

ปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และ ปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม เพื่อการผลิตสารเปลี่ยนสถานะ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Hydrotreating Reaction of Palm Fatty Acid Distillate, Palm Olein and Palm Biodiesel using Nickel Molybdenum catalyst for Phase Change Material Production



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 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์ม โอเลอิน และ ปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัม เพื่อการผลิตสารเปลี่ยนสถานะ
โดย	นายณัฐพงศ์ สดใส
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.เจตศักดิ์ ไชยคุนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ สุทธิธารวัช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.เจตศักดิ์ ไชยคุนา)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพิทักษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.แคทลียา ปัทมพรหม)

ณัฐพงศ์ สดใส : ปฏิกริยาไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และ ปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยานิกเกิลโมลิบดีนัม เพื่อการผลิตสารเปลี่ยนสถานะ. (

Hydrotreating Reaction of Palm Fatty Acid Distillate, Palm Olein and Palm Biodiesel using Nickel Molybdenum catalyst for Phase Change Material Production) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุณา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และ ปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยานิกเกิลโมลิบดีนัม เพื่อการผลิตสารเปลี่ยนสถานะ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300, 320, 340, 360 และ 380 องศาเซลเซียส ความดัน 450, 750 และ 1,050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดมีการเกิดปฏิกริยาที่ใกล้เคียงกันและให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกริยาคาร์บอกซิเลชันที่เป็นปฏิกริยาข้างเคียงได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งสวนทางกับความดันที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกริยาไฮโดรต้ออกซิเจเนชันได้มากขึ้น ในส่วนของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันยังส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบอัลเคนและสภาวะในการทำปฏิกริยาที่เหมาะสมต่างกันอีกด้วย โดยกรดไขมันปาล์มกลั่นเหมาะสมในการผลิตสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มากที่สุด ในทางกลับกันน้ำมันปาล์มโอเลอินเหมาะสมในการผลิตสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่มากที่สุด และนอกจากนี้ปาล์มไบโอดีเซลสามารถเกิดปฏิกริยาได้ดี ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าสารตั้งต้นอีกทั้ง 2 ชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5870399021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: Palm Fatty Acid Distillate, Palm Olein, Palm Biodiesel, Hydrotreating

Nuttapong

Sodsai

:

Hydrotreating Reaction of Palm Fatty Acid Distillate, Palm Olein and Palm Biodiesel using Nickel Molybdenum catalyst for Phase Change Material Production. Advisor: Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.

The research of this study is to investigate Hydrotreating reaction of Palm Fatty Acid Distillate, Palm Olein and Palm Biodiesel using Nickel Molybdenum catalyst for Phase Change Material (PCM) production. The experiments were conducted in fixed bed continues-flow reactor at temperatures of 300, 320, 340, 360 and 380 °C. Pressures were varied at 450, 750 and 1,050 psi. The experimental results demonstrated that all 3 types of reactants have a similar reaction and produce the products that consist of alkane 15 to 18 carbon atom. On the one hand, an increasing temperature resulted in the increasing of decarboxylation reaction of 3 reactants. On the other hand, the increased pressure lead to the increasing of Hydrodeoxygenation reaction. In addition, Different reactants are the cause of different product's compositions and reaction conditions. Palm Fatty Acid Distillate is the most suitable for the even number of carbon atom contrast with Palm olein that suitable for the odd number of a carbon atom. Moreover, the reaction of Palm biodiesel occurred well at a lower temperature than other 2 reactants.

Field of Study: Chemical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เจตศักดิ์ ไชยคุนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ และความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารชวีช ประธานกรรมการในการสอบ วิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพิฤกษ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.แคทลียา ปัทมพรหม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดจนให้ คำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ และรุ่นน้อง สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัยให้ สำเร็จได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและให้ การสนับสนุนที่ดีตลอดมาจนจบการศึกษา

ณัฐพงศ์ สดใส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.....	1
1.2 ชนิดของสารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material).....	2
1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง.....	7
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง.....	9
2.3 ลักษณะและประโยชน์ทางการใช้งานของพอลิเมอร์น้ำมัน.....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.5 ข้อเสนอจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง.....	14
บทที่ 3 การทดลอง.....	16
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	16
3.2 วิธีการซัลไฟด์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	17

3.3	สถานะการทดลอง	18
3.4	การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา	18
3.5	การวิเคราะห์ผล	19
3.6	การคำนวณ.....	21
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปราย	24
4.1	กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง	24
4.1.1	กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	24
4.1.2	กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น	29
4.1.3	กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของปาล์มไบโอดีเซล.....	31
4.2	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน	35
4.2.1	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน	35
4.2.2	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นกรดไขมันปาล์มกลั่น	40
4.2.3	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นไบโอดีเซล.....	45
4.3	ผลกระทบของความดันต่อสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน	49
4.3.1	ผลกระทบของความดันต่อสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน	49
4.3.2	ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้น.....	53
4.3.3	ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น	58
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	66
5.2	ข้อเสนอแนะ	67
	บรรณานุกรม.....	68
	ประวัติผู้เขียน.....	72

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการทดลอง	18
ตารางที่ 3.2 แสดงธาตุองค์ประกอบของของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม	19
ตารางที่ 3.3 สภาวะของคอลัมน์	21
ตารางที่ 4.1.4 แสดงองค์ประกอบของสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน	25
ตารางที่ 4.1.5 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันปาล์มกลั่น	29
ตารางที่ 4.1.6 แสดงองค์ประกอบของปาล์มไปโอดีเซล	32
ตารางที่ 4.2.7 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	36
ตารางที่ 4.2.8 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	36
ตารางที่ 4.2.9 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	37
ตารางที่ 4.2.10 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันปาล์มกลั่น	41
ตารางที่ 4.2.11 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันปาล์มกลั่น	42
ตารางที่ 4.2.12 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันปาล์มกลั่น	42
ตารางที่ 4.2.13 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไปโอดีเซล	45
ตารางที่ 4.2.14 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไปโอดีเซล	46
ตารางที่ 4.2.15 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไปโอดีเซล	46
ตารางที่ 4.2.16 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิเมื่อใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน	48
ตารางที่ 4.3.17 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	50
ตารางที่ 4.3.18 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	50
ตารางที่ 4.3.19 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	51
ตารางที่ 4.3.20 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	51
ตารางที่ 4.3.21 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	52

ตารางที่ 4.3.22 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น	54
ตารางที่ 4.3.23 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น	55
ตารางที่ 4.3.24 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น	55
ตารางที่ 4.3.25 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น	56
ตารางที่ 4.3.26 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น	56
ตารางที่ 4.3.27 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของปาล์มไปโอดีเซล.....	58
ตารางที่ 4.3.28 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของปาล์มไปโอดีเซล.....	59
ตารางที่ 4.3.29 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของปาล์มไปโอดีเซล.....	59
ตารางที่ 4.3.30 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของปาล์มไปโอดีเซล.....	60
ตารางที่ 4.3.31 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของปาล์มไปโอดีเซล.....	60
ตารางที่ 4.3.32 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบบของความดันเมื่อใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน	62
ตารางที่ 4.3.33 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน	63
ตารางที่ 4.3.34 แสดงค่าร้อยละปริมาณน้ำตามทฤษฎีของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน	64

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังระบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง.....	16
รูปที่ 4.1.2 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน	26
รูปที่ 4.1.3 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	26
รูปที่ 4.1.4 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติงของไตรกลีเซอไรด์.....	28
รูปที่ 4.1.5 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากกรดไขมันปาล์มกลั่น	30
รูปที่ 4.1.6 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของกรดโอเลอิก.....	31
รูปที่ 4.1.7 แสดงตัวอย่างปาล์มไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์จากปาล์มไบโอดีเซล	32
รูปที่ 4.1.8 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเมทิลไลโนเลเอต	33
รูปที่ 4.2.9 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 300 องศาเซลเซียส.....	37
รูปที่ 4.2.10 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากกรดไขมันปาล์มกลั่นที่ 300 องศาเซลเซียส.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material, PCM) คือสารที่มีพลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะสูง โดยจะมีความสามารถในการกักเก็บหรือดูดซับพลังงานความร้อนในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ เช่น การหลอมเหลวของสาร จะมีการดูดซับพลังงานความร้อนและเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะเรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยความร้อนแฝงนี้เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนสถานะของของเหลวและของแข็งเท่านั้น เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวและก๊าซไม่สามารถกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้ เพราะจำเป็นต้องใช้พลังงานหรือความดันสูงเพื่อให้คงสภาพอยู่ในสถานะก๊าซ จึงไม่ค่อยพบเห็นในทางปฏิบัติ

วัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็งและของเหลวนี้ เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะแล้ว จะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนจำนวนมาก โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจนวัสดุเปลี่ยนเป็นของเหลวทั้งหมด ซึ่งแตกต่างกับวัสดุเก็บความร้อนสัมผัส (Sensible Heat Storage) ที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อมีการดูดซับพลังงานความร้อน ในทางกลับกันวัสดุเปลี่ยนสถานะนี้เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลงจะมีการคายความร้อนแฝงออกและเปลี่ยนเป็นสถานะของแข็ง วัสดุเปลี่ยนสถานะโดยส่วนใหญ่จะมีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -5 ถึง 190 องศาเซลเซียส และสามารถเก็บความร้อนได้มากขึ้น 5 ถึง 14 เท่าต่อปริมาตรของหน่วยเทียบกับวัสดุจัดเก็บข้อมูลแบบเดิม เช่น น้ำ อีทิลหรือหิน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับมนุษย์จะอยู่ที่ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส [1]

การใช้งานของวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยทั่วไปคือ การควบคุมอุณหภูมิ เช่น ใช้ในการเก็บรักษาความเย็นในการขนส่ง ใช้เป็นสารเคมีทางการแพทย์เพื่อผลิตแผ่นเจลลดไข้ ใช้เป็นสารเพิ่มเติมในวัสดุก่อสร้างจำพวกอิฐก่อกำแพง เพื่อควบคุมอุณหภูมิในที่อยู่อาศัย และ นำไปใช้ในการทำแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเป็นตัวกลางในการจัดเก็บพลังงาน ซึ่งโดยส่วนมากจะอาศัยการถ่ายเทพลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะเพื่อควบคุมอุณหภูมิเป็นหลัก

1.2 ชนิดของสารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material)

วัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถจำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic), สารอนินทรีย์ (inorganic) สารยูเทคติก (eutectic) สารดูดความชื้น (Hygroscopic materials) และของแข็ง (Solid-Solid PCM) โดยแต่ละชนิดคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้

1.2.1 สารเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ (Organic) ตัวอย่างเช่น จำพวกพาราฟิน (C_nH_{2n+2}) โดยพาราฟินเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสูงที่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากการกลั่นน้ำมันดิบ มีลักษณะคล้ายแว็กซ์เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง พาราฟินจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ พาราฟินแบบโซ่ตรง (n-Paraffin) และ พาราฟินแบบโซ่กิ่ง (iso-Paraffin) โดยทั่วไปแล้วพาราฟินแบบโซ่กิ่งไม่เหมาะที่จะใช้เปลี่ยนสถานะ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ และมีแรงระหว่างโมเลกุลที่ต่ำกว่าแบบโซ่ตรง ดังนั้นจึงมุ่งเน้นศึกษาพาราฟินแบบโซ่ตรงเป็นหลัก เนื่องด้วยจุดหลอมเหลวของพาราฟินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนภายในโครงสร้าง โดยพาราฟินแบบโซ่ตรงนั้นจะมีแอลเคนที่มีคาร์บอนอะตอม 12-40 อะตอม ซึ่งส่งผลทำให้พาราฟินชนิดนี้มี แรงแวนเดอร์วาลส์สูง ความร้อนแฝงสูง และจุดหลอมเหลวที่สูงในช่วง 6 ถึง 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พาราฟินยังมีความสามารถในการเก็บรักษาความร้อนได้ดี และมีข้อได้เปรียบในด้านเสถียรภาพทางเคมีในช่วงความร้อน ไม่เป็นสนิม เข้ากันได้กับวัสดุทั่วไปทั้งหมด และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อวัสดุที่ห่อหุ้มจึงเป็นที่นิยมในการใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก แต่ข้อเสียของพาราฟินคือไม่สามารถย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการค้นพบสารเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันกับพาราฟินที่ได้จากน้ำมันดิบ สารเปลี่ยนสถานะจากน้ำมันพืชจำนวนมากมีจุดวาบไฟที่ต่ำและอัตราการแพร่กระจายเปลวไฟที่ยาวนานกว่า 10-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสารเปลี่ยนสถานะที่ได้จากน้ำมันดิบ โดยมีช่วงอุณหภูมิให้เลือกใช้ตั้งแต่ -90 ถึง 150 องศาเซลเซียส เป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า และราคาที่ค่อนข้างต่ำ จึงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุนในอนาคต

1.2.2 สารเปลี่ยนสถานะชนิดสารอนินทรีย์ (Inorganic) ตัวอย่างเช่น เกลือไฮเดรต (MnH_2O) เป็นสารเปลี่ยนสถานะที่มีราคาต่ำมาก แต่ก็มีข้อเสียหลายประการที่เป็นปัญหาต่อการนำไปใช้ทำสารเปลี่ยนสถานะ เช่น มีช่วงของจุดหลอมเหลวที่ไม่อยู่ในช่วงที่สารเปลี่ยนสถานะต้องการที่อุณหภูมิ 1 ถึง 150 องศาเซลเซียส จึงยากที่จะตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งาน เกลือไฮเดรตจำนวนมากมีฤทธิ์กัดกร่อนกับโลหะ มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม มีการละลายอย่างไม่คงที่จึงทำ

ให้มีปัญหาเรื่องการกักเก็บความร้อน และอีกข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ มีการเย็นตัวยิ่งยวด (super cooling) ในการเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็งกับของเหลว จึงต้องแก้ไขโดยเติมสารก่อผลึก (Nucleating agents) ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้งานซ้ำได้ [2]

1.2.3 สารเปลี่ยนสถานะชนิดสารผสม (Eutectics) เป็นสารเปลี่ยนสถานะที่เกิดจากการนำสารอนินทรีย์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดมาผสมกันโดยไม่เกิดปฏิกิริยากัน เพื่อให้ได้อุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่ต้องการ ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมที่จะนำมาใช้งานในอุตสาหกรรม เพราะมีช่วงจุดหลอมเหลวที่แคบ และมีข้อมูลทางการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพน้อย

1.2.4 สารดูดความชื้น (Hygroscopic Materials) เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดและคายความชื้นในอากาศได้ที่อุณหภูมิห้อง กล่าวคือหากเกิดการควบแน่น ขณะที่ก๊าซเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลว จะทำให้เกิดการคายความร้อนออกสู่อากาศ อากาศจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น และในทางกลับกันหากเกิดการเปลี่ยนสถานะจากน้ำไปเป็นไอ จะเกิดการดูดความร้อนจากอากาศทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการดูดหรือคายความชื้นจะทำให้สารนั้นมีความสามารถและลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไป เช่น จุดเดือด ความหนืด หรือ ปริมาตร เป็นต้น จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเปลี่ยนสถานะได้

1.2.5 สารเปลี่ยนสถานะชนิดของแข็ง (Solid-Solid PCM) เป็นสารเปลี่ยนสถานะที่มีพลังงานความร้อนสูงที่ถ่ายเทจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของสถานะของแข็งไปเป็นของแข็งที่มีโครงสร้างผลึกแบบอื่นตามอุณหภูมิเฉพาะที่กำหนดไว้ สารเปลี่ยนสถานะชนิดนี้จะไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ และมีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 180 องศาเซลเซียส แต่มีข้อดีคือจะไม่เกิดลักษณะการเย็นตัวยิ่งยวด (super cooling) ในการเปลี่ยนสถานะ และสามารถจัดการสารได้ง่าย

ในปัจจุบันวัสดุเปลี่ยนสถานะมีอยู่หลายประเภทดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องพิจารณาคูณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพหลักที่เหมาะสม เช่น คุณสมบัติในการกักเก็บพลังงานความร้อน ช่วงของการหลอมเหลว ไม่เป็นพิษ ใช้งานได้ง่าย มีความเสถียรทางเคมี ทนทานต่อการเสื่อมสภาพในระบบที่ใช้งาน และสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เสื่อมสภาพเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสารเปลี่ยนสถานะชนิดอินทรีย์ที่เป็นพาราฟิน เพราะหาซื้อง่าย ราคาไม่แพง เป็นที่นิยมในการใช้งาน มีช่วงอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวที่เหมาะสม และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

พาราฟิน (Paraffin) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแอลเคนสายตรงมีสูตรโมเลกุลคือ C_nH_{2n+2} ซึ่งความยาวของสายโซ่พันธะมีผลต่อจุดหลอมเหลวและความร้อนแฝง การใช้งานของพาราฟินพบว่า พาราฟินถูกใช้งานในอุตสาหกรรมยา เกษตรกรรม และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบิน และใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือองค์ประกอบของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล [3] ในปัจจุบันพาราฟินที่ใช้งานอยู่นั้นสามารถกลั่นได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และพาราฟินที่ได้มานั้นจะมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากมีสิ่งเจือปนอยู่มาก ทำให้พาราฟินที่ได้ไม่มีความบริสุทธิ์มากเพียงพอต่อการนำไปใช้ จึงต้องมีการเพิ่มกระบวนการในการกลั่นบริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงมีการคิดค้นกระบวนการฟิชเชอร์โทรป (Fischer Tropsch Synthesis) เพื่อผลิตพาราฟินที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยการนำเอาก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักเบาเข้ามาเข้ากระบวนการ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงของเหลว หรือพาราฟินที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีประสิทธิภาพที่ดีในการนำไปใช้เป็นสารเปลี่ยนสถานะ อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ยังมีข้อเสียในเรื่องการใช้ก๊าซเป็นสารตั้งต้น เนื่องจากก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยก๊าซที่เป็นสารตั้งต้นมาจากก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และสารชีวมวล ซึ่งทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซและเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต ทั้งนี้ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองและมีการใช้งานทางด้านอื่น เช่นการผลิตกระแสไฟฟ้า และผลิตพลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปทางการผลิตสารเปลี่ยนสถานะจากสารตั้งต้นชีวมวลด้วยกระบวนการที่เหมาะสมและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

สารชีวมวล คือ สารอินทรีย์ตามธรรมชาติที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน และสามารถนำพลังงานที่เก็บสะสมเอาไว้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ แกลบ กะลาปาล์ม ใยปาล์ม และกากปาล์ม โดยเชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้ถือเป็นเชื้อเพลิงราคาถูก การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมนั้นจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) เนื่องจากช่วยลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการใช้งานเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยอยู่เป็นจำนวนมาก และพบว่าหนึ่งในนั้นคือผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน โดยในปัจจุบันปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าจับตามอง เนื่องจากปาล์มให้ผลผลิตน้ำมันมากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ในการปลูกที่เท่ากันจึงมีต้นทุนที่ต่ำกว่า และเป็นที่ยอมรับในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้สารตั้งต้นที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปาล์ม

น้ำมัน เพราะได้จากธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถปลูกทดแทนได้ และสามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ [4, 5]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีการใช้งานกระบวนการผลิตสารเปลี่ยนสถานะจากวัตถุดิบธรรมชาติอย่างปาล์มน้ำมัน แต่พบว่ากระบวนการที่ใช้ในการสังเคราะห์พาราฟินจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชนั้น คือกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating) ของไบโอดีเซล โดยทั่วไปกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง เป็นกระบวนการขจัดสิ่งสกปรกต่างๆในอุตสาหกรรมการกลั่นปิโตรเลียม เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และโลหะ เป็นต้น [6] โดยการใส่ไฮโดรเจนกับ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะและผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ออกมาจะอยู่ในช่วงของสารประกอบประเภทอัลเคนหรือพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 15 ถึง 18 อะตอม จากงานวิจัยของ ภาณุวิชญ์และคณะ [7] ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียรีน และกรดไขมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่อุณหภูมิ 250 ถึง 350 องศาเซลเซียส พบว่า สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนใกล้เคียงกัน โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 350 องศาเซลเซียสผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณสารประกอบอัลเคนมากที่สุด จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ดีเพื่อผลิตสารประกอบอัลเคนจากปาล์มน้ำมัน

ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน พบว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบโลหะทรานซิชันซัลไฟด์ อาทิเช่น นิกเกิลโมลิบดีนัม โดยจากงานวิจัยของคุณ Rogelio และคณะ [8] พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิลโมลิบดีนัม ให้ผลร้อยละของพาราฟินในช่วงของจำนวนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม ในขณะที่ตัวเร่งแพลตตินัมบนตัวรองรับซีโอไลท์อีกสองชนิดจะให้พาราฟินที่มีคาร์บอนอะตอม 5 ถึง 22 อะตอม ซึ่งเป็นชนิดแบบโซ่กิ่งมากกว่าแบบโซ่ตรง นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Malee และคณะ [9] พบว่า ตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความดัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และ ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณอัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสวนทางกลับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่อุณหภูมิ ตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ณ ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบ

การศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบอัลเคนของผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้เป็นสารเปลี่ยนสถานะต่อไป

1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดัน ที่ส่งผลกับค่าร้อยละการแปลงผันของกรดไขมันและค่าร้อยละผลได้ของปริมาณสารประกอบอัลเคน ในปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของ กรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และ ปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทำการทดลองโดยใช้กรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น

1.4.2 ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะซัลไฟด์ชนิดนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแกมมาอะลูมิเนียมออกไซด์

1.4.3 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส

1.4.4 ทำการทดลองที่ความดัน 450 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถอธิบายถึงผลกระทบและสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัม

1.5.2 สามารถพัฒนาปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซล เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารเปลี่ยนสถานะต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการสังเคราะห์พาราฟินที่มีความสามารถในการนำมาทำสารเปลี่ยนสถานะ โดยกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่ประยุกต์มาจากการสังเคราะห์ของน้ำมันไบโอดีเซล และการใช้งานในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน ดังนั้นจึงนำทฤษฎีและงานวิจัยมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาในงานวิจัยนี้

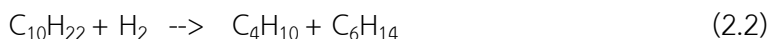
2.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งเป็นกระบวนการกำจัดสารประกอบวงแหวน (heteroatom) โดยการตัดพันธะคู่และวงแหวนอะโรมาติก เช่น ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน ออกซิเจน และ โลหะ ด้วยการเติมไฮโดรเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยา โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็น 6 ปฏิกิริยาย่อยดังนี้ ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking) ปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน (Hydrodesulfurization) ปฏิกิริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน (Hydrodenitrogenation) ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation) และ ปฏิกิริยาไฮโดรดีเมทัลลัส (Hydrodemetallation) และอาจมีปฏิกิริยาข้างเคียง 4 ปฏิกิริยาคือ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน (Decarbonylation) ปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน (Isomerization) และ ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking) เกิดขึ้นได้พร้อมกัน [6, 10]

2.1.1. ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation, HDA) คือ ปฏิกิริยาการเติมก๊าซไฮโดรเจนลงในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่และพันธะสาม โดยมีความดัน ความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เช่น แพลตตินัม แพลเลเดียม และนิกเกิล ดังสมการที่ 2.1



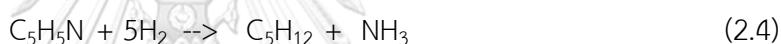
2.1.2. ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking) คือ ปฏิกิริยาการแยกสลายโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และ จัดเรียงโมเลกุลใหม่เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีจุดเดือดต่ำ ตัวอย่างเช่นน้ำมันดีเซลและซีไอไพเป็นน้ำมันเบนซินและน้ำมันกาดสำหรับเครื่องบินเจ็ท และแยกสลายน้ำมันเตาไพเป็นน้ำมันดีเซล ณ อุณหภูมิ 260 ถึง 420 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสูง



2.1.3. ปฏิกริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน (Hydrodesulfurization, HDS) คือปฏิกริยาในการกำจัดสารประกอบกำมะถันในกระบวนการกลั่นแยกลำดับส่วนที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม โดยการเติมก๊าซไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสม เพื่อลดการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่มีพิษจากเผาไหม้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยทำให้กำมะถันถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



2.1.4 ปฏิกริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชัน (Hydrodenitrogenation, HDM) คือปฏิกริยาเคมีที่คล้ายกับปฏิกริยา HDS โดยการเติมก๊าซไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสม แต่แตกต่างกันที่ปฏิกริยาไฮโดรดีไนโตรจีเนชันจะกำจัดสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ของการกลั่นปิโตรเลียม [11]



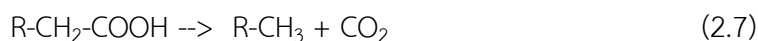
2.1.5. ปฏิกริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation, HDO) คือปฏิกริยาที่ใช้ในการกำจัดออกซิเจนออกมาในรูปของน้ำ และยังช่วยลดจำนวนคาร์บอนในสายโซ่อีกด้วย ซึ่งทั่วไปปฏิกริยานี้จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกริยา อุณหภูมิ 250 ถึง 350 องศาเซลเซียส และภายใต้ความดัน 3 ถึง 10 เมกะปาสคาล โดยไม่จำเป็นต้องผ่านปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันมาก่อน เนื่องด้วยส่วนประกอบของออกซิเจนมีอยู่น้อยในน้ำมันปิโตรเลียมจึงไม่เป็นที่สำคัญแต่อย่างใด แต่เมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพแล้วนั้น จะมีออกซิเจนอยู่มากจึงจำเป็นต้องทำปฏิกริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมได้



2.1.6. ปฏิกริยาไฮโดรดีเมทัลลชัน (Hydrodemetallation, HDM) คือปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกริยาเพื่อกำจัดโลหะที่เจือปนอยู่ในน้ำมันดิบ



2.1.7. ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) คือ ปฏิกิริยาข้างเคียงที่ปราศจากออกซิเจนและไฮโดรเจน โดยการเกิดปฏิกิริยาจะกำจัดออกซิเจนออกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคาร์บอนอะตอมลดลง



2.1.8. ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน (Decarbonylation) คือ ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นพร้อมกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เพื่อทำการกำจัดออกซิเจนคล้ายกับปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคาร์บอนอะตอมลดลง แต่กำจัดออกในรูปคาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำ



2.1.9. ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) คือ ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นเพื่อให้สารเปลี่ยนโครงสร้างจากไอโซเมอร์หนึ่งไปเป็นอีกไอโซเมอร์หนึ่ง โดยที่มวลโมเลกุลยังเท่าเดิม ซึ่งจะเปลี่ยนโครงสร้างแบบโซ่ตรง ให้เป็นแบบโซ่กิ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน



2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งและปฏิกิริยาย่อยทั้ง6นั้น โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์โดยมีโลหะทรานซิชัน (Transition Metals) ได้แก่ แพลตตินัม แพลเลเดียม นิกเกิล โคบอลต์ ทังสเทน และ โมลิบดีนัม เป็นส่วนประกอบ โดยในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะใช้ นิกเกิลโมลิบดีนัม โคบอลต์โมลิบดีนัม และ นิกเกิลทังสเทน บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ เพราะมีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า แพลตตินัม และ แพลเลเดียม ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมจะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันและไฮโดรดีออกซิจีเนชัน แต่ในทางกลับกันโคบอลต์โมลิบดีนัม และ นิกเกิลทังสเทนจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชันได้ดีกว่า ที่สภาวะการทดลองที่เหมาะสม นอกจากนี้ตัวรองรับที่ช่วยเพิ่มความเป็นกรดให้สูงขึ้นจะช่วยทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาควรเตรียมให้อยู่ในรูปแบบซัลไฟด์ อันเนื่องมาจากว่าจะส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ (Conversion) เพิ่มสูงขึ้นและมีสภาพคงทนมากกว่าในรูปแบบ

ออกไซด์ ดังนั้นการที่จะนำตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกนี้มาใช้ นั้น จึงควรทำการซัลไฟด์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ (H₂S) ก่อน [12]

2.3 ลักษณะและประโยชน์ทางการใช้งานของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลูกได้จำกัดเฉพาะพื้นที่ในเขตพื้นที่ร้อนชื้นเท่านั้น ซึ่งภาคใต้ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด ในด้านความคุ้มค่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทะเลาะได้ตลอดทั้งปี อายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 25 ปี จึงทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการโรงงานมีรายได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี ปาล์มน้ำมันสามารถทนทานต่อการเกิดภัยธรรมชาติ เช่น กรณีเกิดไฟไหม้ นั้น จะสามารถฟื้นสภาพกลับมาเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ใหม่ จึงเป็นพืชที่สำคัญในอนาคต โดยเฉพาะในการใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงธรรมชาติที่ขาดแคลนหรือมีราคาสูง นอกจากนี้ปาล์มเป็นพืชที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายโดยการแปรรูปเป็นสินค้าอุตสาหกรรมต่างๆจากทุกส่วนของต้นปาล์มดังนี้

2.3.1 Crude Palm Oil, CPO เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการสกัดผลปาล์มสดเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบ มีลักษณะขุ่น สีส้มขุ่น โดยใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม

2.3.2 Crude Palm Kernel Oil, KO เป็นผลิตภัณฑ์จากการสกัดเมล็ดในปาล์ม (Kernel) เพื่อให้ได้น้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอบน้ำตาล หน อุณหภูมิปกติ โดยใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมัน

2.3.3 RBD palm Kernel Oil, RKO เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (KO) เพื่อให้ได้น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน หน อุณหภูมิปกติ ถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมข้นหวาน ไอศกรีม เนยขาว เป็นต้น

2.3.4 RPO RBD Palm Oil, RPO เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เนยเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน สบู่ เป็นต้น

2.3.5 RBD Palm Oil, ROL เป็นผลิตภัณฑ์จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีลักษณะใส สีเหลือง ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป เป็นต้น

2.3.6 RBD Palm Stearin, RHST เป็นผลิตภัณฑ์จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) เพื่อให้ได้ปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมผลิตสบู่โอเลโอเคมีคอล

2.3.7 Palm Fatty Acid Distillate, PFAD เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) มีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่ อุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล การผลิตวิตามิน E รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล

2.3.8 Palm Kernel Fatty Acid Distillate, KFAD เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (KO) มีลักษณะใสสีเหลือง ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล

2.3.9 Kernel Meal, KM เป็นผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดในปาล์ม (Kernel) เพื่อให้ได้กากเมล็ดในปาล์ม มีลักษณะเป็นเกล็ดละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ถูกใช้งานเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

2.3.10 ไขปาล์มน้ำมัน สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์จำพวกวัว ควาย และม้าได้ โดยทางใบเป็นแหล่งของเส้นใย และวิตามินอีที่สำคัญ [13]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Absi-Halabi et al. (1998) [14] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิลโมลิบดีนัม นิกเกิลทั้งสแตน และ นิกเกิลโมลิบดีนัมทั้งสแตน บนตัวรองรับแกมมาอะลูมิเนียมออกไซด์ ในกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันหนักในปิโตรเลียม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งภายใต้ความดัน 120 บาร์ ที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 2 ต่อชั่วโมง และ สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำมันที่ 1000 ที่ชั้นบรรยากาศ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมทั้งสแตนลงบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมช่วยเพิ่มสมรรถนะของน้ำมัน โดยเฉพาะปฏิกิริยาไฮโดรดีเมททล และการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันดีที่สุด ตามมาด้วย นิกเกิลโมลิบดีนัม และ โคบอลโมลิบดีนัม ตามลำดับ ซึ่งกลับกันในปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชัน ที่ตัวโคบอลโมลิบดีนัมจะเกิดได้ดีที่สุด

Rogelio Sotelo et.al. (2010) [8] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับซีโอไลท์ 2 ชนิด คือ H-Y และ H-ZSM-5 และ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียม

ออกไซด์ ในปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่งของน้ำมันเมสตีเรพ ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 50 ถึง 100 บาร์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) 3 ชั่วโมง พบว่านิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์มีร้อยละผลผลิตดีที่สุดและให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพาราฟินแบบโซ่ตรงที่มีคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม แต่แพลตตินัมบนตัวรองรับซีโอไลท์ทั้ง 2 ชนิด จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นพาราฟินแบบโซ่กิ่งมากกว่าพาราฟินแบบโซ่ตรงในช่วงคาร์บอน 5 ถึง 22 อะตอม

ภทร จิรเศวตกุล (2010) [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วเชิงสเปซของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและ โคบอลต์โมลิบดีนัม โดยที่การทดลองจะทำในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ ที่ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ถึง 1.5 ต่อชั่วโมง พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมให้ผลดีต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันคือให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารประกอบอัลเคนมากกว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาเกิดได้ไม่ดีจึงทำให้พบแต่เพียงกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ และเมื่อความเร็วเชิงสเปซที่มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละการเกิดผลิตภัณฑ์ลดลง เพราะทำให้ระยะเวลาที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์มีน้อยลง

ภาณุวิชญ์ เจริญวงศ์ (2010) [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการไฮโดรทรีตติงของสารตั้งต้นดังนี้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียรีน และ กรดไขมันปาล์มกลั่น ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ถึง 1.5 ต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง พบว่าสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารประกอบอัลเคนในปริมาณเท่าๆกัน แต่ในทางกลับกันเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จะไม่พบปริมาณสารประกอบอัลเคนซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันจะเริ่มเกิดขึ้นที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป เมื่อลดความเร็วสเปซจะทำให้มีปริมาณสารประกอบอัลเคนเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำมากขึ้น และค่าความเป็นกรดลดลง และเช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิ คือ ปริมาณสารประกอบอัลเคนเพิ่มมากขึ้น เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าความเป็นกรดลดลง

ณรงค์วุฒิ เจ้าแก่นแก้ว (2011) [16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมสตีในปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และความเร็วเชิงสเปซ

1.0 ต่อชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์เบตนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง พบว่าจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นได้ดีเมื่ออุณหภูมิและความดันสูงขึ้น กล่าวคือที่อุณหภูมิ 300 ถึง 320 องศาเซลเซียส จะเกิดการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระได้ช้า แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 340 ถึง 380 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นจะเกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้จะทำให้ได้ปริมาณสารประกอบอัลเคนที่มีขนาดเล็กลงมากขึ้นเช่นกัน

Malee Santikunaporn et al. (2012) [9] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแกมมาอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 325 ถึง 385 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 27 ถึง 34 บาร์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยจากผลการทดลองพบว่าตัวแปรที่สำคัญคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความดัน โดยเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ซึ่งสวนทางกับความดันเพราะเมื่อเพิ่มความดันทำให้อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ลดลง แต่กลับได้อัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับการเพิ่มอุณหภูมิที่จะได้อัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลงแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลชันต่อเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลชันมากขึ้น โดยสรุปคือภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะได้อัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลงมีค่ามากกว่า 1

Worapon Kiatkittipong et al. [17] (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติงของกรดไขมันปาล์มกลั่น น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มที่ถูกแยกกัม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ และ แพลเลเดียม ที่อุณหภูมิ 375 ถึง 400 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 40 บาร์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ 3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรที่สำคัญคืออุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนิลชันการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้น จนถึงร้อยละ 81 แต่ในทางกลับกันกลับทำให้ปริมาณดีเซลลดลง เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงมากขึ้น และสรุปได้ว่า แพลเลเดียมจะดีต่อสารที่เป็นกรดไขมัน แต่ไม่ดีกับไตรกลีเซอไรด์

ศิริชาติ ชูโต (2014) [18] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะที่เหมาะสมและตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และ นิกเกิลโคบอลต์โมลิบดีนัม ในกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในเครื่องปฏิกรณ์เบตนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วเชิงสเปซ 1.0 ต่อชั่วโมง และ อัตราส่วน

ของก๊าซต่อน้ำมัน 500 ที่บรรยากาศ พบว่าการเพิ่มความดันและอุณหภูมิมีผลให้ปริมาณร้อยละอัลเคนของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันได้ดีขึ้น ส่วนในเรื่องของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นนิกเกิลโมลิบดีนัมจะเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันน้อยกว่านิกเกิลโคบอลต์โมลิบดีนัม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอัลเคนแบบโซ่ตรงมากกว่าแบบโซ่กิ่ง

Atthapon Srifa et.al. (2014) [19] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไปโอดีเซลด้วยกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมที่มีการซัลไฟด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพก่อนใช้งานแล้ว ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 270 ถึง 420 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ถึง 80 บาร์ ความเร็วเชิงสเปซ 0.25 ถึง 5.0 ต่อชั่วโมง และอัตราส่วนของก๊าซต่อน้ำมัน 250 ถึง 2000 ที่บรรยากาศ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม 300 ภายใต้ความดัน 30 ถึง 50 บาร์ ความเร็วเชิงสเปซ 1 ถึง 2 ต่อชั่วโมง และ อัตราส่วนของก๊าซต่อน้ำมัน 750 ถึง 1000 ที่บรรยากาศ จะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ถึง ร้อยละ 90 และมีสารประกอบอัลเคนมากถึงร้อยละ 95.5 อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาลดลง และปฏิกิริยาการเกิดมีเทนจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แต่ความดันสูง

Qingxin Guan et al. (2016) [20] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลฟอสไฟด์บนตัวรองรับซีโอไลท์ชนิด MCM-41 ที่อุณหภูมิ 290 ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 30 บาร์ ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่อง โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 330 องศาเซลเซียส จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจนถึงร้อยละ 100 และปริมาณสารประกอบคาร์บอน 15 อะตอมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ในทางกลับกันจะมีปริมาณสารประกอบคาร์บอน 16 อะตอมน้อยลง

2.5 ข้อสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรทรีตติง

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้ศึกษานั้นสามารถสรุปผลกระทบการของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และ สภาวะการทดลอง ได้ดังนี้

2.5.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

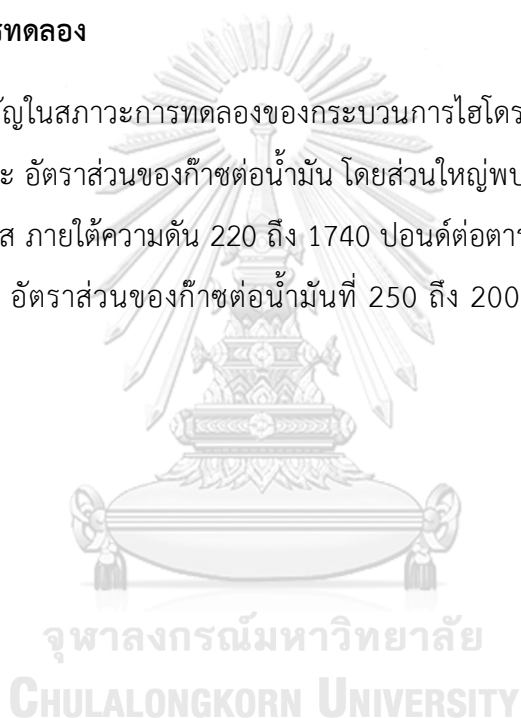
สารตั้งต้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติงนั้นส่วนใหญ่พบว่าสามารถใช้น้ำมันได้ทุกชนิดทั้งน้ำมันจากปิโตรเลียมและจากพืช เช่น น้ำมันเมล็ดเรพ และ ผลิตภัณฑ์จากปาล์ม โดยจะมีสารประกอบอัลเคนที่ต่างกันตามสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกรดไขมันหรือไตรกลีเซอไรด์

2.5.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งเป็นปฏิกิริยาที่จำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบได้บ่อยนั้นจะนิยมเป็นโลหะทรานซิชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีความสามารถที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมจะทำให้ผลของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันดีที่สุด ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันได้ดี และ เมื่อมีทั้งสแตนจะมีผลค่อนข้างดีในทุกปฏิกิริยาแต่มีความเป็นพิษมากกว่าเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีซัลฟูไรเซชันได้น้อยมาก

2.5.3 สภาวะการทดลอง

ตัวแปรที่สำคัญในสภาวะการทดลองของกระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง คือ อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วเชิงสเปซ และ อัตราส่วนของก๊าซต่อน้ำมัน โดยส่วนใหญ่พบว่ามีความอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 440 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 220 ถึง 1740 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วเชิงสเปซ 0.25 ถึง 5 ต่อชั่วโมง และ อัตราส่วนของก๊าซต่อน้ำมันที่ 250 ถึง 2000 เท่าโดยน้ำหนัก ที่ความดันบรรยากาศ

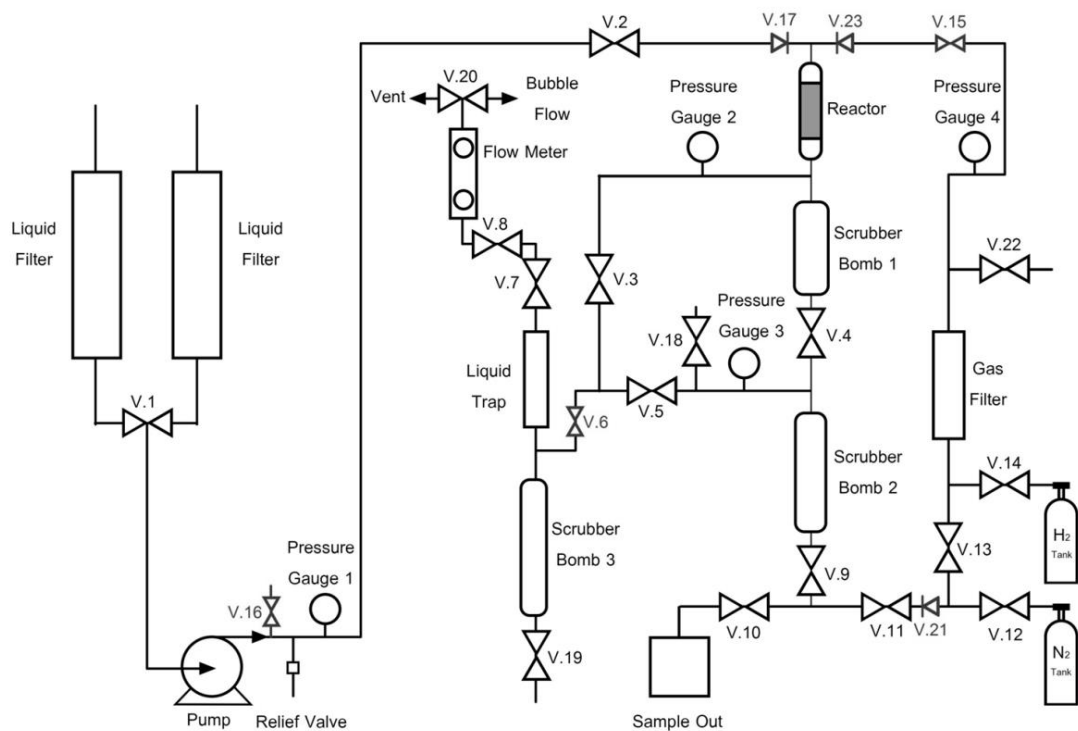


บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของสารตั้งต้นทั้งสามชนิด โดยจะเลือกใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Pack Bed Reactor) โดยแสดงระบบการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังระบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง

โดยจากรูปข้างต้นสารตั้งต้นจะถูกป้อนเข้าระบบทั้งหมด 3 เส้นทาง คือสายของเหลว 1 สาย ก๊าซไนโตรเจน 1 สาย และ ก๊าซไฮโดรเจน 1 สาย โดยสายของเหลวจะมีหน้าที่เพื่อป้อนสารตั้งต้นหรือสารที่ใช้ในการพริซัลไฟด์ เข้าสู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ โดยผ่านวาล์วหมายเลข 1 ก่อนจะเข้าสู่ปั๊ม ความดันสูงที่มีมาตรวัดความดันหมายเลข 1 และวาล์วนิรภัยต่ออยู่ และวงเครื่องปฏิกรณ์ ทางด้านสาย ก๊าซไฮโดรเจนและไนโตรเจนนั้น จะใช้วาล์วหมายเลข 12, 13, และ 14 ในการปรับเลือกว่าต้องการป้อนก๊าซชนิดใดเข้าระบบ หลังจากนั้นก๊าซจะไหลผ่านตัวกรองและมาตรวัดความดันหมายเลข 4 ก่อน จะเข้าสู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์

การทดลองเริ่มต้นด้วยการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาตร 30 มิลลิลิตรที่ผ่านอบไล่ความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลงตรงกลางระหว่างชั้นของลูกแก้วในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดความยาว 47 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว และความหนา 0.089 เซนติเมตร โดยเครื่องปฏิกรณ์จะถูกครอบด้วยเหล็กนำความร้อน ฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ และฉนวนใยแก้วกันความร้อน การวัดอุณหภูมิจะทำการวัด 4 จุดคือ ส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ของภายนอกเครื่อง และ จุดศูนย์กลาง ภายในของเครื่องปฏิกรณ์

หลังจากการประกอบเครื่องปฏิกรณ์เสร็จแล้วนั้น จะทำการทดสอบความดันโดยการปล่อยความดันให้ค้างอยู่ในระบบทั้งหมด เพื่อสังเกตการรั่วซึม และหลังจากนั้นเริ่มทำการซัลไฟด์ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเริ่มการป้อนสารตั้งต้น โดยทำการจับเวลาหลังจากสารลดลงไป 20 มิลลิลิตร โดยประมาณซึ่งเท่ากับปริมาตรจากต้นทางของสารตั้งต้นจนถึงทางเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเวลาผ่านไปผลิตภัณฑ์ในสถานะของเหลวที่ได้นั้นจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บตัวอย่างที่ 2 (Scrubber bomb 2) และก๊าซผลิตภัณฑ์จะถูกทำการบำบัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนจะปล่อยสู่บรรยากาศ หลังจากการไหลผ่านวาล์วตัวที่ 5 6 7 และ 8 และมาตรวัดความดันที่ 3 แล้ว

การเก็บตัวอย่างเพื่อมาทำการวิเคราะห์นั้นจะทำทุก 6 ชั่วโมง โดยการปิดวาล์วตัวที่ 4 กับ 5 เพื่อแยกถังเก็บตัวอย่างที่ 2 ออกจากระบบ เปิดวาล์วตัวที่ 3 เพื่อให้ก๊าซผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านแทนและเปิดวาล์วหมายเลข 9 และ 10 เพื่อเก็บสวตัวอย่าง ตามลำดับ ดังนั้นขณะที่เก็บตัวอย่างอยู่นั้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะถูกเก็บอยู่ ณ ถังเก็บตัวอย่างที่ 1 แทน เมื่อทำการเก็บสารตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยให้ทำการปิดวาล์วหมายเลข 10 และเปิดวาล์วหมายเลข 9 11 และ 12 เพื่อทำการปรับความดันในถังเก็บตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน และเมื่อได้ความดันที่เท่ากับระบบแล้วให้ทำการปิดวาล์วหมายเลข 9 11 และ 12 และเปิดวาล์วหมายเลข 4 5 เพื่อเชื่อมต่อกับสู่ระบบตามเดิม

3.2 วิธีการซัลไฟด์ตัวเร่งปฏิกิริยา

การซัลไฟด์ (Sulfidation) ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อกระตุ้นให้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการใช้งานก่อนการป้อนสารและเริ่มนับเวลาการทำงานทดลองนั้น มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

3.2.1 ทำการผสมพาราฟินกับไดเมทิลไดซัลไฟด์ โดยมีปริมาณซัลเฟอร์อยู่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

3.2.2 ป้อนสารที่ผสมไว้เข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.2.3 หลังจาก 2 ชั่วโมงผ่านไป ให้ทำการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทุก 10 นาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จนได้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และป้อนสารต่อเนื่องทิ้งไว้อีก 7 ชั่วโมง

3.2.4 หลังจาก 7 ชั่วโมงผ่านไป ให้ทำการเพิ่มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทุก 10 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนถึงอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส และป้อนสารต่อเนื่องทิ้งไว้อีก 5 ชั่วโมง เป็นอันเสร็จ

3.3 สภาวะการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงสามารถสรุปและเลือกสภาวะการทดลองได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะในการทดลอง

สภาวะของการทดลอง	
ตัวเร่งปฏิกิริยา	นิกเกิลโมลิบดีนัม
สารตั้งต้น	ปาล์มกลั่นกรดไขมัน น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มไบโอดีเซล
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	300, 320, 340, 360, 380 องศาเซลเซียส
ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450, 750, 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว	1 ต่อชั่วโมง
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อสารตั้งต้น	500 ต่อ 1
ปริมาตรเบดบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา	30 มิลลิลิตร

3.4 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแกมมาอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ได้รับมาจากโรงงานนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) เพื่อหาธาตุองค์ประกอบ เทคนิคบีอีที (BET) เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพ จำพวกพื้นที่ผิว และ ปริมาตรรูพรุน และเทคนิคการคายแอมโมเนียมตามอุณหภูมิ (NH₃-TPD) เพื่อที่จะหาปริมาณและความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิครังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF, X-ray fluorescence) ในตารางที่ 4.1.4 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีธาตุองค์ประกอบหลักคือนิกเกิลและโมลิบดีนัมในปริมาณร้อยละ 3.85 และ 14.67 ตามลำดับ โดยจะอยู่บนตัวรองรับแกมมาอะลูมินาออกไซด์ และมีธาตุอื่นปนอยู่เพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3.2 แสดงธาตุองค์ประกอบของของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ธาตุองค์ประกอบ	NiMo (ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก)
Al ₂ O ₃	80.03
MoO ₃	14.67
NiO	3.85
P ₂ O ₅	0.81
SiO ₂	0.32
Fe ₂ O ₃	0.08
CaO	0.08
Nb ₂ O ₅	0.07
Cl	0.05
K ₂ O	0.04
Ga ₂ O ₃	0.01

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคบีอีที (BET, Brunauer-Emmett-Teller) แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม มีปริมาณพื้นที่ผิว 243.612 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.625 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ 12.041 นาโนเมตร และนอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการคายแอมโมเนียตามอุณหภูมิ (NH₃-TPD) แสดงให้เห็นว่ามีค่าความเป็นกรดอยู่ที่ 1113.3 ไมโครโมล H⁺ ต่อกรัม

3.5 การวิเคราะห์ผล

ผลิตภัณฑ์สถานะของเหลวของทุก 6 ชั่วโมงจะถูกแยกวัฏภาคน้ำและน้ำมัน เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณและการกระจายตัวของสารประกอบอัลเคล หาคความหนาแน่นของของเหลว ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละน้ำหนักของน้ำ

3.5.1 การแยกวัฏภาคของเหลว

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะถูกแยกวัฏภาค โดยการใส่ทิ้งไว้ในกรวยแยกสารเพื่อให้แยกชั้นกันอย่างชัดเจนก่อนจะนำสารทั้ง 2 ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.5.2 การพิสูจน์น้ำ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 2 วัฏภาคจะถูกนำไปหยดลงบนคอปเปอร์ซัลเฟต(CuSO_4) เพื่อพิสูจน์ความเป็นน้ำ โดยหากสารตัวอย่างมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัง จะพบว่าคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีสีขาวจะเปลี่ยนเป็นผลึกคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีน้ำสีน้ำเงิน ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

3.5.3 การหาปริมาณน้ำและน้ำมัน

น้ำและน้ำมันที่ได้จากการแยกวัฏภาคนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณต่อไป

3.5.4 ความหนาแน่นของของเหลว

ค่าความหนาแน่นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของสารในขวดถ่วงจำเพาะแบบ Gay-Lussac pycnometer ที่มีค่าปริมาตรที่แน่นอน โดยการเติมสารลงจนเต็มแล้วปิดฝา

3.5.5 ร้อยละกรดไขมัน

การวิเคราะห์ร้อยละของกรดไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้ด้วยวิธีการไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามมาตรฐาน วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของกรดไขมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการใช้วิธีการไตเตรทตามมาตรฐาน AOCs Ca 5a-40

3.5.6 การวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายตัวของสารประกอบอัลเคน

การกระจายตัวของสารประกอบอัลเคนในผลิตภัณฑ์นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี Varian รุ่น 3800 ที่มีตัวตรวจวัดแบบ เฟรมไอออนไนซ์ (Flame Ionization detector) ที่เป็นคอลัมน์แบบคาปิลารีรุ่น innowax m 20 เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร และความหนาชั้นฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร โดยสถานะที่จะใช้ในคอลัมน์ที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะของคอลัมน์

สภาวะ	
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	35
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิเริ่มต้น (นาทีก)	4
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิขั้นที่ 1 เพิ่มถึง 50 เซลเซียส (องศาเซลเซียส/นาทีก)	1
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิขั้นที่ 2 เพิ่มถึง 80 เซลเซียส (องศาเซลเซียส/นาทีก)	2
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิขั้นที่ 3 เพิ่มถึง 230 เซลเซียส (องศาเซลเซียส/นาทีก)	3
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	230
ระยะเวลาคงที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาทีก)	10
อุณหภูมิหัวฉีดสาร (องศาเซลเซียส)	230
อุณหภูมิตัวตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	250

3.5.7 การตรวจหาก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์

ในส่วนที่เป็นก๊าซจะนำมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.125 นอร์มอล เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือ มาทำการไตเตรทด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.125 นอร์มอล และเมื่อได้ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไปแล้ว จะสามารถรู้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ และสามารถหาปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์

3.6 การคำนวณ

3.6.1 การคำนวณปริมาณร้อยละกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระสามารถวิเคราะห์ได้จากการไตเตรทโดยจะคำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{ กรดไขมันอิสระ (FFA as Oleic)} = \frac{\text{Alkali volume (mL)} \times \text{Alkali normality} \times 28.2}{\text{Sample weight (g)}} \quad (3.1)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์

- ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = 0.4 มิลลิลิตร
- ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ = 0.013 N
- ปริมาณน้ำหนักตัวอย่าง = 5.6421 กรัม

$$\text{นำค่าที่ได้มาแทนลงสมการ 3.1 : \%FFA} = \frac{(0.4)(0.013)(28.2)}{(5.6421)} = 0.0261$$

3.6.2 การคำนวณค่าแฟกเตอร์ตอบสนอง (Respond Factor)

ค่าแฟกเตอร์ตอบสนองที่ใช้ในการคำนวณผลที่ได้จากโครมาโตแกรมมีนิยามดังนี้

$$\text{แฟกเตอร์ตอบสนอง (RF)} = \frac{\text{พื้นที่ของอัลเคน} \times \text{น้ำหนักของสารมาตรฐาน (Weight of I.S.)}}{\text{พื้นที่สารมาตรฐาน (Area of I.S.)} \times \text{น้ำหนักของอัลเคน}} \quad (3.2)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าแฟกเตอร์ตอบสนองของอัลเคนคาร์บอน 16 อะตอม (Alkane C16)

- น้ำหนักของอัลเคน C16 = 0.2009 กรัม
- พื้นที่ของอัลเคน C16 = 4205239
- น้ำหนักของสารมาตรฐาน (เฮปเทน) = 0.0479 กรัม
- พื้นที่ของสารมาตรฐาน (เฮปเทน) = 857464

$$\text{นำค่าที่ได้มาแทนลงสมการ 3.2 : RF} = \frac{(4205239)(0.0479)}{(857464)(0.2009)} = 1.1691$$

3.6.3 การคำนวณปริมาณร้อยละสารประกอบอัลเคนโดยน้ำหนัก (%wt)

$$\text{ปริมาณสารประกอบอัลเคน (\%wt)} = \frac{(A_{\text{Alkane}})(m_{\text{I.S.}})(100)}{(m_{\text{Sample}})(\text{R.F.})(A_{\text{I.S.}})} \quad (3.3)$$

โดย m_{Alkane} คือ มวลของสารประกอบอัลเคนในสารตัวอย่าง

A_{Alkane} คือ พื้นที่ของสารมาตรฐาน (เฮปเทน)

$m_{\text{I.S.}}$ คือ มวลของสารมาตรฐาน (เฮปเทน)

$A_{\text{I.S.}}$ คือ พื้นที่ของสารมาตรฐาน (เฮปเทน)

R.F. คือ แฟกเตอร์ตอบสนอง

m_{Sample} คือ มวลของสารตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 อะตอมโดยน้ำหนัก

- น้ำหนักของสารประกอบอัลเคน C16 = 0.2009 กรัม
- พื้นที่ของสารประกอบอัลเคน C16 = 1843507
- น้ำหนักของสารมาตรฐาน (เฮปเทน) = 0.0477 กรัม
- พื้นที่ของสารมาตรฐาน (เฮปเทน) = 923036
- แฟกเตอร์ตอบสนองของอัลเคน C16 = 1.1691

$$\text{นำค่าที่ได้มาแทนลงสมการ 3.3 : } \%wt = \frac{(1843507)(0.0477)*100}{(923036)(0.2009)(1.1691)} = 40.5649$$

3.6.4 การคำนวณปริมาณร้อยละผลได้เทียบกับสารตั้งต้นโดยมวล

(Yields to feedstock,%wt)

$$\text{ปริมาณสารประกอบอัลเคน (\%wt)} = \frac{(\%wt \text{ Alkane})(\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์})}{(\text{น้ำหนักสารตั้งต้น})} \quad (3.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 อะตอมเทียบกับสารตั้งต้น

- ร้อยละสารประกอบอัลเคน c16 โดยน้ำหนัก = 40.5649
- น้ำหนักของรัฐภาคน้ำมันในผลิตภัณฑ์ = 137.7907 กรัม
- น้ำหนักของสารตั้งต้น = 151.65 กรัม

$$\text{นำค่าที่ได้มาแทนลงสมการ 3.4 : } \%wt = \frac{(39.2523)(137.7907)}{(151.65)} = 36.8577$$

3.6.5 การคำนวณปริมาณอัตราส่วนการเลือกเกิดสารประกอบอัลเคนคาร์บอนเลขคี่ต่อเลขคู่

(Selectivity of Alkane C15/16 and C17/18)

$$\text{การเลือกเกิดเลขคี่ต่อเลขคู่} = \frac{(\text{โมลสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่})}{(\text{โมลสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่})}$$

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 อะตอมเทียบกับสารตั้งต้น

- โมลสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 17 อะตอม = 0.0626 mol
- โมลสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 18 อะตอม = 0.2038 mol
- น้ำหนักของสารตั้งต้น = 151.65 กรัม

$$\text{นำค่าที่ได้มาแทนลงสมการ 3.4 : } \text{Selectivity} = \frac{(0.0626)}{(0.2038)} = 36.8577$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันสามชนิดคือน้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่น และปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัมและก๊าซไฮโดรเจน เพื่อการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดัน ที่ส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบอัลเคน และน้ำ โดยมีสภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ความดัน 450 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Pack Bed Reactor) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง ผลการทดลองทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 วิธี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์โดยการแยกวัฏภาค หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ และการวิเคราะห์การกระจายตัวของสารประกอบอัลเคนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี นอกจากนี้ทำการพิสูจน์ส่วนวัฏภาคน้ำด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต

โดยผลการทดลองจะถูกนำเสนอและอภิปรายตามลำดับดังต่อไปนี้

- 4.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง
- 4.2 ผลการทดลองในกรณีที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น
- 4.3 ผลการทดลองในกรณีที่ใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้น
- 4.4 ผลการทดลองในกรณีที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น
- 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

4.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง

4.1.1 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

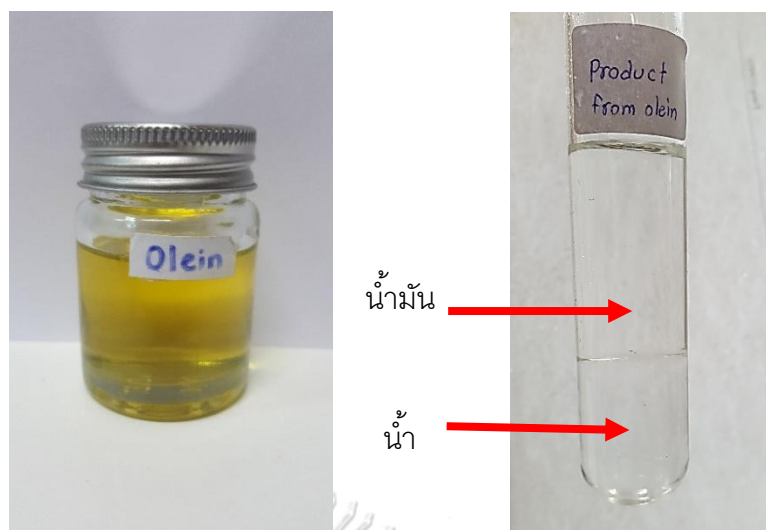
การทดลองชุดแรกเป็นการทดลองกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น ทำการทดลองที่อุณหภูมิและความดันตามสภาวะการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้นี้ เป็นสารที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันอิสระและเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ ตามมาตรฐาน AOCS Method Ce 2-66 ก่อนนำไปวิเคราะห์สารประกอบด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 4.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 และ 18 อะตอม ซึ่ง มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวคาร์บอน 16 อะตอม และชนิดไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอมเป็นหลัก โดยที่กรดไขมันคาร์บอน 18 อะตอมมีปริมาณสูงที่สุด

ตารางที่ 4.1.4 แสดงองค์ประกอบของสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน

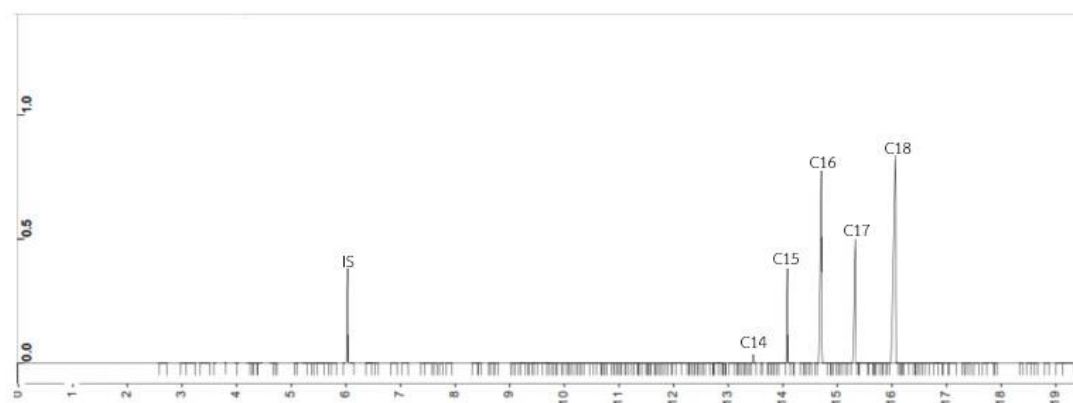
ชนิดสารตั้งต้น	น้ำมันปาล์มโอเลอิน
องค์ประกอบทั้งหมด (%)	
Myristic Acid (C ₁₄ H ₂₈ O ₂)	1.13
Palmitic Acid (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	36.02
Stearic Acid (C ₁₈ H ₃₆ O ₂)	11.04
Oleic Acid (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	47.63
Linoleic Acid (C ₁₈ H ₃₂ O ₂)	4.17
ค่าของกรด (%)	0.09
ความหนาแน่น (g/ml)	0.93

รูปที่ 4.1.2 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า จากสารตั้งต้นที่เป็นของเหลว เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาแล้วพบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลว 2 วัฏภาค พบว่าวัฏภาคชั้นล่างทำให้คอปเปอร์ซัลเฟตเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัฏภาคดังกล่าวเป็นวัฏภาคของน้ำ และทำให้ในส่วนวัฏภาคชั้นบนเป็นวัฏภาคน้ำมัน ซึ่งเมื่อนำวัฏภาคน้ำมันนี้มาทำการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ากรดไขมันที่มีในสารตั้งต้น และจากการวิเคราะห์ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่แสดงให้เห็นว่าไม่พบปริมาณไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ เหลือเพียงโมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณที่น้อยมาก นอกจากนี้จากการวิเคราะห์แก๊สออกยังพบว่า มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย



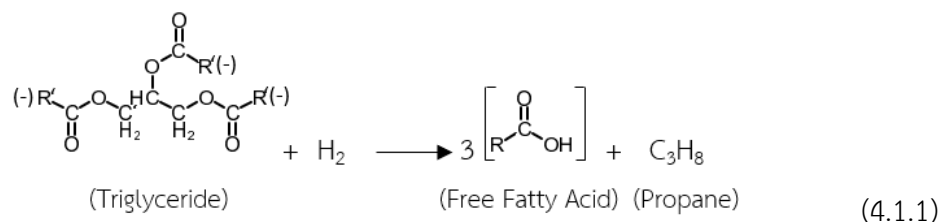
รูปที่ 4.1.2 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

รูปที่ 4.1.3 แสดงผลโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบอัลเคนซึ่งมีคาร์บอนในช่วง 15 ถึง 18 อะตอม จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นวัฏภาคพาราฟิน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์สารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอินแสดงให้เห็นว่าไม่พบสารประกอบอื่นอยู่

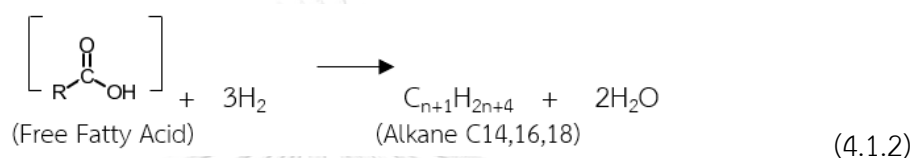


รูปที่ 4.1.3 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

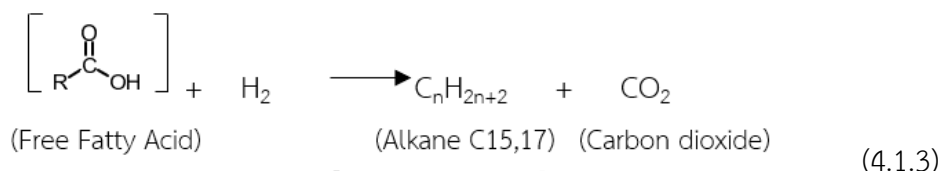
จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย กรดไขมันอิสระ สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 ถึง 18 อะตอม น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยา คือ จากการพบปริมาณกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์เกิดการแตกตัวได้เป็นกรดไขมันและโพรเพน (สมการที่ 4.1.1)



โดยเมื่อนำผลโครมาโทแกรมมาวิเคราะห์พบว่า มีสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 ถึง 18 อะตอม ซึ่งสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 16 18 อะตอม ($\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+4}$) สามารถเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับไฮโดรเจนโดยการแตกตัวที่บริเวณหมู่กรดคาร์บอกซิลิกเปลี่ยนไปเป็นอัลเคนและน้ำ (สมการที่ 4.1.2)

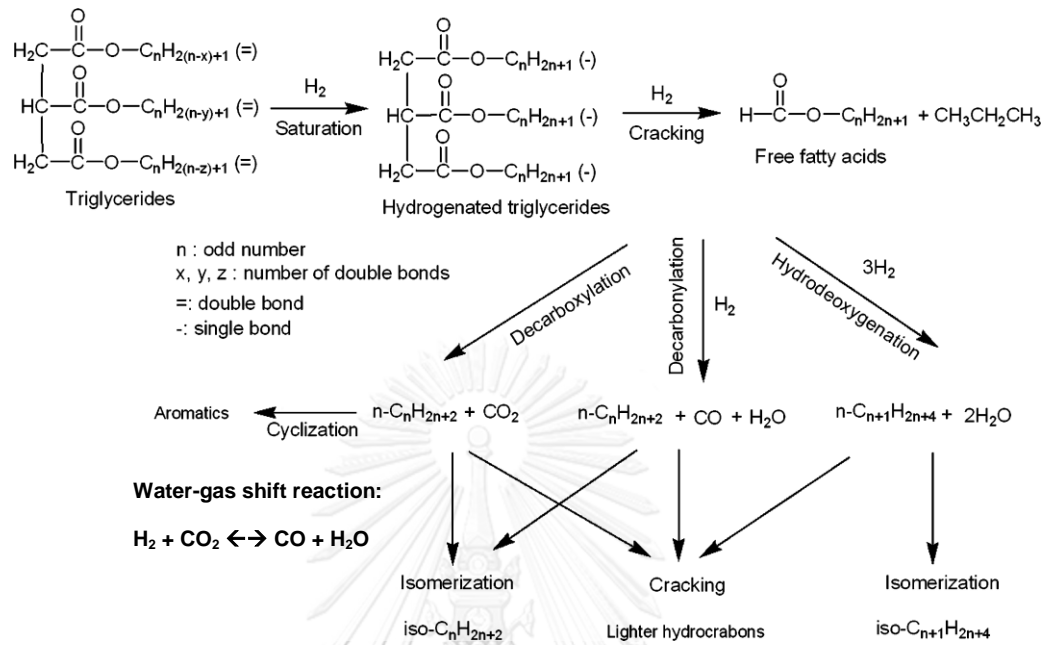


ในทางกลับกันจากการพบสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 17 อะตอม ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) นั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.1.3 โดยการเกิดปฏิกิริยาคลายกับการเกิดของสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 16 18 อะตอม แต่แตกต่างกันที่จะได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากปฏิกิริยาจะมีการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะ C-C ทำให้สูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอม



ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Veriansyah และคณะ [21] ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเกิดกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันถั่วเหลืองไว้ดังรูปที่ 4.1.4 โดยขั้นตอนแรกคือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของสารตั้งต้นซึ่งจะทำการเปลี่ยนสารตั้งต้นที่เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะไม่อิ่มตัวให้เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัว หลังจากได้ไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัวแล้วนั้นจะเกิดการแตกตัวต่อในปฏิกิริยาแครกกิงได้เป็นกรดไขมันอิสระและโพรเพน หลังจากนั้นจึงเกิดสารประกอบอัลเคนขึ้นจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพร้อมกัน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นน้ำ คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชันกับปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันจะทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอมในการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ นอกจากนี้ Veriansyah และคณะ ได้เสนอ

ว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นหากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมอาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยา แครกกิ่ง ปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน และปฏิกิริยาอวเตอรแก๊สซิฟต์ เป็นต้น



รูปที่ 4.1.4 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติงของไตรกลีเซอไรด์ [21]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด 5 ปฏิกิริยาได้แก่การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาแครกกิ่ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาแครกกิ่ง ปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน และปฏิกิริยาอวเตอรแก๊สซิฟต์เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่าการทดลองนี้จะไม่สามารถระบุการเกิดของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์แก๊สออกได้นั้น แต่ก็สามารถคาดได้ว่าในการทดลองนี้จะมีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชันที่คล้ายกันกับงานวิจัยของ Veriansyah ได้เช่นกัน นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีไม่พบการเกิดสารประกอบอัลเคนคาร์บอนน้อยกว่า 14 อะตอม จึงกล่าวได้ว่าไม่มีการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆอย่างปฏิกิริยาแครกกิ่งในการทดลองนี้ แต่เมื่อนำค่าสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มาทำการคำนวณเทียบกับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นพบว่า ค่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าน้อยกว่าที่ได้ในการทำการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาอวเตอรแก๊สซิฟต์ขึ้นจริงทำให้ไม่สามารถระบุได้น้ำที่ได้ เกิดมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการทำกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมนั้นเป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบหลายขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยา

ไฮโดรจีนชั้น ปฏิกริยาไฮโดรแครกกิ่งของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกริยาไฮโดรดีออกซิจีนชั้น ปฏิกริยาดีคาร์บอนิเลชัน และปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 ถึง 18 อะตอม และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงได้แก่ น้ำ และ คาร์บอนไดออกไซด์

4.1.2 กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น

การทดลองกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้น ทั้งนี้กรดไขมันปาล์มกลั่นที่ใช้มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองขุ่น และมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส จึงจำเป็นต้องทำการละลายก่อนนำมาใช้งาน โดยกรดไขมันปาล์มกลั่นที่ใช้นี้เป็นสารที่ผลิตได้ในอุตสาหกรรม ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันอิสระและเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล ก่อนนำไปวิเคราะห์สารประกอบด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

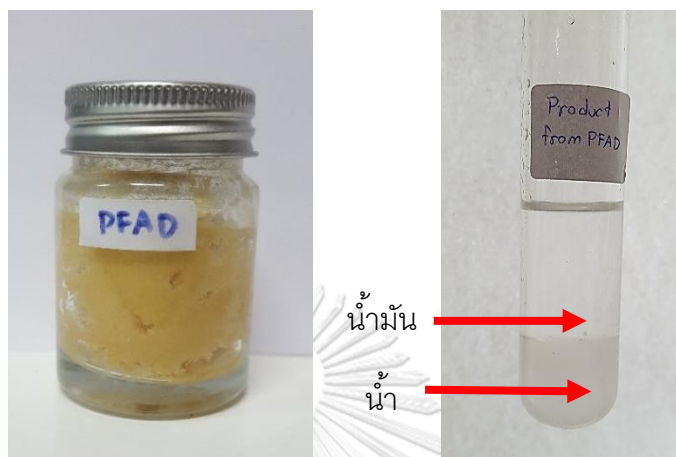
ตารางที่ 4.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันปาล์มกลั่นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันปาล์มกลั่นมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 16 และ 18 อะตอม ซึ่งมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวคาร์บอน 16 อะตอม และชนิดไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอมเป็นหลัก โดยพบว่าปริมาณกรดไขมันคาร์บอน 16 อะตอมนั้นมากกว่าในน้ำมันปาล์มโอดีอิน และเมื่อทำการไตเตรทหาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงที่สุดจึงทำให้มีลักษณะเป็นของแข็ง

ตารางที่ 4.1.5 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ชนิดสารตั้งต้น	กรดไขมันปาล์มกลั่น
องค์ประกอบทั้งหมด (%)	
Myristic Acid (C ₁₄ H ₂₈ O ₂)	0.95
Palmitic Acid (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	45.91
Stearic Acid (C ₁₈ H ₃₆ O ₂)	7.88
Oleic Acid (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	40.58
Linoleic Acid (C ₁₈ H ₃₂ O ₂)	4.67
ค่าของกรด (%)	85.87
ความหนาแน่น (g/ml)	0.88

รูปที่ 4.1.5 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มกลั่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลว

2 ภูมิภาคเช่นเดียวกับที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยเมื่อนำภูมิภาคพาราฟินมาวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการคายคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในแก๊สขากออกเช่นกัน

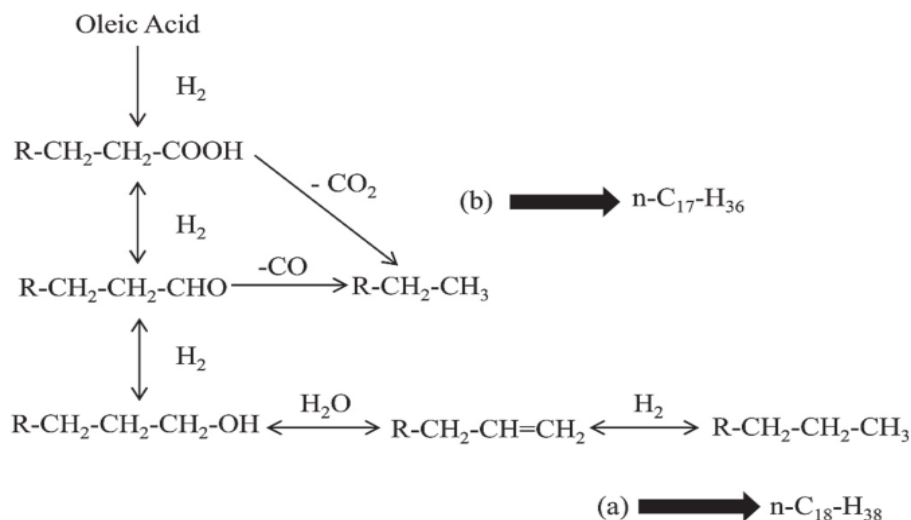


รูปที่ 4.1.5 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากกรดไขมันปาล์มกลั่น

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสารตั้งต้นกรดไขมันปาล์มกลั่นประกอบด้วย กรดไขมันอิสระ สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 ถึง 18 อะตอม น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงสามารถอธิบายการเกิดกระบวนการไฮโดรทริตติ้งได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาขึ้นในทิศทางเดียวกับกับน้ำมันปาล์มโอเลอินทุกประการ คือการเปลี่ยนจากไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่อิ่มตัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัว ก่อนเกิดการแตกตัวไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นกรดไขมัน และหลังจากนั้นจะเกิดการแตกตัวกรดไขมันไปเป็นอัลเคนและน้ำ ดังสมการที่ 4.1.1 ถึง 4.1.3

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhattacharjee และคณะ[22] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดโอเลอิกในสารละลายเฮกเซน ในสภาวะความดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็ก/SBA-15 พบว่ากระบวนการไฮโดรทริตติ้งประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาหลักคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันที่ใช้ผลิตสารออกตะเดคเคน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชันหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่ใช้ในการผลิตสารเฮปตะเดคเคน ซึ่งจะได้คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย จากรูปที่ 4.1.6 แสดงให้เห็นว่าการทำกระบวนการไฮโดรทริตติ้งเริ่มต้นที่ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน โดยเกิดการแตกตัวของพันธะ C-C ของกรดโอเลอิกเปลี่ยนเป็นกรดสเตียริก ซึ่งจะนำไปเกิดปฏิกิริยาต่อเป็นแอลดีไฮด์และแอลกอฮอล์ ก่อนนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันจนได้เป็นสารออกตะเดคเคน ในขณะที่เดียวกันการเกิดสารเฮปตะเด

คเคน สามารถเกิดได้โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลขชั้นของกรดสเตียริกหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิลเลขชั้นของ ออกตะเดคคานอล



รูปที่ 4.1.6 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของกรดโอเลอิก [22]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด 3 ปฏิกิริยาหลักคือการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจเนชันได้เป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 16 18 อะตอม และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลขชั้นหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิลเลขชั้นเพื่อให้ได้สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 17 อะตอม ทั้งนี้ในกรดไขมันปาล์มกลั่นที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่ใช่กรดไขมันเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดปฏิกิริยาแครกกิ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันได้ แต่นอกจากนี้ไม่พบการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการทำกระบวนการไฮโดรทรีตติงของกรดไขมันปาล์มกลั่น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมนั้น ประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลขชั้น และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิลเลขชั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์หลักและข้างเคียงที่มีลักษณะเหมือนการทดลองที่ใช้ไขมันปาล์มโอเลอีนเป็นสารตั้งต้น

4.1.3 กระบวนการไฮโดรทรีตติงของปาล์มไบโอดีเซล

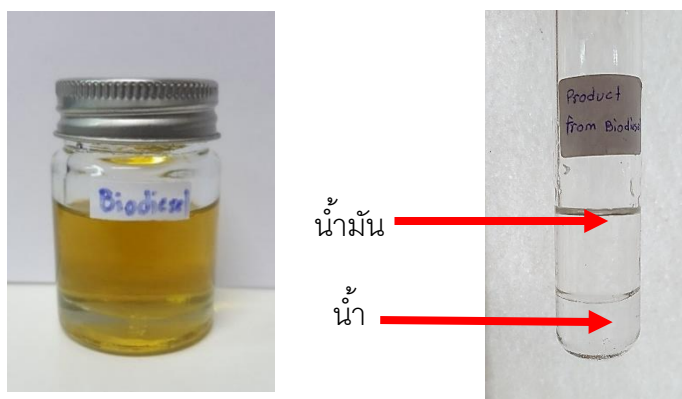
การทดลองนี้เป็นการทดลองกระบวนการไฮโดรทรีตติงที่ใช้สารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซล ทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนด โดยปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้นั้นถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันอิสระและหาสารประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 4.1.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปาล์มไบโอดีเซลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปาล์มไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 16 และ 18 อะตอม โดยมีปริมาณกรดไขมันคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมใกล้เคียงกับกรดไขมันปาล์มกลั่น แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีค่าปริมาณกรดใกล้เคียงกับในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ตารางที่ 4.1.6 แสดงองค์ประกอบของปาล์มไบโอดีเซล

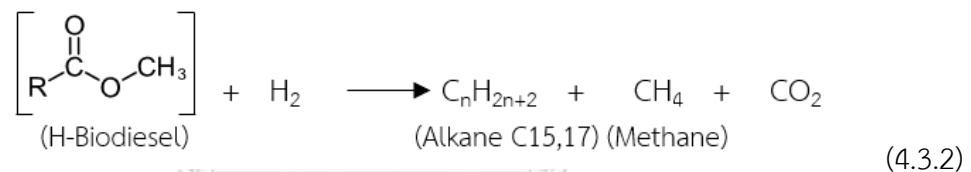
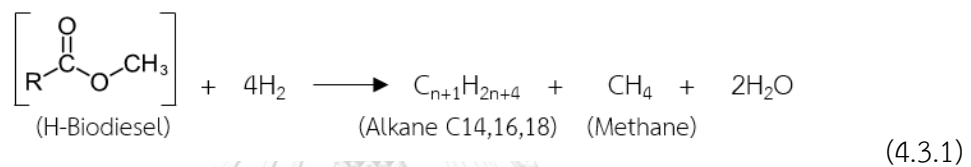
ชนิดสารตั้งต้น	ปาล์มไบโอดีเซล
องค์ประกอบทั้งหมด (%)	
Methyl Myristate ($C_{15}H_{30}O_2$)	1.04
Methyl Palmitate ($C_{17}H_{34}O_2$)	44.31
Methyl Stearate ($C_{19}H_{38}O_2$)	9.66
Methyl Oleate ($C_{19}H_{36}O_2$)	40.02
Methyl Linoleate ($C_{19}H_{34}O_2$)	4.96
ค่าของกรด (%)	0.02
ความหนาแน่น (g/ml)	0.86

รูปที่ 4.1.7 แสดงตัวอย่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของปาล์มไบโอดีเซล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากสีเหลืองใสเป็นของเหลวใส ไม่มีสี 2 ภูมิภาคเหมือนกับที่ได้จากสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดข้างต้น โดยเมื่อนำภูมิภาคพาราฟินมาวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า มีกรดไขมันเกิดขึ้น นอกจากนี้พบว่ามีการคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเช่นกัน

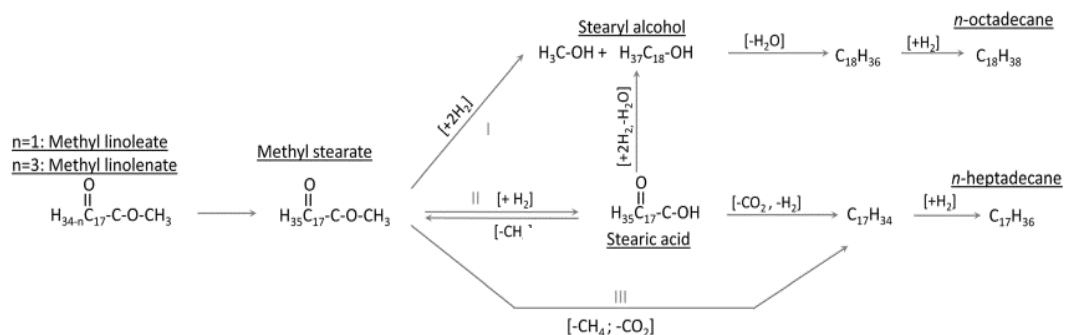


รูปที่ 4.1.7 แสดงตัวอย่างปาล์มไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์จากปาล์มไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 ถึง 18 อะตอม น้ำ มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้คือ จากผลโครมาโทแกรมที่แสดงให้เห็นว่ามีสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 16 และ 18 อะตอมอยู่ในผลิตภัณฑ์ ($C_{n+1}H_{2n+4}$) เกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไบโอดีเซลกับไฮโดรเจนโดยการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะ C-O ทำให้ได้เป็นอัลเคน น้ำ และมีเทน (สมการที่ 4.3.1) ในทางกลับกันสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 17 อะตอม (C_nH_{2n+2}) เกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาตามสมการที่ 4.3.2 โดยการเกิดปฏิกิริยาคัลลัสกับการเกิดสมการที่ 4.3.1 แต่จะมีการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะ C-C แทนทำให้สูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอม จึงพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง โดยสามารถพบการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วยการวิเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hachemi และคณะ [23] ที่ทำการศึกษการเปรียบเทียบของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลที่ไม่มีซัลเฟอร์และพาลาเดียมในปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันเพื่อกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของสารตั้งต้นไบโอดีเซลไว้ดังรูปที่ 4.1.8



รูปที่ 4.1.8 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเมทิลไลโนเลเอต [23]

โดยเริ่มต้นที่ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของสารตั้งต้นไปโอดีเซลชนิดไม่อิ่มตัวไปเป็นไปโอดีเซลชนิดอิ่มตัว จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาเพื่อผลิตสารประกอบอัลเคนด้วย 3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นน้ำ มีเทน เมทานอล คาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด 3 ปฏิกิริยาคือการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่อิ่มตัว ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันในการเกิดสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 14 16 18 อะตอม และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเพื่อให้ได้สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 17 อะตอม ทั้งนี้ไม่สามารถระบุการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่มีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้แน่ชัด เนื่องจากไม่สามารถนำแก๊สออกไปวิเคราะห์ได้ โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองสามารถคาดได้ว่าจะมีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาไปในทิศทางเดียวกัน

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การทำกระบวนการไฮโดรทรีตติงของไปโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมนั้น เกิดปฏิกิริยาค้ำยกับการไฮโดรทรีตติงของสารตั้ง 2 ชนิดข้างต้น ประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักที่เหมือนกัน แต่เนื่องจากสารตั้งต้นไปโอดีเซลนั้นมีหมู่อัลคิลต่อแทนที่ไฮโดรเจนจึงทำให้มีเส้นทางในการเลือกเกิดปฏิกิริยาที่หลากหลายกว่า

ดังนั้นสรุปได้ว่าการทำกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่นและไปโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมนั้น ประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม โดยสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอินและกรดไขมันปาล์มกลั่นมีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่เหมือนกันและให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นที่เกิดขึ้นเหมือนกันคือ น้ำ คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Veriansyah และคณะ[21] ได้กล่าวถึงการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ว่าไม่สามารถวัดได้เพราะเกิดปฏิกิริยาออกเตอร์แก๊สซิฟต์ ทำให้ไม่สามารถระบุการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้แน่ชัด ดังนั้นในการอภิปรายงานวิจัยนี้จึงจะกล่าวรวมเป็นปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเพียงตัวเดียว เพราะพบการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นเพียงตัวเดียว ในส่วนของไปโอดีเซลนั้นจะมีเส้นทางในการเกิดปฏิกิริยาที่น้อย

กว่าคือมีแค่เพียงปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจิเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยจะให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นน้ำ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์

4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณกรดไขมัน อิสระ สารประกอบอัลเคน และน้ำ โดยทำการศึกษาระดับตั้งต้น 3 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่น และปาล์มไบโอดีเซล ณ สภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส

4.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์มโอเลอิน ณ สภาวะเริ่มต้นมีคาร์บอนไดออกไซด์อิสระอยู่ที่ร้อยละ 0.07 และไม่พบน้ำอยู่ในสารตั้งต้น ตารางที่ 4.2.7 ถึง 4.2.9 แสดงผลของคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ คาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอัลเคนโดยรวม และคาร์บอนไดออกไซด์การเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ ณ สภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน โดยเปรียบเทียบที่ความดันเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์อิสระลดลงจนเหลือค่าน้อยมาก ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่คาร์บอนไดออกไซด์อิสระคงเหลืออยู่ที่ 0.8 ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการพิจารณาคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้ำและปริมาณอัลเคนมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้ำ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอื่นๆ ถึง 2 เท่า และมีคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณอัลเคนต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิตั้งแต่ 320 องศาเซลเซียส ถึง 380 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้ำลดลงประมาณร้อยละ 1 โดยรวม และปริมาณสารประกอบอัลเคนลดลงเล็กน้อยร้อยละ 3 ถึง 4 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์คาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์สารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสวนทางกับคาร์บอนไดออกไซด์คาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ทั้ง 2 สภาวะความดัน นอกจากนี้เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณค่าการเลือกเกิดระหว่างอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคู่ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีลักษณะการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอน 15 ต่อ 16 อะตอม และ อัลเคนคาร์บอน 17 ต่อ 18 อะตอมเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.2.7 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

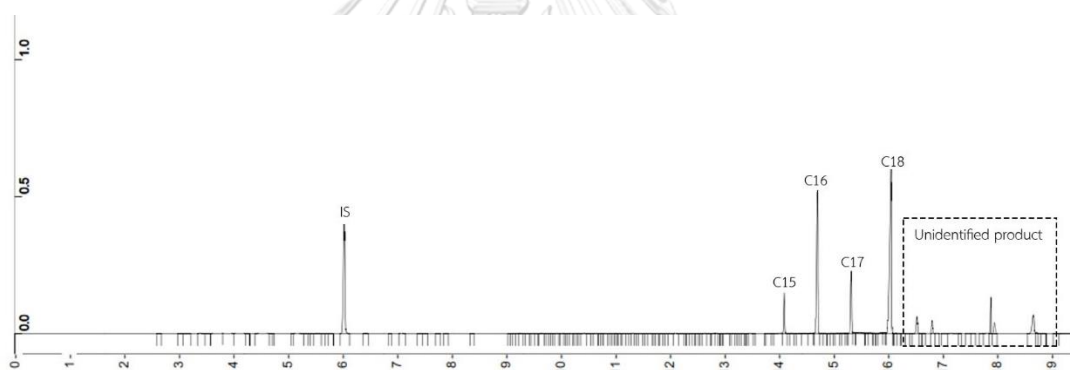
อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.95	0.08	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	3.12	7.50	6.90	6.71	6.62
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	77.28	81.14	80.4	79.33	79.15
ปริมาณ C 15	6.96	8.46	9.43	10.01	10.90
ปริมาณ C 16	22.47	21.35	21.11	19.30	18.95
ปริมาณ C 17	12.19	15.86	16.77	18.71	19.90
ปริมาณ C 18	35.66	35.47	33.09	31.31	29.40
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.33	0.42	0.48	0.55	0.61
C17/C18	0.36	0.47	0.54	0.63	0.72

ตารางที่ 4.2.8 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.81	0.02	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	4.02	8.81	8.18	7.76	7.69
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	72.93	82.4	81.49	79.7	79.37
ปริมาณ C 15	6.02	6.92	7.82	8.32	9.58
ปริมาณ C 16	21.42	22.92	22.46	20.9	20.66
ปริมาณ C 17	10.27	12.88	14.47	15.6	16.8
ปริมาณ C 18	35.22	39.68	36.74	34.88	32.33
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.30	0.32	0.37	0.42	0.49
C17/C18	0.31	0.34	0.42	0.47	0.55

ตารางที่ 4.2.9 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.8	0.05	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	4.23	8.83	8.79	8.39	8.54
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	70.19	80.84	79.19	78.99	78.82
ปริมาณ C 15	4.66	5.50	6.86	8.07	8.76
ปริมาณ C 16	21.15	24.09	22.91	21.92	21.06
ปริมาณ C 17	9.34	10.86	12.66	14.43	15.68
ปริมาณ C 18	35.04	40.39	36.76	34.57	33.32
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.23	0.24	0.32	0.39	0.44
C17/C18	0.28	0.28	0.36	0.44	0.50



รูปที่ 4.2.9 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 300 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างมีปริมาณกรดไขมันอิสระคงเหลืออยู่มากกว่าตัวอย่างที่อุณหภูมิอื่น จึงถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์คงเหลือ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ไม่พบไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ พบแต่โมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณน้อยมากเพียงร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ไตรกลีเซอไรด์สามารถแตกตัวมาเป็นกรดไขมันอิสระได้ ณ สภาวะอุณหภูมินี้ แต่มีการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นได้ซ้ำจึงทำให้ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระยังคงเหลืออยู่บางส่วน โดยจากผลการทดลองในส่วนของค่าร้อยละปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนยังสามารถยืนยันได้ว่า การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรตีออกซิเจเนชันและดีคาร์บอกซิเลชันของกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นได้ซ้ำจริง จึงทำให้ได้ค่าร้อยละปริมาณ

น้ำและสารประกอบอัลเคนเกิดขึ้นได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่น นอกจากนี้หากพิจารณาประกอบกับรูปที่ 4.2.9 ผลโครมาโทแกรมแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยสารที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนอยู่ ซึ่งส่งผลให้สารประกอบอัลเคนที่ได้นั้นมีค่าลดลง ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simacek และคณะ[24] ซึ่งได้ศึกษากระบวนการไฮโดรโพรเซสซึ่งของน้ำมันเมล็ดเรพ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 260 ถึง 340 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 260 ถึง 300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลืออยู่บางส่วน และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสารประกอบอัลเคนในปริมาณน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 310 องศาขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเฉพาะสารประกอบอัลเคนเท่านั้นโดยไม่พบกรดไขมันอิสระเหลืออยู่เลย ดังนั้นจากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโอเลอินนี้

จากหัวข้อที่ 4.1.1 ข้างต้นที่ได้อธิบายการเกิดกระบวนการไฮโดรทรีตติงของน้ำมันปาล์มโอเลอินไว้แล้วนั้น กล่าวถึงสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ที่จะมีการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระก่อน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 320 องศาเซลเซียสขึ้นไป แสดงให้เห็นว่า ไม่พบปริมาณร้อยละโดยมวลของโมนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ในสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งหมายถึงว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ได้สมบูรณ์ หลังจากนั้นกรดไขมันอิสระจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นสารประกอบอัลเคน โดยเมื่อพิจารณาค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสขึ้นไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นพาราฟินได้ดีขึ้น ทำให้ได้ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระที่มีค่าน้อยมาก โดยเมื่อทำการวิเคราะห์พาราฟินที่เกิดขึ้นนั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไม่พบปริมาณสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวจำพวกแอลคีน กล่าวคือกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในสารตั้งต้นถูกทำให้เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันก่อนเกิดปฏิกิริยาเป็นพาราฟิน แล้วเมื่อนำพาราฟินไปทำการวิเคราะห์พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนมีค่าลดลง โดยสารประกอบอัลเคนที่พบว่าลดลงนั้นเป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิจีเนชันด้วยการแตกตัวแอลกอฮอล์ที่อยู่กับหมู่คาร์บอกซิลิกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่และน้ำ จึงทำการพิจารณาปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น ผลการ

ทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นกัน ทั้งนี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิสูง ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Atthapon และคณะ[19] ที่ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับแกมมาอะลูมินา ที่สภาวะอุณหภูมิ 270 300 330 360 390 และ 420 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามากกว่า 300 องศาขึ้นไป ส่งผลให้ปฏิกิริยาการแตกตัวไตรกลีเซอไรด์ได้สมบูรณ์จึงไม่พบปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ โดยเมื่อพิจารณาผลการทดลองตั้งแต่อุณหภูมิ 270 ถึง 330 มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นกลับมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มสูงกว่า 330 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป

จากผลการพิจารณาในส่วนของสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่อัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า กรดไขมันอิสระคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมในสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้มากยิ่งขึ้น โดยการตัดพันธะ C-C ทำให้กรดไขมันอิสระที่เป็นสารตั้งต้นเกิดการสูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอม จึงได้อัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่เพิ่มสูงขึ้น เพื่ออธิบายแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงได้ทำการคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์คาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อคาร์บอนอะตอมเลขคี่ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่ดีขึ้นในสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shaofeng และคณะ[25] ที่ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตตินัมพาลาเดียมและนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 330 350 370 และ 390 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วยอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 330 องศาเซลเซียส ส่งผลให้พันธะ C-C มีโอกาสที่จะแตกตัวง่ายขึ้น ทำให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคี่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันสามารถเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 300 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดแตกตัวเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระได้ทั้งหมด และกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัวสามารถเกิดไฮโดรจีเนชันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระที่อิ่มตัวได้สมบูรณ์เช่นกัน แต่ที่ 300 องศาเซลเซียส กรดไขมันอิสระไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อได้หมด จึงต้องใช้อุณหภูมิที่มากกว่า 320 องศาเซลเซียสขึ้นไปแทน โดยเมื่อพิจารณาค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนและน้ำโดยมวลที่มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ลดลง ส่งผลให้สารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้ยังสามารถเห็นได้จากค่าการเลือกเกิดของสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคู่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่เพิ่มมากขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลให้ได้ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 320 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นกรดไขมันปาล์มกลับ

สารตั้งต้นกรดไขมันปาล์มกลับมีค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ที่ 85.87 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 13.5 และไม่มีน้ำอยู่ในสารตั้งต้น ตารางที่ 4.2.10 ถึง 4.2.12 แสดงผลของค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ ค่าร้อยละปริมาณน้ำ ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวล และค่าร้อยละการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ ณ สภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน ที่ความดันเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระลดลงจนเหลือค่าน้อยมาก ยกเว้นอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสในทุกสภาวะความดันและที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ทำให้ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระคงเหลืออยู่ที่ 0.2 ถึง 1.1 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ โดยเมื่อทำการพิจารณาค่าร้อยละปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำและปริมาณอัลเคนมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่มีค่าร้อยละปริมาณน้ำและร้อยละปริมาณอัลเคนต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิตั้งแต่ 320 องศาเซลเซียสถึง 380 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำลดลงประมาณร้อยละ 0.5 โดยมวล และปริมาณสารประกอบอัลเคนลดลงเล็กน้อยร้อยละ 2 ถึง 4 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสวนทางกับค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ทุกสภาวะความดัน ที่มีร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสประมาณร้อยละ 7 นอกจากนี้เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดระหว่างอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อเลขคู่ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้กรดไขมันพาล์มกลันมีลักษณะการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอน 15 ต่อ 16 อะตอม และ อัลเคนคาร์บอน 17 ต่อ 18 อะตอมเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 450 และ 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่าอัลเคนคาร์บอน 17 ต่อ 18 อะตอมมีค่าสูงกว่าที่ 320 องศาเซลเซียส เล็กน้อย

ตารางที่ 4.2.10 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันพาล์มกลัน

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	1.19	0.23	0.04	0.04	0.03
ปริมาณน้ำ (%wt)	5.79	9.76	10.18	9.87	9.32
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	78.23	91.63	90.05	88.07	87.55
ปริมาณ C 15	5.67	6.68	8.07	8.49	9.65
ปริมาณ C 16	27.52	34.93	33.96	32.32	31.7
ปริมาณ C 17	9.80	8.62	10.02	10.81	11.29
ปริมาณ C 18	35.24	41.4	38.00	36.45	34.91
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.22	0.20	0.25	0.28	0.32
C17/C18	0.29	0.22	0.28	0.31	0.34

ตารางที่ 4.2.11 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันปาล์มกลั่น

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.53	0.04	0.03	0.04	0.04
ปริมาณน้ำ (%wt)	10.27	10.82	10.6	10.91	10.61
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	75.58	91.00	90.27	90.09	89.29
ปริมาณ C 15	3.95	5.31	7.66	8.34	9.1
ปริมาณ C 16	28.69	35.99	33.61	33.05	32.30
ปริมาณ C 17	7.19	7.51	9.68	10.48	11.23
ปริมาณ C 18	35.75	42.19	39.32	38.22	36.66
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.15	0.16	0.24	0.27	0.30
C17/C18	0.21	0.19	0.26	0.29	0.32

ตารางที่ 4.2.12 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของกรดไขมันปาล์มกลั่น

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.41	0.04	0.03	0.04	0.38
ปริมาณน้ำ (%wt)	8.94	11.15	11.05	10.65	10.03
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	79.29	92.71	90.85	90.13	89.03
ปริมาณ C 15	3.26	4.99	6.12	7.89	8.51
ปริมาณ C 16	34.34	38.29	36.85	33.26	32.04
ปริมาณ C 17	5.34	6.35	7.45	10.12	10.91
ปริมาณ C 18	36.35	43.08	40.43	38.86	37.57
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.10	0.14	0.18	0.25	0.28
C17/C18	0.16	0.16	0.20	0.28	0.31



รูปที่ 4.2.10 แสดงโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากกรดไขมันปาล์มกลั่นที่ 300 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองข้างต้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสในทุกสภาวะความดัน และที่ 320 องศาเซลเซียส ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระคงเหลืออยู่มากกว่าตัวอย่างที่อุณหภูมิอื่น และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์คงเหลือ แสดงให้เห็นว่าไม่พบไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ พบแต่โมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณน้อยมาก จึงสามารถอธิบายได้ว่าไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดี แต่กรดไขมันอิสระจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้าที่อุณหภูมินี้ นอกจากนี้ผลการทดลองในส่วนผลการทดลองในส่วนของคาร์บอนิลและสารประกอบอัลเคนยังสามารถยืนยันได้ว่า การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชันและดีคาร์บอกซิเลชันของกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นได้ช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้หากพิจารณาประกอบกับรูปที่ 4.2.10 ผลโครมาโทแกรมแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยสารที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนอยู่ ซึ่งส่งผลให้สารประกอบอัลเคนที่ได้นั้นมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 320 องศาเซลเซียสขึ้นไปแสดงให้เห็นว่า ไม่พบปริมาณร้อยละโดยมวลของโมโนกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ในสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งหมายถึงว่าไตรกลีเซอไรด์ในสารตั้งต้นกรดไขมันปาล์มกลั่นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ และกรดไขมันอิสระทั้งหมดสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ต่อ โดยเมื่อพิจารณาคาร์บอนิลปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสขึ้นไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นพาราฟินได้ดีทำให้ได้คาร์บอนิลกรดไขมันอิสระที่มีค่าน้อยมาก โดยปฏิกิริยาไฮโดรจันชันก่อนเกิดปฏิกิริยาเป็นพาราฟินทำให้ไม่พบปริมาณสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวจำพวกแอลคีน และเมื่อนำพาราฟินไปทำการวิเคราะห์พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คาร์บอนิลสารประกอบอัลเคนมีค่าลดลง โดยสารประกอบอัลเคนที่พบว่าลดลงนั้นเป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชันเปลี่ยนเป็นสารประกอบอัลเคน

คาร์บอนอะตอมเลขคู่และน้ำ จึงทำการพิจารณาปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นกัน ทั้งนี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดไขมันปาล์มกลั่นเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิสูงซึ่งคล้ายกับสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากผลการพิจารณาในส่วนของสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า กรดไขมันอิสระคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมในสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้มากยิ่งขึ้น โดยเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมจากการคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์คาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่ดีขึ้นในสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของน้ำมันปาล์มโอเลอินและงานวิจัยของ Sawarach (15) ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชันของกรดไลโนเลอิก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่สภาวะอุณหภูมิ 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 17 และ 18 อะตอมเป็นหลัก และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิมากกว่า 350 องศาเซลเซียสจะมีการเกิดปฏิกิริยาแทรกกิ่งได้มากขึ้น ส่งผลให้พบปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 17 อะตอมมากขึ้นเช่นกัน จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันสามารถเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันปาล์มกลั่นได้ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน กล่าวคือไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดแตกตัวเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียส กรดไขมันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันได้ทั้งหมดและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันและดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิมากกว่า 320 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้มากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ลดลง จึงได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลให้ได้ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 320 องศาเซลเซียส

4.2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสารตั้งต้นไบโอดีเซล

ปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น มีค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ที่ 0.02 และไม่มีน้ำ เป็นองค์ประกอบในสารตั้งต้น ตารางที่ 4.2.13 ถึง 4.2.15 แสดงผลของค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ ค่าร้อยละปริมาณน้ำ ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวล และค่าร้อยละการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ ณ สภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน ที่ความดันเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยเมื่อทำการพิจารณาผลการทดลองของค่าร้อยละปริมาณน้ำและปริมาณสารประกอบอัลเคน แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำและปริมาณสารประกอบอัลเคนมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสวนทางกับค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ลดลง จึงนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดระหว่างอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคู่ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปาล์มไบโอดีเซลมีลักษณะการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอน 15 ต่อ 16 อะตอม และ อัลเคนคาร์บอน 17 ต่อ 18 อะตอมเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.2.13 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไบโอดีเซล

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.91	7.98	7.93	7.74	7.63
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	83.19	83.2	82.29	82.27	82.02
ปริมาณ C 15	7.93	9.54	10.29	11.41	12.03
ปริมาณ C 16	27.82	26.21	25.57	24.82	23.59
ปริมาณ C 17	13.32	14.57	15.96	16.32	16.78
ปริมาณ C 18	34.12	32.88	30.47	29.72	29.62
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.30	0.39	0.43	0.49	0.52
C17/C18	0.41	0.47	0.55	0.58	0.60

ตารางที่ 4.2.14 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไบโอดีเซล

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	8.58	9.34	8.46	8.41	7.94
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	82.52	82.46	82.41	82.1	80.61
ปริมาณ C 15	6.88	7.83	8.77	9.18	9.94
ปริมาณ C 16	29.54	28.97	28.31	27.19	25.86
ปริมาณ C 17	9.39	10.53	11.92	13.19	13.71
ปริมาณ C 18	36.71	35.13	33.41	32.54	31.4
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.25	0.29	0.33	0.36	0.41
C17/C18	0.27	0.32	0.37	0.43	0.47

ตารางที่ 4.2.15 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วของปาล์มไบโอดีเซล

อุณหภูมิ	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C	380 °C
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	9.63	9.61	9.08	8.32	8.23
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%)	81.82	81.74	81.63	81.06	80.53
ปริมาณ C 15	5.29	5.65	7.19	8.45	8.92
ปริมาณ C 16	31.19	29.97	28.95	27.88	26.95
ปริมาณ C 17	7.06	7.89	9.82	11.26	12.65
ปริมาณ C 18	38.28	38.23	35.67	33.47	32.01
อัตราส่วนการเลือกเกิด					
C15/C16	0.18	0.20	0.26	0.32	0.35
C17/C18	0.20	0.22	0.29	0.36	0.42

จากผลการทดลองข้างต้นอธิบายได้ว่า ที่สภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สารประกอบเมทิลเอสเทอร์เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นพาราฟินได้ลดลง ทำให้ได้ค่าร้อยละปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนลดลงเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของสารประกอบอัลเคนที่พบในผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไม่พบปริมาณสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวจำพวกแอลคีน จึงคาดว่ามีการเกิดไฮโดรจีเนชันทำให้เป็นสารที่อิ่มตัวก่อนเกิดปฏิกิริยาเป็นพาราฟิน

นอกจากนี้ผลการทดลองการกระจายตัวของสารประกอบอัลเคน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันด้วยการแตกตัวแอลกอฮอล์ที่อยู่กับหมู่คาร์บอกซิลิกเกิดขึ้นได้ลดลงจริง ทำให้ได้ร้อยละสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่น้อยลง ในขณะที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะ C-C หรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้เพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมจากการคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์คาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่อคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่ดีขึ้นในสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาร้อยละปริมาณน้ำที่ได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันที่มีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้น้อยลงจริงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันของพาล์มไบโอดีเซลเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิสูงซึ่งคล้ายกับสารตั้งต้นน้ำมันพาล์มโอเลอินและกรดไขมันพาล์มกลั่น ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของน้ำมันพาล์มโอเลอิน และกรดไขมันพาล์มกลั่น

โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwon และคณะ[26] ทำการศึกษาปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเจเนชันของเมทิลลอรเรตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม โดยทำการศึกษาอุณหภูมิ 300 ถึง 375 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดลอรริกที่ลดลงและปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 11 อะตอมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีปริมาณแก๊สมีเทนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของไบโอดีเซลสามารถเกิดขึ้นได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิสูง

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นโดยใช้น้ำมันพาล์มโอเลอินและกรดไขมันพาล์ม กล่าวคืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจเนชันของสารตั้งต้นได้ก่อน จึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันและดีคาร์บอกซิเลชันได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีลักษณะการเลือกเกิดเป็นปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้มากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันได้ลดลง จึงได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลให้ได้คาร์บอนอะตอมร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.2.16 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกันซึ่งพิจารณาจากคาร์บอนอะตอมกรด น้ำ และคาร์บอนอะตอมอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม

เป็นหลัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลจะมีสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดในการทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นชนิดอื่น โดยเมื่อพิจารณาปาล์มโอเลอินและปาล์มไบโอดีเซล ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ของน้ำมันโอเลอินจากจะมีค่าปริมาณกรดต่ำกว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้หากพิจารณาค่าร้อยละปริมาณน้ำและค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนในผลิตภัณฑ์ จะเห็นว่า กรดไขมันปาล์มกลั่นจะให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 11.15 และ 92.71 ตามลำดับ และรองมาเป็นปาล์มไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.2.16 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบบของอุณหภูมิเมื่อใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน

สารตั้งต้น	อุณหภูมิ	ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%wt)			สารประกอบอัลเคน (%wt)			
		กรด	น้ำ	อัลเคน	C15	C16	C17	C18
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	320	0.02	8.83	80.84	5.50	24.09	10.86	40.39
กรดไขมันปาล์มกลั่น	320	0.04	11.15	92.71	4.99	38.29	6.34	43.08
ปาล์มไบโอดีเซล	300	0.02	9.63	81.82	5.29	31.19	7.06	38.28

จากผลการทดลองสารตั้งต้นที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่าสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่น และปาล์มไบโอดีเซลจะมีสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 320 320 และ 300 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยจากผลการวิเคราะห์ไม่พบสารประกอบอัลเคนที่ไม่อิ่มตัวเหลืออยู่ จึงคาดว่าสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันได้สมบูรณ์ และยังพบว่าสารตั้งต้นปาล์มโอเลอินและกรดไขมันปาล์มกลั่นมีปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 320 องศาเซลเซียสจึงไม่พบไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ผลการทดลองโดยรวมจะเห็นได้ว่าสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมเหมือนกันเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิคือ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรตีออกซิเจเนชันได้ลดลง และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กรดไขมันปาล์มกลั่นมีความเหมาะสมในการผลิตสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมากที่สุด โดยสภาวะการทดลองที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งให้ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม รวมกันอยู่ที่ 81.37

4.3 ผลกระทบของความดันต่อสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของความดันที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบอัลเคน และน้ำ โดยทำการศึกษาระดับตั้งต้น 3 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่น และปาล์มไปโอดีเซล ณ สภาวะความดันที่ 450 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.3.1 ผลกระทบของความดันต่อสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ตารางที่ 4.3.17 ถึง 4.3.21 แสดงผลค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าร้อยละปริมาณน้ำ ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนโดยมวลและค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยสังเกตเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงกว่า 320 องศาเซลเซียส ความดันจะส่งผลให้กรดไขมันมีค่าน้อยมาก โดยเมื่อพิจารณาค่าร้อยละปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนทั้งหมดโดยมวลมีค่าแปรปรวนเล็กน้อย เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าร้อยละสารประกอบอัลเคนลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 77.93 เป็น 70.19 โดยค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมแสดงให้เห็นว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มขึ้น และอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมมีค่าลดลงทุกตัว และหากพิจารณาค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความดันส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคู่มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.3.17 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.95	0.81	0.80
ปริมาณน้ำ (%wt)	3.12	4.02	4.23
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	77.28	72.93	70.19
ปริมาณ C 15	6.96	6.02	4.66
ปริมาณ C 16	22.47	21.42	21.15
ปริมาณ C 17	12.19	10.27	9.34
ปริมาณ C 18	35.66	35.22	35.04
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.33	0.30	0.23
C17/C18	0.36	0.31	0.28

ตารางที่ 4.3.18 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.08	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.50	8.81	8.83
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	81.14	82.40	80.84
ปริมาณ C 15	8.46	6.92	5.50
ปริมาณ C 16	21.35	22.92	24.09
ปริมาณ C 17	15.86	12.88	10.86
ปริมาณ C 18	35.47	39.68	40.39
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.42	0.32	0.24
C17/C18	0.47	0.34	0.28

ตารางที่ 4.3.19 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	6.90	8.18	8.79
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	80.40	81.49	79.19
ปริมาณ C 15	9.43	7.82	6.86
ปริมาณ C 16	21.11	22.46	22.91
ปริมาณ C 17	16.77	14.47	12.66
ปริมาณ C 18	33.09	36.74	36.76
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.48	0.37	0.32
C17/C18	0.54	0.42	0.36

ตารางที่ 4.3.20 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	6.71	7.76	8.39
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	79.33	79.70	78.99
ปริมาณ C 15	10.01	8.32	8.07
ปริมาณ C 16	19.30	20.90	21.92
ปริมาณ C 17	18.71	15.60	14.43
ปริมาณ C 18	31.31	34.88	34.57
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.55	0.42	0.39
C17/C18	0.63	0.47	0.44

ตารางที่ 4.3.21 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.03	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	6.62	7.69	8.54
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	79.15	79.37	78.82
ปริมาณ C 15	10.90	9.58	8.76
ปริมาณ C 16	18.95	20.66	21.06
ปริมาณ C 17	19.90	16.80	15.68
ปริมาณ C 18	29.40	32.33	33.32
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.61	0.49	0.44
C17/C18	0.72	0.55	0.50

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า ความดันไม่ส่งผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในสารตั้งต้น เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมด จึงไม่พบมีไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ แต่ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลงจนเหลือค่าน้อยมาก ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาของกรดไขมันคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมอิสระในสารตั้งต้นเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส กรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาต่อได้ช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นกรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเล็กน้อย ซึ่งหากทำการพิจารณาจากผลของค่าร้อยละปริมาณน้ำ จะเห็นได้ว่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ แสดงถึงการปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันของกรดไขมันอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ นอกจากนี้ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันยังให้สารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ทั้งนี้จึงทำการพิจารณาผลของสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมที่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันเกิดขึ้นได้เพิ่มขึ้นจริง ซึ่งทำให้ได้ค่าปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางกลับกันปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม มีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการบอกละเลาะโดยการตัดพันธะ C-C ของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นได้ยากมากยิ่งขึ้น ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียคาร์บอนอะตอมไปในการทำปฏิกิริยาได้เพิ่มขึ้น โดยจากค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบอัลเคนคาร์บอนเลขคู่ต่อเลขคี่แสดงให้เห็นว่า อัตรา

การเลือกของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่าปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันเกิดขึ้นได้ลดลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwon และคณะ[26] ที่ได้การศึกษาปฏิกิริยาไดออกซิเจเนชันของน้ำมันคาโนลาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ที่สภาวะความดัน 18.25 และ 85.13 บาร์ พบว่าความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้คาร์บอนอะตอมและการแปลงผันและปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 18 อะตอมมีค่าสูงขึ้น และทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่สนใจมีค่าลดลง และงานวิจัยของ ณรงค์วุฒิ [16] ซึ่งได้กล่าวถึงการทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไดออกซิเจเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้ความดันที่แตกต่างกันคือ 450 ถึง 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าสารประกอบอัลเคนและน้ำจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความดัน โดยภายใต้สภาวะความดันสูงน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไดออกซิเจเนชันได้ดี เนื่องจากการพบสารประกอบอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีแนวโน้มสูงขึ้น และมีปริมาณน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงสูงขึ้นเช่นกัน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่สภาวะความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จากการศึกษาผลของความดันโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น สามารถสรุปได้ว่าความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคาร์บอนอะตอมกรดไขมันอิสระเพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลให้คาร์บอนอะตอมน้ำเพิ่มขึ้น จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไดออกซิเจเนชันที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ คาร์บอนอะตอมอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มมากขึ้นและอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันให้เกิดได้ยากมากยิ่งขึ้น และเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไดออกซิเจเนชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลัก ทำให้เมื่อวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของปาล์มโอเลอิน พบว่าที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส จะให้คาร์บอนอะตอมอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมสูงที่สุดอยู่ที่ 24.09 และ 40.39 ตามลำดับ

4.3.2 ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้น

ตารางที่ 4.3.22 ถึง 4.3.26 แสดงผลของคาร์บอนอะตอมกรดไขมันอิสระ คาร์บอนอะตอมน้ำ คาร์บอนอะตอมสารประกอบอัลเคนโดยมวล และค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ โดยใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความดันจะส่งผลให้คาร์บอนอะตอม

กรดไขมันอิสระมีค่าลดลง โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 320 องศาเซลเซียส ความดันที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระลดลงเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อพิจารณาค่าร้อยละปริมาณน้ำ จะเห็นได้ว่าความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากนั้นเมื่อพิจารณาผลของค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวล แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความดันจะส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวลมีค่าแปรปรวนเล็กน้อย โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความดันที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่มีค่าลดลง นอกจากนี้เมื่อทำการคำนวณอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าความดันที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.3.22 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	1.19	0.53	0.41
ปริมาณน้ำ (%wt)	5.79	10.27	8.94
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	78.23	75.58	79.29
ปริมาณ C 15	5.67	3.95	3.26
ปริมาณ C 16	27.52	28.69	34.34
ปริมาณ C 17	9.80	7.19	5.34
ปริมาณ C 18	35.24	35.75	36.35
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.22	0.15	0.10
C17/C18	0.29	0.21	0.16

ตารางที่ 4.3.23 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.23	0.04	0.04
ปริมาณน้ำ (%wt)	9.76	10.82	11.15
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	91.63	91.00	92.71
ปริมาณ C 15	6.68	5.31	4.99
ปริมาณ C 16	34.93	35.99	38.29
ปริมาณ C 17	8.62	7.51	6.34
ปริมาณ C 18	41.40	42.19	43.08
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.20	0.16	0.14
C17/C18	0.22	0.19	0.16

ตารางที่ 4.3.24 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.04	0.03	0.03
ปริมาณน้ำ (%wt)	10.18	10.60	11.05
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	90.05	90.27	90.85
ปริมาณ C 15	8.07	7.66	6.12
ปริมาณ C 16	33.96	33.61	36.85
ปริมาณ C 17	10.02	9.68	7.45
ปริมาณ C 18	38.00	39.32	40.43
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.25	0.24	0.18
C17/C18	0.28	0.26	0.20

ตารางที่ 4.3.25 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.04	0.04	0.04
ปริมาณน้ำ (%wt)	9.87	10.91	10.65
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	88.07	90.09	90.13
ปริมาณ C 15	8.49	8.34	7.89
ปริมาณ C 16	32.32	33.05	33.26
ปริมาณ C 17	10.81	10.48	10.12
ปริมาณ C 18	36.45	38.22	38.86
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.28	0.27	0.25
C17/C18	0.31	0.29	0.28

ตารางที่ 4.3.26 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของกรดไขมันปาล์มกลั่น

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.03	0.04	0.38
ปริมาณน้ำ (%wt)	9.32	10.61	10.03
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	87.55	89.29	89.03
ปริมาณ C 15	9.65	9.10	8.51
ปริมาณ C 16	31.70	32.00	32.04
ปริมาณ C 17	11.29	11.23	10.91
ปริมาณ C 18	34.91	36.66	37.57
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.32	0.30	0.28
C17/C18	0.34	0.32	0.31

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง โดยปริมาณของกรดไขมันอิสระคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมในสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาต่อได้ดี ซึ่งหากทำการพิจารณาจากผลของค่าร้อยละปริมาณน้ำ จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละปริมาณน้ำเกิดได้มากยิ่งขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ เกิดได้จากปฏิกิริยาไฮโดรตีออกซิจีเนชันที่จะให้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาในส่วน of ค่า

ร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่เพิ่มมากขึ้นนั้น เกิดได้จากสารตั้งต้นเกิดการแตกตัว แอลกอฮอล์ที่อยู่กับหมู่คาร์บอกซิลิก เปลี่ยนเป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ได้ดีมากยิ่งขึ้น ในทางกลับกันผลของค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ลดลงนั้น สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มความดันช่วยให้สารตั้งต้นเกิดการแตกพันธะ C-C ได้น้อยลง สารตั้งต้นจึงไม่เกิดการสูญเสียคาร์บอนอะตอมไปในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่แล้วนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อสารตั้งต้นเกิดการสูญเสียอะตอมได้ยากมากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดเป็นอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง หรือกล่าวได้ว่าการเพิ่มความดันช่วยให้ได้สารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาผลกระทบของความดันที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของกรดไขมันปาล์มกลั่น จึงทำการสรุปผลจากการทดลองข้างต้นและอ้างอิงจากงานวิจัยที่ใช้สารตั้งต้นอื่นแทน โดยจะสามารถสรุปได้ดังนี้ ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองของปริมาณน้ำและค่าร้อยละปริมาณของอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้น เกิดได้จากมีการทำปฏิกิริยาไฮโดรตีดออกซิเจนขึ้นได้มากยิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาไปถึงค่าร้อยละการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอมนั้น จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความดันทำให้เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้น้อยลงด้วย

จากการศึกษาผลของความดัน โดยใช้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้นนั้น สามารถสรุปได้ว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาต่อได้ดี โดยการเพิ่มความดันทำให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำและค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกล่าวได้ว่าสารตั้งต้นสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรตีดออกซิเจนขึ้นได้ดีมากยิ่งขึ้น และหากพิจารณาค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง เนื่องมาจากการเกิดอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาข้างเคียงมีค่าลดลง ดังนั้นจึงได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของกรดไขมันปาล์มกลั่น คือ ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมอยู่ที่ 38.29 และ 43.08 ตามลำดับ

4.3.3 ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น

ตารางที่ 4.3.27 ถึง 4.3.31 แสดงผลของค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ ค่าร้อยละปริมาณน้ำ ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวล และค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความดันไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่ความดันส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณน้ำอย่างเห็นได้ชัดคือ เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน และหากพิจารณาค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวล จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวลมีค่าลดลง โดยเมื่อนำสารตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 อะตอมแล้วนั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่มีค่าลดลง จากนั้นเมื่อทำการคำนวณค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.3.27 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสของปาล์มไบโอดีเซล

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.91	8.58	9.63
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	83.19	82.52	81.82
ปริมาณ C 15	7.93	6.88	5.29
ปริมาณ C 16	27.82	29.54	31.19
ปริมาณ C 17	13.32	9.39	7.06
ปริมาณ C 18	34.12	36.71	38.28
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.30	0.25	0.18
C17/C18	0.41	0.27	0.20

ตารางที่ 4.3.28 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสของปาล์มไบโอดีเซล

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.98	9.34	9.61
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	83.20	82.46	81.74
ปริมาณ C 15	9.54	7.83	5.65
ปริมาณ C 16	26.21	28.97	29.97
ปริมาณ C 17	14.57	10.53	7.89
ปริมาณ C 18	32.88	35.13	38.23
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.39	0.29	0.20
C17/C18	0.47	0.32	0.22

ตารางที่ 4.3.29 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสของปาล์มไบโอดีเซล

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.93	8.46	9.08
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	82.29	82.41	81.63
ปริมาณ C 15	10.29	8.77	7.19
ปริมาณ C 16	25.57	28.31	28.95
ปริมาณ C 17	15.96	11.92	9.82
ปริมาณ C 18	30.47	33.41	35.67
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.43	0.33	0.26
C17/C18	0.55	0.37	0.29

ตารางที่ 4.3.30 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสของปาล์มไบโอดีเซล

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.74	8.41	8.32
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	82.27	82.10	81.06
ปริมาณ C 15	11.41	9.18	8.45
ปริมาณ C 16	24.82	27.19	27.88
ปริมาณ C 17	16.32	13.19	11.26
ปริมาณ C 18	29.72	32.54	33.47
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.49	0.36	0.32
C17/C18	0.58	0.43	0.36

ตารางที่ 4.3.31 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสของปาล์มไบโอดีเซล

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	450	750	1050
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.02	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.63	7.94	8.23
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	82.02	80.91	80.53
ปริมาณ C 15	12.03	9.94	8.92
ปริมาณ C 16	23.59	25.86	26.95
ปริมาณ C 17	16.78	13.71	12.65
ปริมาณ C 18	29.62	31.40	32.01
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.52	0.41	0.35
C17/C18	0.60	0.47	0.42

จากผลของความดันที่ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาแสดงให้เห็นว่า ความดันไม่ส่งผลให้สารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระ จึงทำให้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่การเพิ่มความดันส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณน้ำอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ การเพิ่มความดันส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิฟิเคชันซึ่งจะได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเพิ่มมากยิ่งขึ้น และจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิฟิเคชัน จึงทำให้ค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอน

อะตอมเลขคู่มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าร้อยละอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลงนั้น เกิดขึ้นได้จากสารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลสามารถทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้น้อยลง โดยเมื่อพิจารณาผลของค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่ลดลงนั้น สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มความดันช่วยให้สารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลเลือกเกิดเป็นอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ได้ยากมากยิ่งขึ้น โดยสารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลไม่เกิดการสูญเสียคาร์บอนอะตอม แต่เกิดการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ที่หมู่คาร์บอกซิลิกของสารตั้งต้นมาเป็นอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่และน้ำแทน ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่แล้ว จะเห็นได้ว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นอัตราส่วนการเลือกเกิดมีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwon และคณะ [26] ทำการศึกษาปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชันของเมทิลลอรเรตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนแกรมาอะลูมินา โดยทำการศึกษาความดัน 23.77 ถึง 46.52 บาร์ พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้ค่าอัลเคนคาร์บอน 12 อะตอมเพิ่มมากขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของค่าอัลเคนคาร์บอน 12 อะตอมสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ไฮโดรเจนสามารถละลายในวัฏภาคของเหลวได้มากยิ่งขึ้น และความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นในวัฏภาคของของเหลวยังส่งผลให้ค่าร้อยละการแปลงผันของเมทิลลอรเรตที่เปลี่ยนไปเป็นอัลเคนคาร์บอน 12 อะตอมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย

จากการศึกษาผลของความดันโดยใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้นสามารถสรุปได้ว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่ส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณน้ำ คือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละปริมาณน้ำสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ที่เกิดได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีขึ้น และการเพิ่มขึ้นของความดันยังช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียง ทำให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่ออัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มีค่าลดลงด้วย จากผลการทดลองทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงโดยใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นสารตั้งต้นคือ ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ค่าร้อยละปริมาณอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมอยู่ที่ 31.19 และ 38.28 ตามลำดับ

ตาราง 4.3.32 แสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบของความดันโดยใช้สารตั้งต้นที่ต่างกันซึ่งพิจารณาจากคาร์บอนปริมาณกรดไขมันอิสระ คาร์บอนปริมาณน้ำ และคาร์บอนปริมาณอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ณ สภาวะความดันเดียวกันคือ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยเมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสารทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีค่ากรดไขมันอิสระที่น้อยมาก ซึ่งหากพิจารณาคาร์บอนปริมาณน้ำและคาร์บอนปริมาณสารประกอบอัลเคนจะเห็นได้ว่ากรดไขมันพาล์มกลั่นจะให้คาร์บอนปริมาณน้ำ และคาร์บอนปริมาณอัลเคนโดยมวลสูงที่สุด รองลงมาเป็นพาล์มไบโอดีเซล และพาล์มโอเลอิน ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันพาล์มกลั่นจะให้คาร์บอนปริมาณอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมสูงที่สุดอีกด้วย

ตารางที่ 4.3.32 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของความดันเมื่อใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน

สารตั้งต้น	ความดัน	ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%wt)			สารประกอบอัลเคน (%wt)			
		กรด	น้ำ	อัลเคน	C15	C16	C17	C18
น้ำมันพาล์มโอเลอิน	1050	0.02	8.83	80.84	5.50	24.09	10.86	40.39
กรดไขมันพาล์มกลั่น	1050	0.04	11.15	92.71	4.99	38.29	6.34	43.08
พาล์มไบโอดีเซล	1050	0.02	9.63	81.82	5.29	31.19	7.06	38.28

จากการเปรียบเทียบสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิด คือ พาล์มโอเลอิน กรดไขมันพาล์มกลั่นและพาล์มไบโอดีเซล เมื่อความดันในการทำให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดมีสภาวะความดันที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือที่ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระได้สมบูรณ์จึงทำให้ไม่พบกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ และมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรตีออกซิเจนชันได้ดีมากยิ่งขึ้น จึงทำให้พบสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่และน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่ปฏิกิริยาตีคาร์บอกซิเลชันเกิดขึ้นได้ลดลง ซึ่งทำให้พบสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ได้ลดลงเช่นกัน

โดยสามารถอธิบายได้เพิ่มเติมได้จากตาราง 4.3.33 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้สารตั้งต้นที่ต่างกันซึ่งพิจารณาจากคาร์บอนปริมาณน้ำ คาร์บอนปริมาณสารประกอบอัลเคนโดยมวลและค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อคาร์บอนอะตอมเลขคู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ณ สภาวะความดันเดียวกันคือ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยน้ำมันพาล์มโอเลอินและกรดไขมันพาล์มกลั่นมี

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ในขณะที่สารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซลมีสถานะอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 300 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอินและปาล์มไบโอดีเซลจะมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าที่ได้จากกรดไขมันปาล์มกลั่นเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อทำการพิจารณาค่าร้อยละปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะเห็นว่า กรดไขมันปาล์มกลั่นจะให้ค่าร้อยละปริมาณน้ำสูงที่สุดซึ่งเท่ากับร้อยละ 11.15 รองลงมาเป็นปาล์มไบโอดีเซล และปาล์มโอเลอินตามลำดับ นอกจากนี้กรดไขมันปาล์มกลั่นจะให้สารประกอบอัลเคนได้มากที่สุดอีกด้วย แต่จากค่าการเลือกเกิดแสดงให้เห็นว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นมีการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์อัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ได้น้อยที่สุด ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่มากที่สุดแทน

ตารางที่ 4.3.33 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

สารตั้งต้น	น้ำมันปาล์มโอเลอิน	กรดไขมันปาล์มกลั่น	ปาล์มไบโอดีเซล
ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	1050	1050	1050
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	320	320	300
ค่าของกรด (%wt)	0.02	0.04	0.02
ปริมาณน้ำ (%wt)	8.83	11.15	9.63
ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%wt)	80.84	92.71	81.82
อัตราส่วนการเลือกเกิด			
C15/C16	0.24	0.14	0.18
C17/C18	0.28	0.16	0.20

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า กรดไขมันปาล์มกลั่นจะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันได้มากที่สุด ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดที่มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากกรดไขมันปาล์มกลั่นมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่น้อยกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำให้กรดไขมันปาล์มกลั่นมีการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ได้รวดเร็วและเหลือปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อมากขึ้น ในทางกลับกันน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอย่างปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและดีคาร์บอนิเลชันมากที่สุด ซึ่งทำให้เห็นว่าค่าอัตราการเลือกเกิดมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเกิดจากที่สารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอินที่จะต้องเกิดการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกรดไขมันก่อน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่อได้ช้ากว่าและสูญเสียแก๊สออกไปทั้งไฮโดรเจนและโพรเพน และถึงแม้ว่าปาล์มไบโอดีเซลจะไม่มีการแตกตัวเปลี่ยนเป็นกรดไขมันก่อนนั้น แต่ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ไบโอดีเซลยังมีค่าอัตราส่วนการเลือกเกิดของสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่ต่อเลขคู่ที่มากกว่ากรดไขมันพาล์มกลันเพียงเล็กน้อย แต่น้อยกว่าน้ำมันพาล์มโอเลอินอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าได้ว่าพาล์มไบโอดีเซลจะมีการเกิดปฏิกิริยาต่อที่รวดเร็วใกล้เคียงกับกรดไขมันพาล์มกลัน แต่ที่มีค่าไม่เท่ากันนั้น เกิดขึ้นจากที่สารตั้งต้นไบโอดีเซลนั้นจะมีการแตกตัวออกได้เป็นแก๊สมีเทนด้วย ทำให้ต้องใช้ไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันเพิ่มขึ้นอีก 1 โมลรวมเป็นทั้งหมด 4 โมล จึงส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาของไบโอดีเซลเลือกเกิดไปเป็นปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันซึ่งต้องการไฮโดรเจนเพียงแค่ 1 โมลได้เพิ่มมากขึ้นแทน

นอกจากนี้ยังได้ทำการอธิบายผลกระทบต่อน้ำที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่แตกต่างกันดังตาราง 4.3.34 ซึ่งแสดงค่าร้อยละปริมาณน้ำตามทฤษฎีของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน โดยคำนวณจากลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นข้างต้น ผลการคำนวณตามทฤษฎีแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันพาล์มกลันจะสามารถเกิดน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันได้มากที่สุด คือร้อยละ 12.92 โดยหากเกิดเพียงปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเพียงอย่างเดียวจะได้น้ำที่ร้อยละ 6.49 และจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของพาล์มไบโอดีเซลจะพบว่าน้ำที่เกิดขึ้นนั้น สามารถเกิดขึ้นได้แค่เพียงจากปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันเท่านั้น

ตารางที่ 4.3.34 แสดงค่าร้อยละปริมาณน้ำตามทฤษฎีของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

ชื่อปฏิกิริยา	ร้อยละปริมาณน้ำตามทฤษฎี (%wt)		
	น้ำมันพาล์มโอเลอิน	กรดไขมันพาล์มกลัน	พาล์มไบโอดีเซล
ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชัน	12.68	12.92	12.69
ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน	6.34	6.49	-
ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน	-	-	-

เนื่องด้วยไม่มีข้อมูลทางการวิจัยที่อธิบายการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน จึงทำการคำนวณค่าตามทฤษฎีของกลไกการเกิดปฏิกิริยาในบทที่ 4.1 โดยนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สารตั้งต้นกรดไขมันพาล์มกลันสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจเนชันได้ดีกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น เนื่องจากสารตั้งต้นกรดไขมันพาล์มกลันสามารถเกิดปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องมีการสูญเสียโพรเพนและมีเทนไปในการทำปฏิกิริยาอย่างน้ำมันพาล์มโอเลอินและพาล์มไบโอดีเซลตามกลไกการเกิดปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ และเมื่อทำการพิจารณาสารตั้งต้นน้ำมันพาล์มโอเลอิน พบว่าปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่างปฏิกิริยา

ไฮโดรต็อกซิเจนชั้นและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชัน แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นได้น้อยกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น คาดว่าเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิเลชันหรือปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่อทำการพิจารณาสารตั้งต้นปาล์มไบโอดีเซล จะเห็นได้ว่าคาร์บอนอะตอมที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าคาร์บอนอะตอมที่ปล่อยออกมาตามทฤษฎี ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าไบโอดีเซลมีการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นที่ได้น้ำเป็นผลพลอยได้นั้นมีค่าลดลง ทั้งนี้จากผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น ที่แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่และน้ำได้มากกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น ในขณะที่น้ำมันปาล์มโอเลอินจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้มากกว่า จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคี่ที่มากกว่า

ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ผลกระทบของอุณหภูมิ จะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาหลักเพิ่มมากขึ้น โดยปาล์มไบโอดีเซลจะมีสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดอยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส ปาล์มกลั่นกรดไขมันและน้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ที่ 320 องศาเซลเซียส และสารทั้ง 3 ชนิดจะให้ผลดีที่สุดที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบสารตั้งต้นที่สภาวะที่ดีที่สุดแล้ว พบว่าสารตั้งต้นที่เหมาะสมในการผลิตสารประกอบอัลเคนคาร์บอนอะตอมเลขคู่คือ กรดไขมันปาล์มกลั่น ซึ่งกรดไขมันปาล์มกลั่นสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิเจนชั้นได้ดีกว่าและเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงน้อยกว่าสารตั้งต้นอีกทั้ง 2 ชนิด จึงทำให้กรดไขมันปาล์มกลั่นเป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำการทดลองครั้งนี้ โดยจะได้คาร์บอนอะตอมสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมอยู่ที่ร้อยละ 38.29 และ 43.08 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน กรดไขมันปาล์มกลั่น และปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ในสภาวะอุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ความดัน 450 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. กระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของสารตั้งต้นทั้งสามชนิดที่เกิดขึ้นประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยนอกจากนี้สารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอินและกรดไขมันปาล์มกลั่น ยังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ้งก่อนเพื่อแตกตัวไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระ ในขณะที่ปาล์มไบโอดีเซลสามารถเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกับทั้ง 2 ชนิดข้างต้น โดยปฏิกิริยาทั้งหมดนี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอม นอกจากนี้ น้ำที่เกิดขึ้นยังมีการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอย่างปฏิกิริยาอวเตอรแกสซิฟต์อีกด้วย
2. ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น น้ำมันปาล์มโอเลอินและกรดไขมันปาล์มกลั่นจะเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์ได้สมบูรณ์มากขึ้น จึงไม่พบกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์คงเหลืออยู่ โดยสารตั้งต้นทั้งสามชนิดจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ลดลง จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำและสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมลดลง แต่ไปเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันแทน โดยอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินและกรดไขมันปาล์มกลั่น คือ 320 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปาล์มไบโอดีเซล อยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส
3. ผลกระทบของความดันแสดงให้เห็นว่า เมื่อความดันในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง แต่ความดันส่งผลที่สวนทางกลับอุณหภูมิมือ ความดันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้มากขึ้นและลดการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันลง ส่งผลให้ได้ปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน อะตอมเลขคู่มากกว่าอะตอมเลขคี่ โดยสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิดจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีที่สุดที่สภาวะความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสารตั้งต้นทั้งสามชนิด พบว่ากรดไขมันปาล์มกลั่นจะให้ปริมาณสารประกอบอัลเคนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม และน้ำสูงสุดเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไดออกซิเจนชันได้ดีที่สุดเช่นกัน แต่ในทางกลับกันน้ำมันปาล์มโอเลอินมีร้อยละปริมาณน้ำ และสารประกอบอัลเคน คาร์บอนอะตอมเลขคี่สูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันได้ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสภาวะการทดลองในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิจัยในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สจึงไม่สามารถระบุแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้นได้ หากทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมอาจส่งผลให้สามารถระบุปฏิกิริยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในส่วนของสภาวะการทดลองนั้น หากทำการทดลองสารตั้งต้นที่เป็นปาล์มไปโอติเซลที่อุณหภูมิต่ำลง อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันได้เพิ่มขึ้นและเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย



บรรณานุกรม

1. Wikipedia. *Phase-change material*. 2017 [10 November 2017]; Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material.
2. Sutterlin, W., *A brief comparison of ice packs, salts, paraffins and vegetable-derived phase change materials*. PureTemp [online]. Plymouth: PureTemp, 2014.
3. Oils, B.F. *What Is Paraffin and What Are Its Uses?* [12 November 2017]; Available from: <http://birminghamfueloils.co.uk/what-is-paraffin-and-what-are-its-uses/>.
4. ไทยรัฐออนไลน์. เชื้อเพลิงชีวมวล เชื้อเพลิงดาวรุ่ง. 2560; Available from: <https://www.thairath.co.th/content/847708>.
5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, มวลชีวภาพ(Biomass). Available from: <https://sites.google.com/site/bioenergynaka/phlangngan-haeng-xnakht/phuch-phlangngan-chnid-him>.
6. Global, S. *HYDROTREATING*. Available from: <http://www.shell.com/business-customers/global-solutions/refinery-technology-licensing/hydrotreating.html>.
7. เจริญวงศ์, ภ., การไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียรีน และกรดไขมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. Sotelo-Boyas, R., Y. Liu, and T. Minowa, *Renewable diesel production from the hydrotreating of rapeseed oil with Pt/Zelite and NiMo/Al₂O₃ catalysts*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2010. **50**(5): p. 2791-2799.
9. Santikunaporn, M. and S. Ejaroj, *Production of hydrocarbons from palm oil over NiMo catalyst*. Am Trans on Eng & Appl Sci, 2012. **1**: p. 183-194.
10. what-when-how. *Fundamentals of Hydrotreating Part 1*. Available from: <http://what-when-how.com/petroleum-refining/fundamentals-of-hydrotreating-part-1/>.
11. PennState. *Hydrodenitrogenation*. Available from: <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/hydrodenitrogenation>.
12. RESOURCES, R. *An Introduction to Sulfiding of Hydrotreating Catalysts*. Available from: <http://www.reactor-resources.com/sulfiding-services/sulfiding-101.html>.

13. บริษัทซีพีเอฟเออะโกรเทคจำกัด. ประโยชน์ของปาล์มน้ำมัน. 2017; Available from: <http://www.cpiagrotech.com/knowledge-002/>.
14. Absi-Halabi, M., 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.
15. จิรเสวตกุล, ภ., ไฮโดรต้ออกซิเจนชั้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. เจ้าแก่นแก้ว, ณ., ไฮโดรออกซิเจนชั้นของน้ำมันเมล็ดโนปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
17. Kiatkittipong, W., et al., *Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevant refining palm oil*. Fuel processing technology, 2013. **116**: p. 16-26.
18. ชูโต, ศ., ปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโคบอลต์โมลิบดีนัม. 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. Srifa, A., et al., *Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS 2/Y-Al 2 O 3 catalyst*. Bioresource technology, 2014. **158**: p. 81-90.
20. Guan, Q., et al., *Hydrodeoxygenation of methyl palmitate over MCM-41 supported nickel phosphide catalysts*. Catalysis Today, 2016. **259**: p. 467-473.
21. Veriansyah, B., et al., *Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: effect of catalysts*. Fuel, 2012. **94**: p. 578-585.
22. Bhattacharjee, S. and C.-S. Tan, *Hydrodeoxygenation of oleic acid in hexane containing pressurized CO₂ using Fe/SBA-15 as catalyst*. Journal of Cleaner Production, 2017. **156**: p. 203-213.
23. Hachemi, I., et al., *Comparative study of sulfur-free nickel and palladium catalysts in hydrodeoxygenation of different fatty acid feedstocks for production of biofuels*. Catalysis Science & Technology, 2016. **6**(5): p. 1476-1487.
24. Šimáček, P., et al., *Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-based biodiesel*. Fuel, 2009. **88**(3): p. 456-460.
25. Gong, S., et al., *Hydrotreating of jatropha oil over alumina based catalysts*.

Energy & Fuels, 2012. **26**(4): p. 2394-2399.

26. Kwon, K.C., et al., *Catalytic deoxygenation of liquid biomass for hydrocarbon fuels*. Renewable Energy, 2011. **36**(3): p. 907-915.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐพงศ์ สดใส
วัน เดือน ปี เกิด	8 มิถุนายน 2535
สถานที่เกิด	รพ.กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น-ปลายจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล ในปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาคภาษาอังกฤษ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2558
ที่อยู่ปัจจุบัน	95/309 ซ.15/9 หมู่ 6 หมู่บ้านบัวทอง ถ.กาญจนาภิเษก ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY