บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปราย

ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมและนิกเกิลโมลิบดีนัม เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 200 250 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวที่ 0.5 1.0 และ 1.5 ต่อชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละการทดลองทุก 6 ชั่วโมง โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เก็บจากเครื่องปฏิกรณ์จะมีส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นก๊าซ สำหรับผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลวจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ปริมาณน้ำ และค่าของกรด ผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซจะทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แสดงในภาคผนวก ก ภาคผนวก ข ภาคผนวก ค และภาคผนวก ง โดยเนื้อหาในการนำเสนอจะแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบ

4.2 ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน

4.3 ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน

4.4 ผลการทดลองทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

4.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

4.4.2 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

4.5 ผลการทดลองทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

4.5.1 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

4.5.2 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบ

น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระและไขปาล์มสเตียรินออกแล้ว โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีสีเหลืองและมีสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งประกอบด้วยกิ่งของกรดไขมันหลายชนิด องค์ประกอบของกรดไขมันในโมเลกุลน้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถวิเคราะห์ในรูปแบบเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟฟี โดยน้ำหนักโมเลกุลสามารถคำนวณจากค่าของกรดและค่าสปอนนิฟิเคชัน ค่าองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอินแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุล	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Myristic Acid	C14:0	1.0
Palmitic Acid	C16:0	38.7
Stearic Acid	C18:0	-
Oleic Acid	C18:1	49.3
Linoleic Acid	C18:2	10.5
Linolenaic Acid	C18:3	0.4
ผลรวมองค์ประกอบอิ่มตัว		60.2
ผลรวมองค์ประกอบไม่อิ่มตัว		39.7
ผลรวมองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม		38.7
ผลรวมองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม		60.2
คุณสมบัติ		
ร้อยละกรดไขมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		0.10
ค่าของกรด(มก.ของโพแทสเซียมไฮดอกไซด์/ก.ตัวอย่าง)		0.25
ค่าสปอนนิฟิเคชัน(มก.ของโพแทสเซียมไฮดอกไซด์/ก.ตัวอย่าง)		210
น้ำหนักโมเลกุล(กรัม/โมล)		850

ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะมีปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 14 ถึง 18 อะตอม โดยองค์ประกอบหลักจะเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวมีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม ซึ่งจากการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีค่าของกรด 0.25 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นน้ำมันที่ผ่านกระบวนการแยกกรดไขมันและไขสเตียรินออกไปแล้ว

4.2 ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ส่วนของเหลว ทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$ โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน

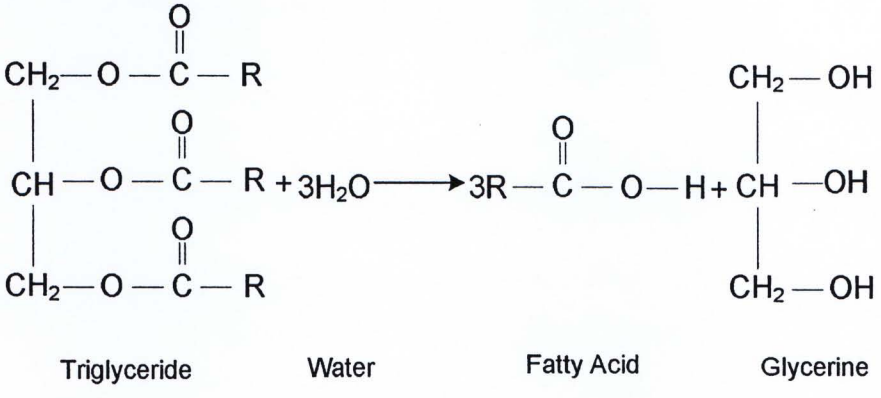
อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	-	-	-
ค่าของกรด	0.27	0.28	0.30	4.12

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน พบว่า ตัวอย่างมีปริมาณของกรดไขมัน โดยไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ

Logan และคณะ [14] ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอร์ไรด์ โดยทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช และน้ำ พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะความดัน 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงดังสมการ



สมการปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอร์ไรด์

ผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ภายใต้อุณหภูมิสูงและภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจนที่สูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จะพบว่าตัวอย่างจะมีค่าของกรดเกิดขึ้น โดยกรดไขมันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างโครงสร้างไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้น ซึ่งค่าของกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หมายถึงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

4.3 ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ส่วนของเหลว ทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจนแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ซม.$^{-1}$ โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ซม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	-	-	-
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	-	-	-
ค่าของกรด	0.26	0.28	0.41	4.17

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันไฮโดรเจน พบว่า ผลิตภัณฑ์ในตัวอย่างมีปริมาณของกรด โดยไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ เช่นเดียวกับผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ภายใต้อุณหภูมิสูง และภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจนที่สูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จะพบว่าตัวอย่างจะมีค่าของกรดเกิดขึ้น โดยกรดไขมันเกิดขึ้นจาก ปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิส ระหว่างโครงสร้างไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นที่ ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และตัวอย่างไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันและไตรกลีเซอร์ไรด์ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันกับก๊าซไฮโดรเจนได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน และผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน จะพบว่าผลการ

ทดลองที่เหมือนกันกล่าวคือ พบกรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอร์ไรด์ และน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้น โดยค่าของกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

4.4 ผลการทดลองทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซที่ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมแสดงในตาราง 4.4 ถึงตาราง 4.6

ตาราง 4.4 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	36.54	83.99	94.05
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	1.35	3.43	5.95
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	13.18	28.15	31.97
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	2.25	5.89	9.46
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	19.74	46.52	46.65
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	7.42	11.56	11.66
ค่าของกรด	10.70	4.74	0.44	0.44
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

ตาราง 4.5 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ซม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ซม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	14.46	70.71	91.75
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	0.65	2.65	5.07
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	5.01	25.90	31.97
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	1.13	3.78	8.27
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	7.65	38.36	46.43
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	4.29	10.71	11.45
ค่าของกรด	7.78	8.60	2.14	0.74
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

ตาราง 4.6 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ซม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

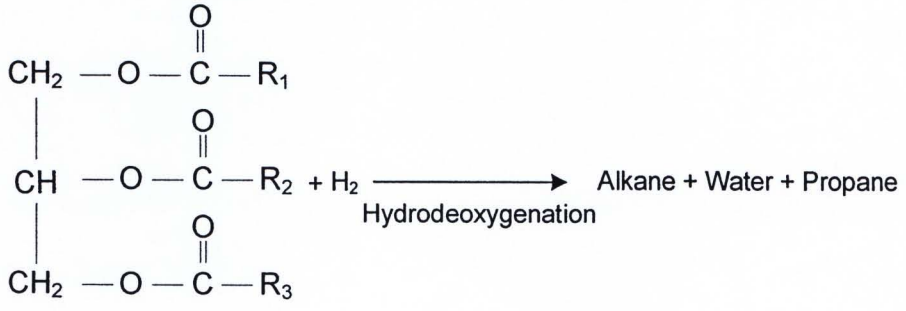
อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ซม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	8.29	62.11	76.91
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	0.41	2.34	3.92
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	2.80	22.55	28.31
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	0.73	3.99	5.92
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	4.33	33.22	38.74
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	3.13	8.46	10.25
ค่าของกรด	6.06	8.90	5.37	3.44
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง พบว่าประกอบด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ18 อะตอมรวมถึงน้ำที่เกิดขึ้นในปริมาณที่มาก ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และยังพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ17 อะตอมเกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย นอกจากนั้นยังตรวจพบ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดไขมัน

เมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ออกซิเจนอะตอมในโครงสร้างของน้ำมันปาล์มโอเลอินจะถูกกำจัดออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาคือ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเทียบเท่ากับจำนวนคาร์บอนของกิ่งกรดไขมันในโครงสร้างของน้ำมันปาล์มโอเลอิน นอกจากนี้ยังมีน้ำและก๊าซโพรเพนเกิดขึ้นพร้อมกันด้วย ดังแสดงในสมการ



Triglyceride

สมการปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันพืช

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พบสารเคมีที่ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน คือ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมไม่เท่ากับจำนวนคาร์บอนอะตอมของสารตั้งต้น คือ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ 17 อะตอม รวมถึงกรดไขมัน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในบางกรณี

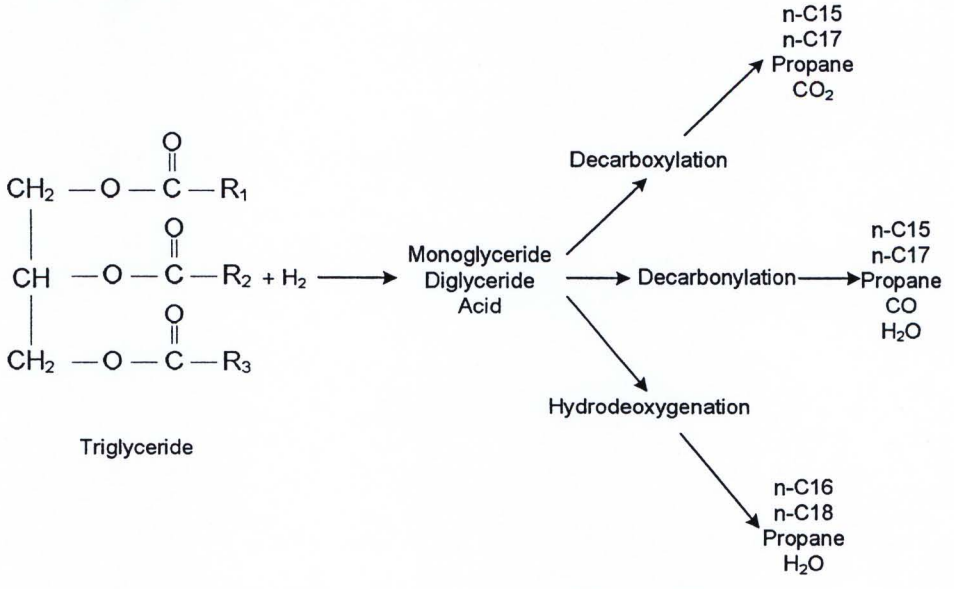
George W. Huber [3] และคณะได้ศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดทานตะวันของพบว่า ปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช มีปฏิกิริยาที่แตกต่างเกิดขึ้นพร้อมกันสามปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอร์ไรด์ให้เป็นสารประกอบประเภทอัลเคน คือ

1.ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน จะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่จำเป็นต้องใช้ไฮโดรเจนและมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม โดยจะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่

2.ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ร่วมเป็น น้ำ และคาร์บอนมอนน็อกไซด์ โดยจะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่

3.ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เป็นปฏิกิริยาเป้าหมายของกระบวนการนี้ เพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นสารประกอบประเภทอัลเคน ซึ่งจะมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม และผลิตภัณฑ์หลักเป็นอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนเอะตอมเป็นเลขคู่

ซึ่งทั้งสามปฏิกิริยาจะมีเอกลักษณ์โดยมีผลิตภัณฑ์ร่วมที่แตกต่างกัน และจะพบสารเคมีที่เกิดในระหว่างปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ เช่น โมโนกลีเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์ และกรดไขมัน ดังแสดงแผนผังปฏิกิริยาแสดงในสมการ



สมการแผนผังปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช

ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะพบการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับแผนผังกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่ George W. Huber ได้เสนอไว้ กล่าวคือพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม 18 อะตอม และน้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม 17 อะตอม และก๊าซ

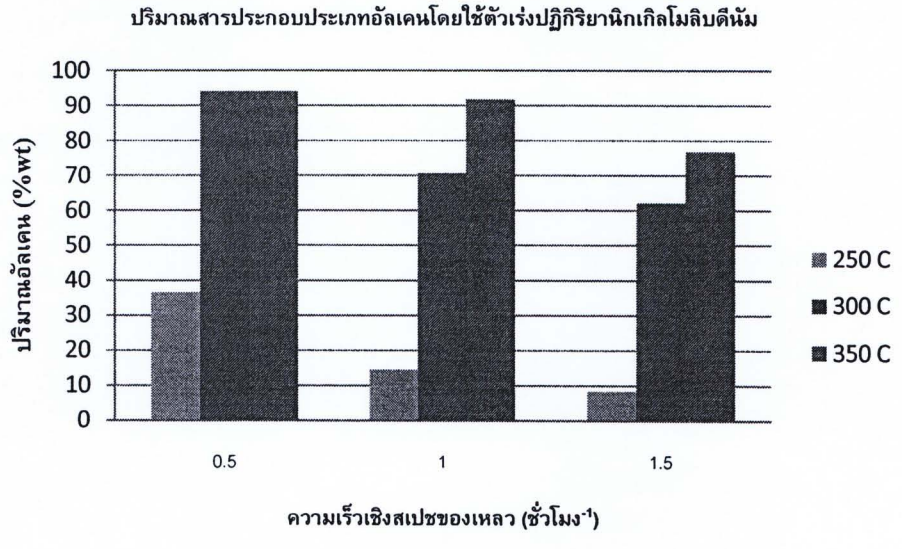
คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน นอกจากนี้คาดว่าน่าจะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันอีกด้วยแต่ไม่สามารถยืนยันได้ชัดเจน เพราะไม่สามารถวิเคราะห์หาก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ได้

4.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

การทดลองจะศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม นำเสนอโดยใช้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนเป็นตัวเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ซึ่งปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนสามารถคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณอัลเคน(กรัม)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างในชั้นน้ำมัน(กรัม)}} \times 100$$

ผลการทดลองทำการเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมเพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ดังแสดงในรูป 4.1



รูป 4.1 ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลการทดลองแสดงถึงผลของอุณหภูมิโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมดังรูป 4.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากัน พบว่าปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันสามารถเกิดได้มากขึ้น ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนจึงมีค่าสูงขึ้น

Pavel Simacek และคณะได้ศึกษากระบวนการไฮโดรโปรเซสซิ่งของน้ำมันเมล็ดเรพโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม พบว่าเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนเพิ่มขึ้น โดยการทดลองที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณสารตั้งต้นอยู่มากและมีผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลเคนในปริมาณที่น้อย และที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียสจะไม่พบสารตั้งต้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยจะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีปริมาณมากกว่าการทดลองที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

จากกฎอัตราจลพลศาสตร์ [16] กล่าวถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีผลขึ้นกับตัวแปรคือความเข้มข้นของสารตั้งต้น และค่าคงที่ของปฏิกิริยา โดยค่าคงที่ของปฏิกิริยาจะมีผลขึ้นกับอุณหภูมิตามสมการของ Arrhenius คือ การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาสูงขึ้นและมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น

ที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์จะมีค่าของกรดสูงแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะไม่สามารถกำจัดออกซิเจนออกจากสารตั้งต้นได้หมด ดังนั้นออกซิเจนบางส่วนจะอยู่ในรูปของกรดไขมัน ในทางกลับกันที่อุณหภูมิสูงค่าของกรดจะลดต่ำลงเพราะว่าออกซิเจนในกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนได้ โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ไม่พบอัลเคนในตัวอย่าง และการใช้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัมจะให้ค่าปริมาณอัลเคนสูงสุด 94.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมง

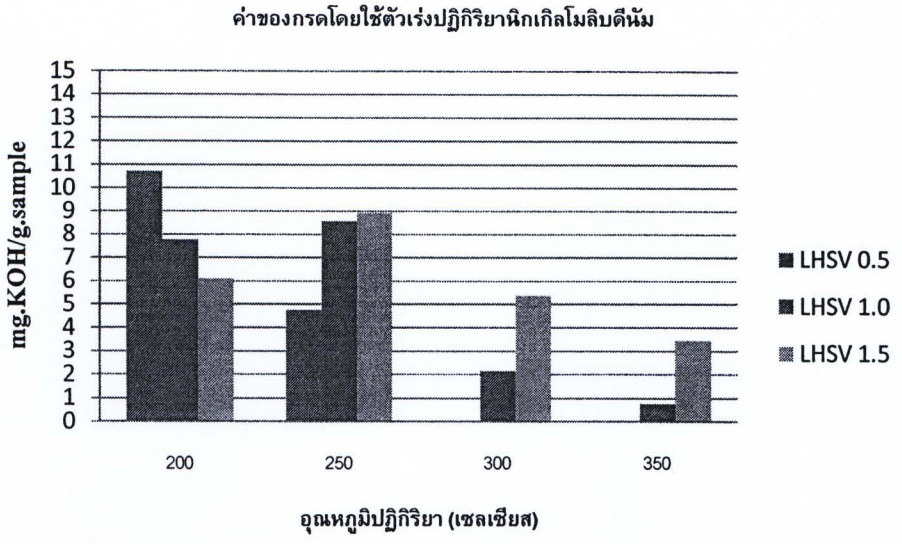
ผลการทดลองการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมดังแสดงในตาราง 4.4 ถึง 4.6 ได้แสดงปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ปริมาณน้ำ ค่าของกรด และการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าอุณหภูมิผลต่อเส้นทางปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินคือ

ที่อุณหภูมิต่ำ (200 องศาเซลเซียส) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ แต่พบว่ามีปริมาณกรดเกิดขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการแตกตัวของน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นกรดไขมัน

ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ 18 อะตอม ซึ่งมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน นอกจากนี้คาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลน่าจะเกิดขึ้นพร้อมกันด้วย เนื่องจากตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ 17 อะตอม แต่ในการทดลองไม่สามารถตรวจสอบก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ได้ และไม่พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสจะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ 18 อะตอม ในปริมาณที่มากกว่า สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ 17 อะตอม ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจิเนชันเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น และมีปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเป็นปฏิกิริยาร่วม

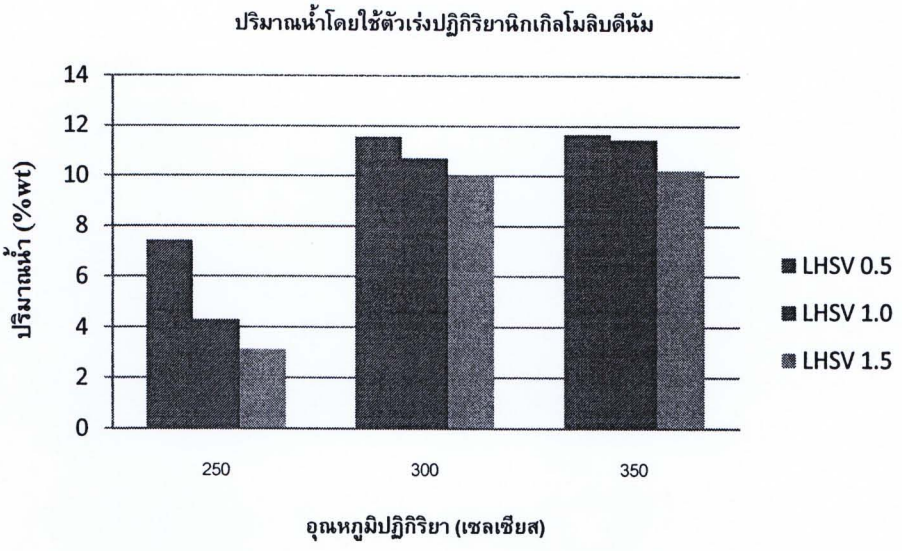
ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมและพบน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมินี้จะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันสามารถเกิดได้มากขึ้นเพราะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ18 อะตอม และน้ำในปริมาณที่มากขึ้น และคาดว่าปฏิกิริยาคาร์บอนิลน่าจะเกิดได้มากขึ้นตามด้วยเพราะพบอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และน้ำ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเกิดขึ้นด้วย เนื่องจากพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนค่าของกรดจะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

ผลการทดลองผลของอุณหภูมิในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเป็นปฏิกิริยาหลัก ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นกรดไขมันเป็นปฏิกิริยาร่วม โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งสามารถเกิดได้ดีขึ้น



รูป 4.2 ค่าของกรดโดยใช้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลการทดลองการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมดังรูป 4.2 พบแนวโน้มที่ชัดเจนระหว่าง อุณหภูมิและค่าของกรด ซึ่งค่าของกรดจะมีค่าต่ำลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อเกิดเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ และที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียสจะพบกรดในปริมาณมากเพราะว่ากรดไขมันไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ที่อุณหภูมิต่ำ



รูป 4.3 ปริมาณน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

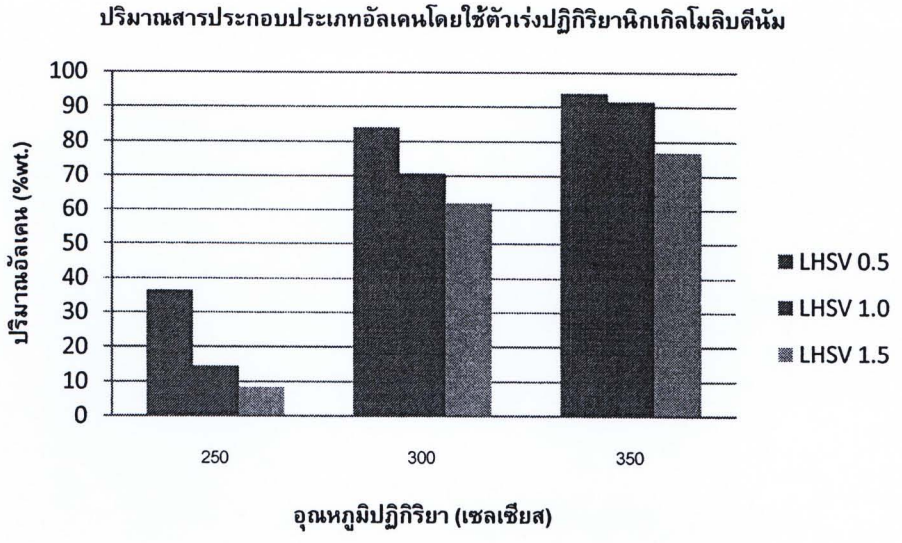
จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากันดังรูป 4.3 จะพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น น้ำจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำจะสูงที่สุดที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 11.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.4.2 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (LHSV) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีนิยามดังนี้

$$\text{ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (ชม.}^{-1}\text{)} = \frac{\text{อัตราการไหลของของเหลว (มล./ชม.)}}{\text{ปริมาตรของเบดบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา (มล.)}}$$

โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเร็วเชิงสเปซของของเหลว ที่ 0.5 1.0 และ 1.5 ต่อชั่วโมง ผลของอัตราการไหลเชิงสเปซของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนแสดงในรูป 4.4



รูป 4.4 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวโดยใช้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัม

ผลการทดลองทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากันดังรูป 4.4 พบว่าปริมาณของประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซของของเหลว ซึ่งมีผลมาจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลดลงมีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์อัลเคนลดลง โดยพบว่าที่ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 และ 1.0 ต่อชั่วโมงจะให้ค่าปริมาณประกอบประเภทอัลเคนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าความเร็วของสเปซของเหลวที่เหมาะสำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมคือ 1 ต่อชั่วโมง เนื่องจาก ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าในการทำปฏิกิริยา

ผลการทดลองผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีผลต่อระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มเร็วเชิงสเปซจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง

4.5 ผลการทดลองทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซที่ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมแสดงในตาราง 4.7 ถึงตาราง 4.9

ตาราง 4.7 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	8.70	39.55	83.58
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	0.14	0.85	3.75
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	3.55	16.21	30.87
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	0.22	1.26	5.12
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	4.77	21.22	43.82
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	3.94	6.13	9.99
ค่าของกรด	1.51	9.23	6.87	3.23
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

ตาราง 4.8 ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ซม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ซม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	3.02	33.23	34.91
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	0.05	0.81	1.65
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	1.22	13.61	14.34
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	0.07	1.16	2.22
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	1.68	17.63	16.69
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	2.77	4.98	5.81
ค่าของกรด	1.18	4.63	7.92	8.28
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

ตาราง 4.9 ผลการทดลองที่ความเร็งเชิวสเปซของเหลว 1.5 ซม.$^{-1}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ซม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-	1.59	20.30	25.02
ปริมาณอัลเคน C15 (% wt.)	-	0.00	0.54	1.10
ปริมาณอัลเคน C16 (% wt.)	-	0.67	8.40	10.48
ปริมาณอัลเคน C17 (% wt.)	-	0.04	0.73	1.38
ปริมาณอัลเคน C18 (% wt.)	-	0.87	10.61	12.04
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-	1.96	2.11	3.08
ค่าของกรด	0.94	3.74	5.03	8.85
คาร์บอนไดออกไซด์	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

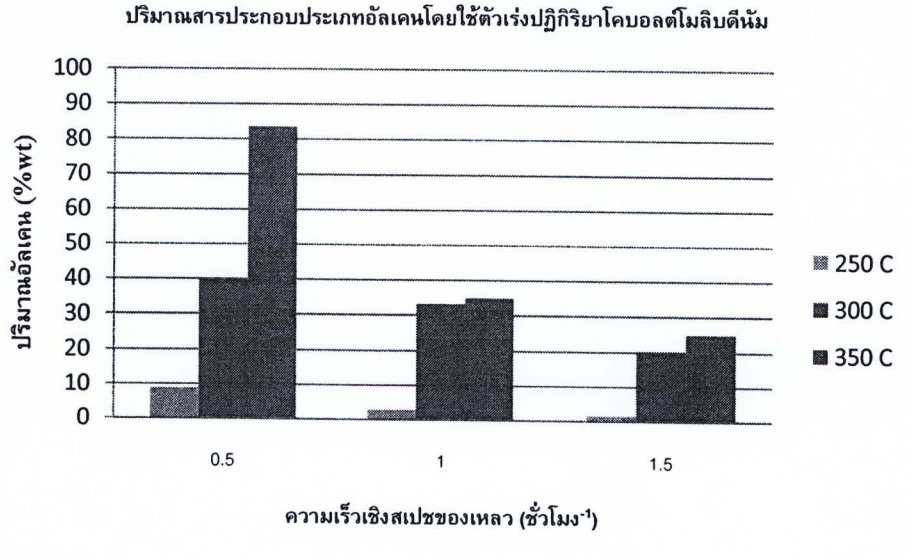
จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมจะพบสารเคมีที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม กล่าวคือพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ18 อะตอมเกิดขึ้นในปริมาณมาก และยังพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ17 อะตอม เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย นอกจากนั้นยังตรวจพบ น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมัน

4.5.1 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

การทดลองจะศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม นำเสนอโดยใช้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนเป็นตัวเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ซึ่งปริมาณสารประกอบอัลเคนสามารถคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณอัลเคน}}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}} \times 100$$

ผลการทดลองทำการเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากันโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมเพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ดังแสดงในรูป 4.5



รูป 4.5 ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลการทดลองผลของอุณหภูมิโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมแสดงในรูป 4.5 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากัน พบว่าปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันสามารถเกิดได้มากขึ้น ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนจึงมีค่าสูงขึ้น

Pavel Simacek และคณะได้ศึกษากระบวนการไฮโดรโปรเซสซิ่งของน้ำมันเมล็ดเรพโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม พบว่าเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สารประกอบประเภทอัลเคนเพิ่มขึ้นโดยพบว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณสารตั้งต้นอยู่มาก ซึ่งมีผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่น้อย และที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียสจะไม่พบสารตั้งต้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่จะพบปริมาณสารประกอบอัลเคนที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

ทฤษฎีจากกฎอัตราจลพลศาสตร์กล่าวถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีผลขึ้นกับตัวแปรคือความเข้มข้นของสารตั้งต้น และค่าคงที่ของปฏิกิริยา โดยกฎของ Arrhenius ได้อธิบายถึงการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาสูงขึ้น มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น

ที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์จะมีค่าของกรดสูง เพราะว่าสารตั้งต้นบางส่วนจะอยู่ในรูปของกรดไขมัน โดยค่าของกรดแสดงในรูป 4.6 และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียสจะไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคนในตัวอย่าง การใช้ตัวเร่งโคบอลต์โมลิบดีนัมจะให้ค่าปริมาณอัลเคนสูงสุด 83.58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงของสเปซของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมง

ผลการทดลองการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมดังแสดงในตาราง 4.7 ถึง 4.9 ได้แสดงปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ปริมาณน้ำ ค่าของกรด และการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าอุณหภูมิผลต่อเส้นทางปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มโอเลอินคือ

ที่อุณหภูมิต่ำ (200 องศาเซลเซียส) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ แต่พบว่ามีปริมาณกรดเกิดขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการแตกตัวของน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นกรดไขมัน

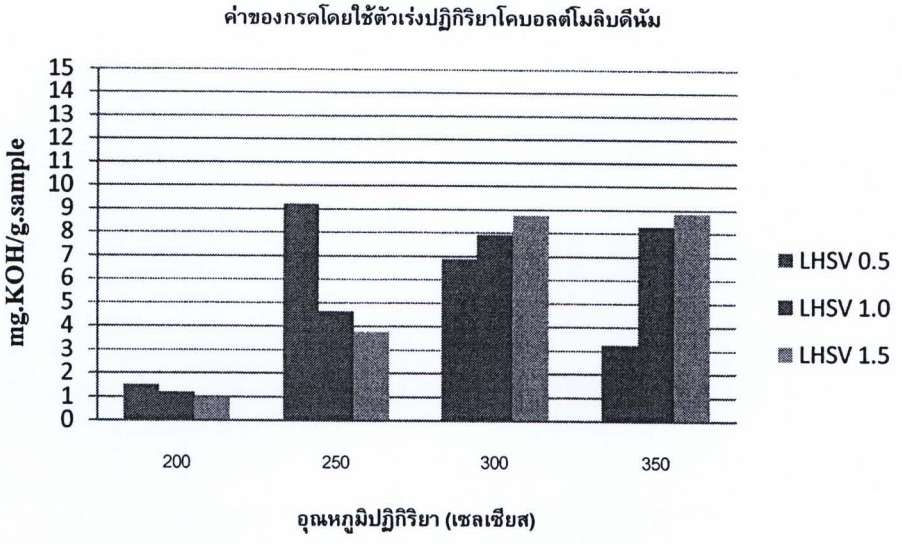
ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ 18 อะตอม ซึ่งมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมซึ่งแสดงถึงการ

เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน นอกจากนี้คาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลน่าจะเกิดขึ้นพร้อมกันด้วย เนื่องจากตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ 17 อะตอม แต่ในการทดลองไม่สามารถตรวจสอบก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ได้ และไม่พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสจะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และ 18 อะตอม ในปริมาณที่มากกว่า สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และ 17 อะตอม ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจิเนชันเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น และมีปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเป็นปฏิกิริยาร่วม

ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตรวจพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 ถึง 18 อะตอมและพบน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมินี้จะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันสามารถเกิดได้มากขึ้นเพราะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ18 อะตอม และน้ำในปริมาณที่มากขึ้น และคาดว่าปฏิกิริยาคาร์บอนิลน่าจะเกิดได้มากขึ้นตามด้วยเพราะพบอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และน้ำ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเกิดขึ้นด้วย เนื่องจากพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนค่าของกรดจะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

ผลการทดลองผลของอุณหภูมิในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเป็นปฏิกิริยาหลัก ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นกรดไขมันเป็นปฏิกิริยาร่วม โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งสามารถเกิดได้ดีขึ้น

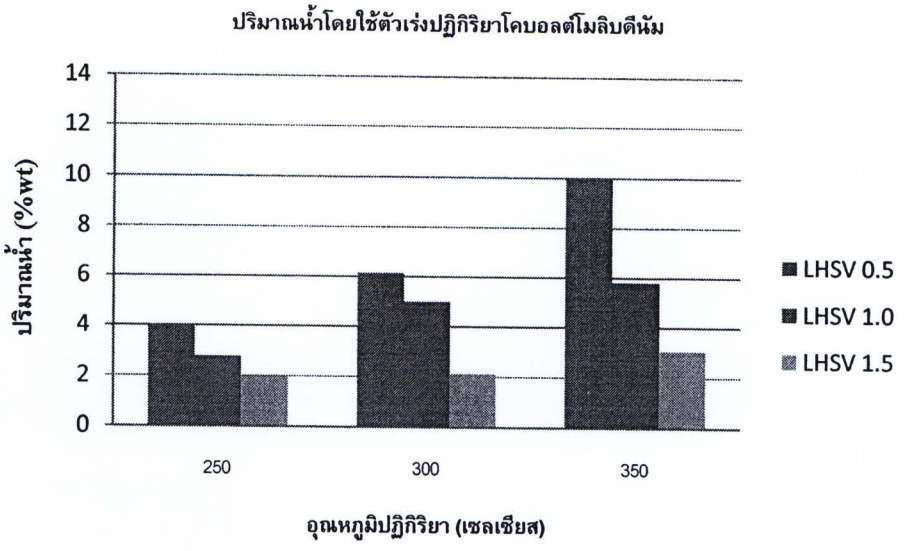
ผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะมีแผนผังปฏิกิริยาเช่นเดียวกับแผนผังปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดทานตะวันดังที่เสนอโดย George W. Huber [3] และคณะ



รูป 4.6 ค่าของกรดโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลการทดลองโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม แสดงถึงความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนระหว่างอุณหภูมิปฏิกิริยา และค่าของกรด แต่พบว่าที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมง มีปริมาณกรดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่ากรดไขมันสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนมากขึ้น เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้

ในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันพืช จะพบน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งปริมาณน้ำจะเป็นข้อมูลที่บอกถึงปริมาณออกซิเจนที่กำจัดออกจากโมเลกุลของน้ำมันพืช โดยปริมาณน้ำจะต้องมีความสอดคล้องกับปริมาณของอัลเคนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยในงานวิจัยนี้จะนำค่าปริมาณน้ำใช้เพื่อยืนยันความสอดคล้องต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน โดยค่าปริมาณน้ำแสดงในรูป 4.7



รูป 4.7 ปริมาณน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากัน จะพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันจะสามารถเกิดได้มากขึ้น และปริมาณน้ำจะมีค่าสูงที่สุดที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 9.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแนวโน้มปริมาณน้ำจะสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนคือ ปริมาณน้ำและปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้มากขึ้น เพื่อกำจัดออกซิเจนในน้ำมันพืชและกรดไขมัน โดยออกซิเจนจะถูกกำจัดออกในรูปของน้ำ

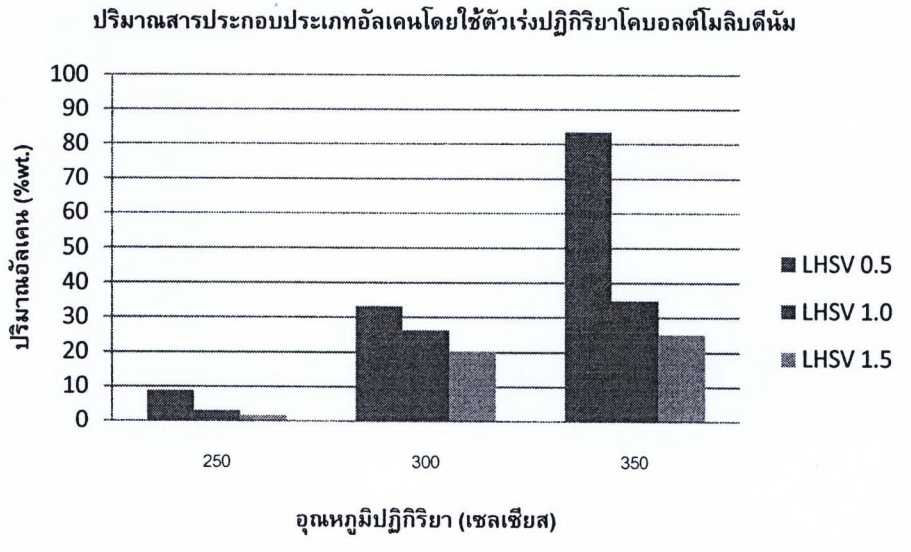
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม จะได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมในปริมาณมากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

4.5.2 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (LHSV) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลอย่างต่อเนื่อง โดยที่ความเร็วเชิงสเปซต่ำจะมีสารที่วิ่งอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาที่นานกว่า ความเร็วเชิงสเปซที่สูง ซึ่งความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีนิยามดังนี้

$$\text{ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (ชม.}^{-1}\text{)} = \frac{\text{อัตราการไหลของของเหลว (มล./ชม.)}}{\text{ปริมาตรของเบดบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา (มล.)}}$$

โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเร็วเชิงสเปซของของเหลว ที่ 0.5 1.0 และ 1.5 ต่อชั่วโมง ผลของอัตราการไหลเชิงสเปซของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมแสดงในรูป 4.8



รูป 4.8 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

ผลการทดลองทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากันดังรูป 4.8 พบว่า ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลงความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลมาจากระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงหมายถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะ

ลดลง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สารประกอบประเภทอัลเคนมีค่าลดลง การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมควรเลือกความเร็วเชิงสเปซที่ 0.5 ต่อชั่วโมงเนื่องจากให้ค่าปริมาณประกอบประเภทอัลเคนสูงที่สุด

ผลการทดลองผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีผลต่อระยะเวลาที่สารทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มเร็วเชิงสเปซจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง

4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบในส่วนของผลของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน, ปริมาณน้ำ และค่าของกรด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม โดยคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงในตาราง 4.10 และการเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงในตาราง 4.11

ตาราง 4.10 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

คุณสมบัติ	นิกเกิลโมลิบดีนัม	โคบอลต์โมลิบดีนัม
ปริมาณนิกเกิล (% wt)	3.5	-
ปริมาณโคบอลต์ (% wt)	-	3.5
ปริมาณโมลิบดีนัม (% wt)	15.0	13.7
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	170.63	193.82
น้ำหนักที่บรรจุในเบด(กรัม)	24.76	23.32
ปริมาตรของเบด (มล.)	30	30

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตาราง 4.11 เปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	200	250	300	350
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-(-)	36.54(8.70)	83.99(39.55)	94.05(83.58)
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-(-)	7.42(3.94)	11.56(6.13)	11.66(9.99)
ค่าปริมาณกรด	10.70(1.51)	4.74(9.23)	0.44(6.87)	0.44(3.23)
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-(-)	14.46(3.02)	70.71(33.23)	91.75(34.91)
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-(-)	4.29(2.77)	10.71(4.98)	11.45(5.81)
ค่าปริมาณกรด	7.78(1.18)	8.60(4.63)	2.14(7.92)	0.74(8.28)
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ชม.$^{-1}$				
ปริมาณอัลเคน (% wt.)	-(-)	8.29(1.59)	62.11(20.30)	76.91(25.02)
ปริมาณน้ำ (% wt.)	-(-)	3.13(1.96)	8.46(2.11)	10.25(3.08)
ค่าปริมาณกรด	6.06(0.94)	8.90(3.74)	5.37(5.03)	3.44(8.85)

*ผลการทดลองที่ไม่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม และผลการทดลองที่ใส่วงเล็บเป็นผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างโคบอลต์โมลิบดีนัมและนิกเกิลโมลิบดีนัม เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน พบว่าตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัมจะให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนและปริมาณน้ำสูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งแสดงถึงตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถใช้เพื่อเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม สาเหตุหลักเนื่องมากจากการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเพื่อเติมไฮโดรเจนลงในพันธะที่ไม่อิ่มตัว ได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัม ดังนั้นการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลจะทำการเติมไฮโดรเจนลงสู่พันธะที่ว่าง แล้วจึงตัดพันธะของออกซิเจนออก ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมจะมีความแตกต่างกันคือ จะทำการตัดพันธะออกซิเจนก่อนแล้วจึงเติมไฮโดรเจนลงสู

พันธะที่ว่าง [3], [13] ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ตัวเร่งนิกเกิลโมลิบดีนัมทำงานได้ดีกว่า เนื่องจากพันธะที่อิ่มตัวของระหว่าง (C-O) สามารถตัดได้ง่ายกว่าพันธะที่ไม่อิ่มตัวระหว่าง C=O [13] ดังนั้นนิกเกิลโมลิบดีนัมจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเพื่อสังเคราะห์สารประกอบอัลเคนจากน้ำมันพืช