพฯ 10400

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY