# บทที่ 4

# ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์ม การทดลองทำที่อุณหภูมิ 200 250 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิง-สเปซของของเหลว 0.5 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$ ที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ทุกๆ 6 ชั่วโมง โดยตัวอย่างที่เก็บจะมีทั้งส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นก๊าซ ตัวอย่างส่วนที่เป็นของเหลวจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน การกระจายตัวของสารประกอบประเภทอัลเคน ค่าของกรด ปริมาณน้ำ และความหนาแน่น ตัวอย่างส่วนที่เป็นก๊าซทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการทดลองนำเสนอในหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สารตั้งต้น

4.2 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน

4.3 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน

4.4 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น

4.5 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น

4.6 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น

## 4.1 ผลการวิเคราะห์สารตั้งต้น

การทดลองจะใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์ม ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมัน และค่าของกรดของสารตั้งต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.1 น้ำมันปาล์มโอเลอินคือ น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นทำให้บริสุทธิ์ เมื่อผ่านกระบวนการกลั่น น้ำมันที่ได้จะมีสองชั้นคือ ชั้นที่เป็นของเหลวและชั้นที่เป็นไข ในส่วนของชั้นที่เป็นของเหลวจะเรียกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องจะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน

4.1.2 ปาล์มสเตียรินคือ น้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการกลั่น ในส่วนของชั้นที่เป็นไขจะเรียกว่าปาล์มสเตียริน ซึ่งในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องจะเป็นของแข็งสีขาว

4.1.3 กรดไขมันปาล์มคือ ผลพลอยได้ซึ่งได้มาการจากการกลั่นบริสุทธิ์ของน้ำมันปาล์มดิบ ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องจะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน

**ตารางที่ 4.1** องค์ประกอบของกรดไขมันและค่าของกรดของสารตั้งต้น

| ชนิดกรดไขมัน | โอเลอิน | สเตียริน | กรดไขมันปาล์ม |
|---|---|---|---|
| C 14:0 | 1 | 1.3 | 1.1 |
| C 16:0 | 38.7 | 58.3 | 49.9 |
| C 18:0 | 0 | 6 | 4.2 |
| C 18:1 | 49.3 | 29.1 | 35.3 |
| C 18:2 | 10.5 | 4.9 | 8.6 |
| C 18:3 | 0.4 | 0.3 | 0.9 |
| ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว | 39.7 | 65.6 | 55.2 |
| ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว | 60.2 | 34.3 | 44.8 |
| ค่าของกรด | 0.25 | 0.44 | 218.59 |

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง)

**ชนิดของกรดไขมัน : (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์มมีองค์ประกอบชนิดของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง 14 ถึง 18 อะตอม โดยองค์ประกอบหลักจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม ซึ่งจากการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียริน จะมีค่าของกรด 0.25 และ0.44 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง เพราะว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียรินเป็นน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลั่นทำให้บริสุทธิ์แล้วแยกกรดไขมันออกไปแล้ว

## 4.2 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน

น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียรินมีโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นไตรกลีเซอร์ไรด์เหมือนกัน ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นแบบจำลองในการทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจนเป็นสารตั้งต้น

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลว ทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่** 4.2 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$

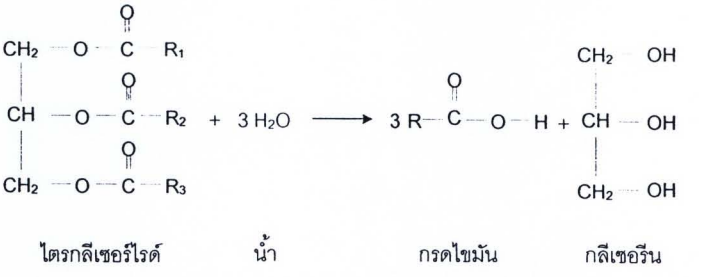
| อุณหภูมิ (เซลเซียส) | 200 | 250 | 300 | 350 |
|---|---|---|---|---|
| **ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$** | | | | |
| ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน (% wt.) | - | - | - | - |
| ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน C15 (% wt.) | - | - | - | - |
| ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน C16 (% wt.) | - | - | - | - |
| ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน C17 (% wt.) | - | - | - | - |
| ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน C18 (% wt.) | - | - | - | - |
| ปริมาณน้ำ (% wt.) | - | - | - | - |
| ค่าของกรด | 0.27 | 0.28 | 0.58 | 4.12 |

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจนพบว่า ตัวอย่างมีปริมาณของกรดไขมัน โดยไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ

Logan และคณะ [15] ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอร์ไรด์ โดยทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช และน้ำ พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะความดัน 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงดังสมการต่อไปนี้




ผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ภายใต้อุณหภูมิสูง และภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจนที่สูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวอย่างจะมีค่าของกรดเกิดขึ้น โดยกรดไขมันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างโครงสร้างไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้น พบว่าค่าของกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หมายถึงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

### 4.3 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน

น้ำมันปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียรินมีโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นไตรกลีเซอร์ไรด์เหมือนกัน ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นแบบจำลองในการทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้น

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลว ทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจนแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่** 4.3 ผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$

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

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน พบว่าผลิตภัณฑ์ในตัวอย่างมีปริมาณของกรด โดยไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ เช่นเดียวกับผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ภายใต้อุณหภูมิสูง และภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจนที่สูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวอย่างจะมีค่าของกรดเกิดขึ้น โดยกรดไขมันเกิดขึ้นจาก ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างโครงสร้างไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นที่ละลายอยู่ในน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ตัวอย่างที่เกิดขึ้นไม่พบสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไฮโดรเจน และผลการทดลองทำการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันก๊าซไนโตรเจน จะพบว่าผลการทดลองเหมือนกันกล่าวคือ พบกรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอร์ไรด์ และน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้น โดยค่าของกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

## 4.4 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น

### 4.4.1 ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซที่ทำการทดลองโดยใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.6

**ตารางที่** 4.4 ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด(%) | - | 4.7 | 61.2 | 92.1 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.3 | 1.7 | 4.5 |
| ปริมาณ C16 | - | 2.0 | 29.7 | 43.6 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.3 | 2.3 | 4.4 |
| ปริมาณ C18 | - | 2.1 | 27.5 | 39.6 |
| ค่าของกรด | 181.13 | 13.30 | 1.75 | 0 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 5.29 | 10.70 | 11.43 |
| ความหนาแน่น | 0.86 | 0.84 | 0.78 | 0.76 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

*ค่าของกรด: (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง)

**ค่าของกรดของสารตั้งต้น 218.59 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง

***สารตั้งต้นมีองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอมและ 18 อะตอม ปริมาณร้อยละ 49.9 และ 49.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

**ตารางที่** 4.5 ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 1.6 | 37.1 | 88.9 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.1 | 1.3 | 4.3 |
| ปริมาณ C16 | - | 0.7 | 18.2 | 42.4 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.1 | 1.3 | 4.3 |
| ปริมาณ C18 | - | 0.7 | 16.3 | 37.9 |
| ค่าของกรด | 188.33 | 69.68 | 3.04 | 0.15 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 3.56 | 9.36 | 11.28 |
| ความหนาแน่น | 0.87 | 0.85 | 0.80 | 0.76 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

**ตารางที่** 4.6 ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 0.9 | 20.4 | 86.7 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.1 | 1.0 | 4.1 |
| ปริมาณ C16 | - | 0.4 | 9.9 | 41.7 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.1 | 0.9 | 4.1 |
| ปริมาณ C18 | - | 0.3 | 8.6 | 36.8 |
| ค่าของกรด | 192.70 | 123.20 | 5.03 | 0.82 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 1.86 | 8.50 | 11.25 |
| ความหนาแน่น | 0.87 | 0.85 | 0.81 | 0.76 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อนำกรดไขมันปาล์มมาทำการไฮโดรทรีตติ้งจะได้ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ18 อะตอมเกิดขึ้น ค่าของกรดลดลง มีน้ำเกิดขึ้นในปริมาณมาก และพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย ปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากกรดไขมันปาล์มที่มีออกซิเจนอะตอมเป็นส่วนประกอบ ก๊าซไฮโดรเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันปาล์มที่มีออกซิเจนอะตอม และเปลี่ยนให้กลายเป็นน้ำพร้อมกับเกิดสารประกอบประเภทอัลเคนดังสมการต่อไปนี้

สารประกอบประเภทอัลเคนที่ได้จากปฏิกิริยา จะเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเทียบเท่ากับจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เป็นกรดไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ในกรดไขมันปาล์ม ตัวอย่างเช่น ถ้านำกรดปาล์มมิติกที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 16 อะตอมมาทำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้ง ก็ควรจะได้สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 16 อะตอมด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่เป็นผลจากปฏิกิริยา ควรจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ 16 และ 18 อะตอมเป็นหลัก

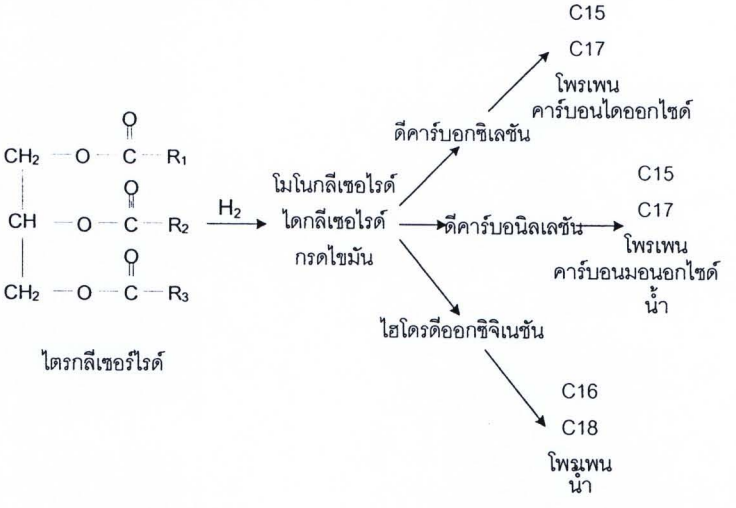
ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเกิดสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอม ปนอยู่ด้วย แสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาอื่นที่ไม่ใช่ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้นพร้อมกับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน

จากการศึกษาของ George W. Huber และคณะ [11] ได้ทำการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดทานตะวันผสมกับน้ำมันหนักที่ได้จากการกลั่นแบบสูญญากาศ (Heavy vacuum oil) โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระว่าง 300 ถึง 450 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ โดยมีนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการซัลไฟล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีปฏิกิริยาทีเกิดขึ้น 3 ปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

1.ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน จะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่จำเป็นต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม

2.ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ร่วมคือ น้ำ และก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ โดยทั้งสองปฏิกิริยา จะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่

3.ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นสารประกอบประเภทอัลเคน ซึ่งจะมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม และผลิตภัณฑ์หลักเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ ซึ่งทั้งสามปฏิกิริยาจะมีเอกลักษณ์โดยมีผลิตภัณฑ์ร่วมที่แตกต่างกัน และจะพบสารเคมีที่เกิดในระหว่างปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ เช่น โมโนกลีเซอร์ไรด์, ไดกลีเซอร์ไรด์ และกรดไขมัน ดังสมการต่อไปนี้



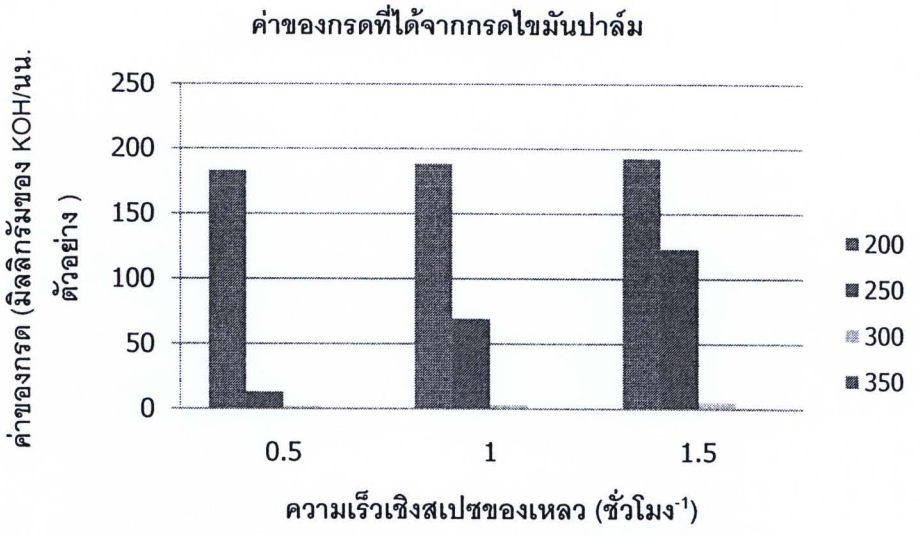

ผลจากการไฮโดรทรีทติ้งที่ของ George W. Huber ทำให้ทราบได้ว่าสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอม ที่ปนอยู่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชั่น เพราะว่าในการตรวจสอบพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดขึ้น และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลน่าจะเกิดขึ้นด้วย แต่ไม่สามารถยืนยันได้ชัดเจน เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์เพื่อหาก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ได้

### 4.4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยา

อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่ออุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่าค่าของกรดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันไม่เกิดขึ้น ออกซิเจนอะตอมยังคงอยู่ในรูปของกรดไขมัน

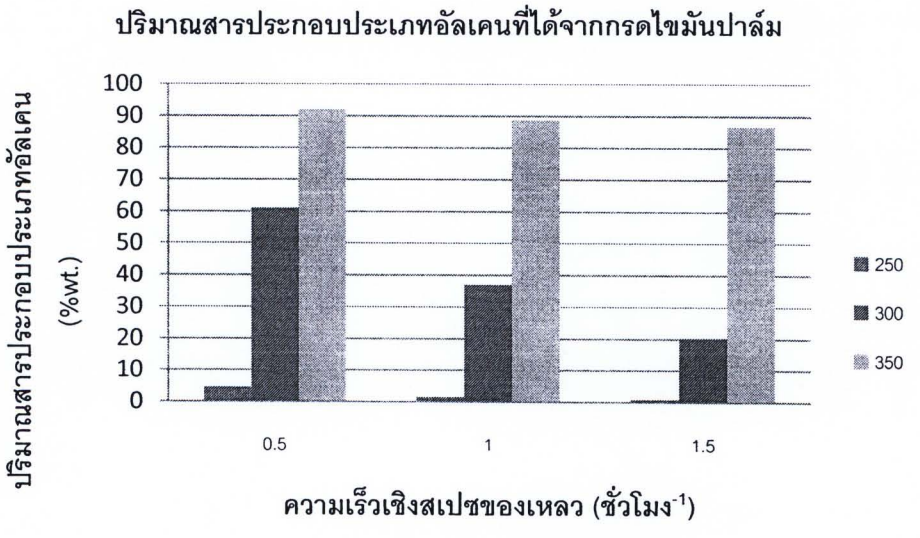
ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 250 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าค่าของกรดมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามพบว่าปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำจะมีค่ามากขึ้น เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงกรดไขมันปาล์มทำปฏิกิริยาได้ดี จะพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคนมากขึ้น ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันด้วย เพราะว่าพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ17 อะตอม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันน่าจะเกิดขึ้นด้วย เพราะว่าพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และพบปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น

Pavel Simacek และคณะ[8] ได้ศึกษากระบวนการไฮโดรโปรเซสซิ่งของน้ำมันเมล็ดเร็พโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม พบว่าเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นโดยพบว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณสารตั้งต้นอยู่มาก ซึ่งมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่น้อย และที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียสจะไม่พบสารตั้งต้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่จะพบปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส



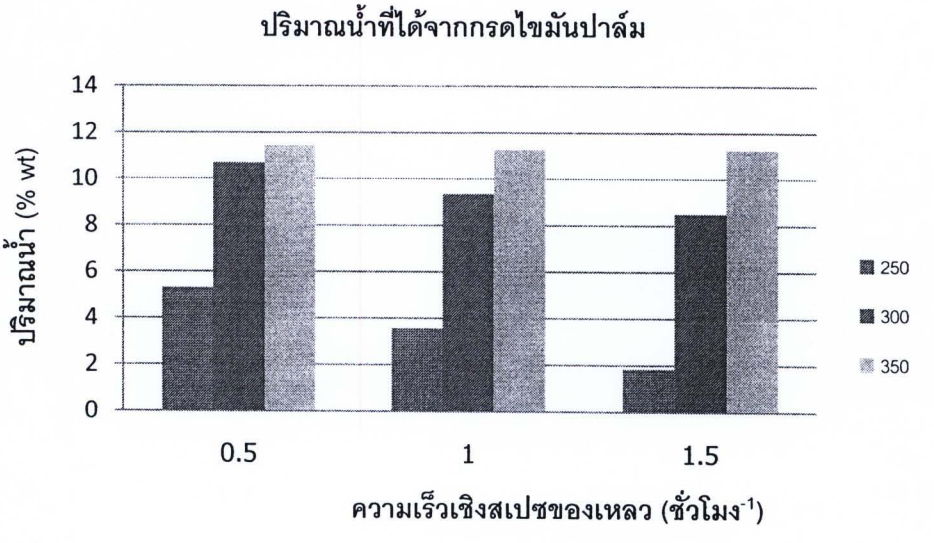

**รูปที่** 4.1 ผลของอุณหภูมิต่อค่าของกรดที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของกรดมีค่าลดลง เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงกรดไขมันปาล์มจะทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งมีการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากกรดไขมันปาล์ม และได้ผลิตภัณฑ์คือ น้ำ พร้อมกับเกิดสารประกอบประเภทอัลเคน




**รูปที่** 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันจะเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะพบว่าที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันร่วมกับปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นร้อยละ 0.6 และมีสารประกอบประเภท อัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอม ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิ-จีเนชันเกิดขึ้นร้อยละ 4.1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอม เกิดขึ้นร้อยละ 4.0 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 57.2 สำหรับที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอม เกิดขึ้นร้อยละ 8.9 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอม เกิดขึ้นร้อยละ 83.2 ซึ่งจะเห็นว่าปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งของกรดไขมันปาล์มในทุกๆช่วงอุณหภูมินั้นเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน




**รูปที่** 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันมากขึ้น โดยแนวโน้มปริมาณน้ำจะสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนคือ ปริมาณน้ำและปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และปริมาณน้ำจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 11.43 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น พบว่ามีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดไขมัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งสามารถเกิดได้ดี ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคน และน้ำ

### 4.4.3 ผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยา

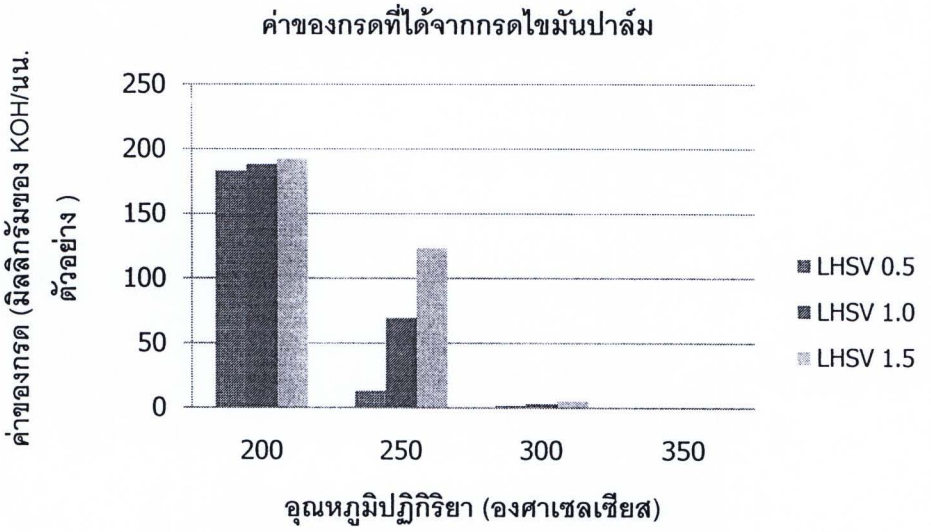
นอกจากอุณหภูมิที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็คือ ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวจะบ่งบอกถึงเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น เมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีค่าสูง เวลาในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นก็จะน้อยลง แต่ในทางกลับกันเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีค่าต่ำ เวลาในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีนิยามดังนี้

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

จากผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ พบว่าค่าของกรดของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยที่สุด เพราะว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่ำ สารจะวิ่งอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาที่นานกว่าความเร็วเชิงสเปซของของเหลวที่สูง ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดี ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอมมากขึ้น ทำให้สารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำมีค่ามากขึ้น กรดไขมันปาล์ม

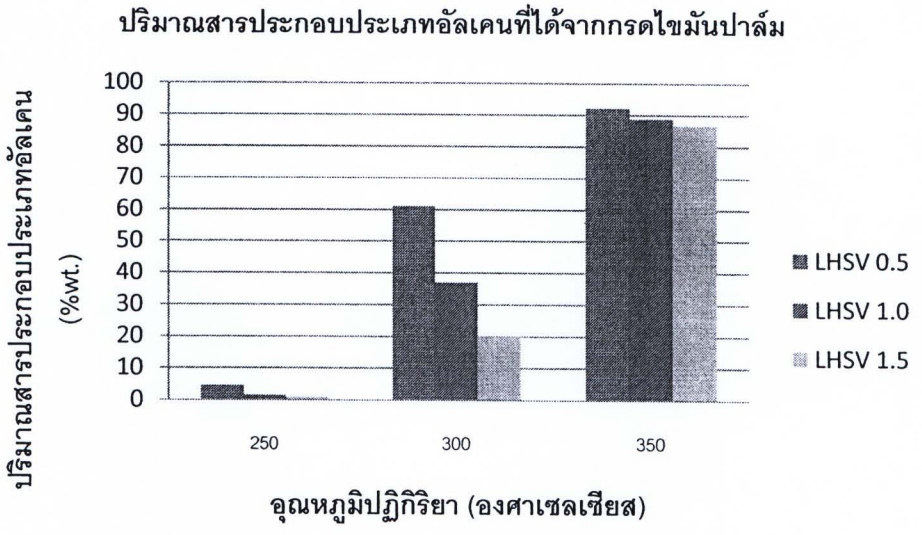
มีค่าของกรดสูง เมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน จะมีการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากกรดไขมันปาล์ม ทำให้สารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันเปลี่ยนเป็นสารประกอบประเภทอัลเคน ค่าของกรดจึงมีค่าต่ำลง ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าของกรดมีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้ดี ออกซิเจนอะตอมที่มีอยู่ในกรดไขมันปาล์มถูกกำจัดออกหมด

ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$ ของแต่ละช่วงอุณหภูมิ พบว่าค่าของกรดมีค่ามากขึ้นตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามจะพบว่าสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม และปริมาณน้ำจะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยลง เพราะว่ากรดไขมันปาล์มมีระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์น้อยลง



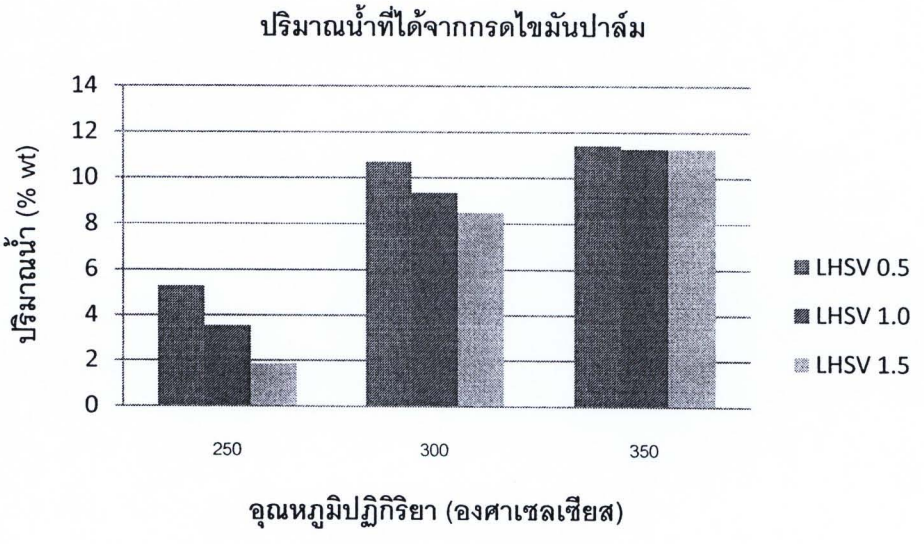

**รูปที่** 4.4 ผลของความเร็วสเปซต่อค่าของกรดที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ค่าของกรดมีค่ามากขึ้นด้วย เพราะว่าเมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซของของเหลวสูงขึ้น ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจึงลดลง ออกซิเจนอะตอมในกรดไขมันปาล์มถูกกำจัดออกน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าของกรดสูงขึ้น




**รูปที่** 4.5 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง เพราะว่ากรดไขมันปาล์มมีเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อยลง




**รูปที่** 4.6 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณน้ำที่ได้จากกรดไขมันปาล์ม

ผลการทดลองที่ใช้กรดไขมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมีค่าลดลง โดยปริมาณน้ำจะสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนคือ เมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำ และปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง เพราะว่าการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากกรดไขมันปาล์มได้น้อยลง

ผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่ำสารจะวิ่งอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาที่นานกว่าความเร็วเชิงสเปซของของเหลวที่สูง ส่งผลให้การปฏิกิริยาเกิดได้นานขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคนมากขึ้น ปริมาณน้ำมากขึ้น และค่าของกรดน้อยลง ดังนั้นความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

## 4.5 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น

### 4.5.1 ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซที่ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นแสดงในตารางที่ 4.7 ถึง 4.9

**ตารางที่4.7** ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด(%) | - | 36.7 | 84.0 | 94.2 |
| ปริมาณ C15 | - | 1.4 | 3.4 | 6.0 |
| ปริมาณ C16 | - | 13.2 | 28.2 | 32.0 |
| ปริมาณ C17 | - | 2.3 | 5.9 | 9.5 |
| ปริมาณ C18 | - | 19.8 | 46.5 | 46.7 |
| ค่าของกรด | 10.70 | 4.74 | 0.44 | 0.44 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 7.43 | 11.56 | 11.66 |
| ความหนาแน่น | 0.88 | 0.80 | 0.76 | 0.76 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

**ตารางที่**4.8 ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 14.5 | 70.7 | 91.7 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.7 | 2.7 | 5.1 |
| ปริมาณ C16 | - | 5.0 | 25.9 | 32.0 |
| ปริมาณ C17 | - | 1.1 | 3.8 | 8.2 |
| ปริมาณ C18 | - | 7.7 | 38.3 | 46.4 |
| ค่าของกรด | 7.78 | 8.58 | 2.14 | 0.74 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 4.30 | 10.72 | 11.45 |
| ความหนาแน่น | 0.89 | 0.83 | 0.78 | 0.77 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

*ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.25 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง

**สารตั้งต้นมีองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอมและ 18 อะตอม ปริมาณร้อยละ 38.7 และ 60.2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

**ตารางที่**4.9 ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 8.2 | 62.2 | 76.8 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.4 | 2.4 | 3.9 |
| ปริมาณ C16 | - | 2.8 | 22.6 | 28.3 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.7 | 4.0 | 5.9 |
| ปริมาณ C18 | - | 4.3 | 33.2 | 38.7 |
| ค่าของกรด | 6.07 | 8.90 | 5.37 | 3.44 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 3.13 | 8.46 | 10.26 |
| ความหนาแน่น | 0.89 | 0.85 | 0.78 | 0.78 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาทำการไฮโดรทรีตติ้งจะได้ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ18 อะตอมเกิดขึ้นในปริมาณมาก มีน้ำเกิดขึ้น และพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย ปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินคือปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีออกซิเจนอะตอมเป็นส่วนประกอบ ก๊าซไฮโดรเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีออกซิเจนอะตอม และเปลี่ยนให้กลายเป็นน้ำ พร้อมกับเกิดสารประกอบประเภทอัลเคนและก๊าซโพเพนดังสมการต่อไปนี้

ไตรกลีเซอไรด์

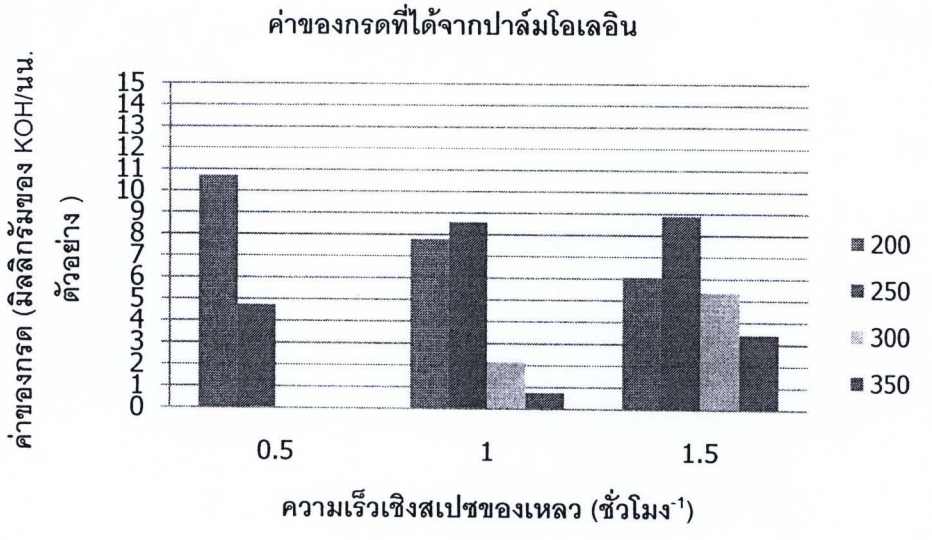
ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเกิดสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอม ปนอยู่ด้วย แสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่ามีปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นด้วย [11]

### 4.5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยา

จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าของกรดมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารตั้งต้น เพราะว่าอุณหภูมิต่ำสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาไม่ดี จากการศึกษาของ George W. Huber [11] พบว่าเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาในการไฮโดรทรีตติ้งขั้นแรกสารตั้งต้นที่เป็นไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triglyceride) จะเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน หลังจากนั้นกรดไขมันจะทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน หรือปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันต่อไปจนเกิดเป็นสารประกอบประเภทอัลเคน ทำให้ค่าของกรดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่าค่าของกรดของสารตั้งต้น เพราะว่าปฏิกิริยาไปหยุด

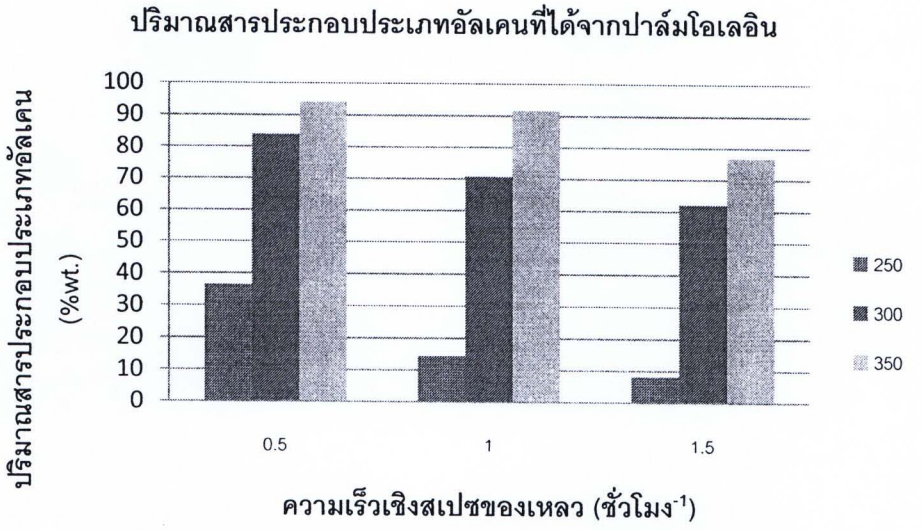
อยู่ในขั้นตอนของการเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน และสารตั้งต้นบางส่วนทำปฏิกิริยาต่อจนเกิดเป็นสารประกอบประเภทอัลเคน ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนเกิดขึ้นเล็กน้อย ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันไม่เกิดขึ้น เพราะว่าจากการทดลองไม่พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่พบว่ามีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม และปริมาณน้ำเกิดขึ้น ดังนั้นจะมีปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชันเกิดขึ้นและคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นด้วย

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าของกรดลดลง ในทางตรงกันข้ามจะพบว่าปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำมีค่ามากขึ้น เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงน้ำมันปาล์มโอเลอินจะทำปฏิกิริยาได้ดี พบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และมีปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเกิดขึ้นด้วย เพราะว่าพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ17 อะตอม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันน่าจะเกิดขึ้นด้วย เพราะว่าพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 15 และ 17 อะตอม และพบปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น




**รูปที่** 4.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าของกรดที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

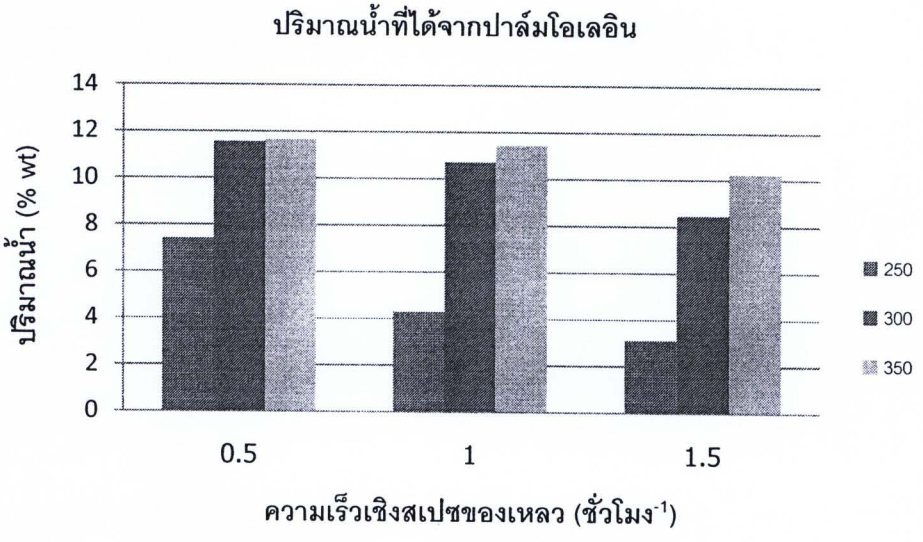
ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของกรดจะลดลง เพราะว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยา น้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อเกิดเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ และที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียสจะพบกรดในปริมาณมาก เพราะว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินไม่สามารถทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ที่อุณหภูมิต่ำ




**รูปที่** 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอ-นิลเลชันสามารถเกิดได้มากขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของ-ของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันร่วมกับปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นร้อยละ 3.6 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้นร้อยละ 32.9 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของ-ของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 9.3 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 74.7 สำหรับที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของ-

ของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 15.4 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอม เกิดขึ้นร้อยละ 78.6 ซึ่งจะเห็นว่าปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอินในทุกๆช่วงอุณหภูมินั้นเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน



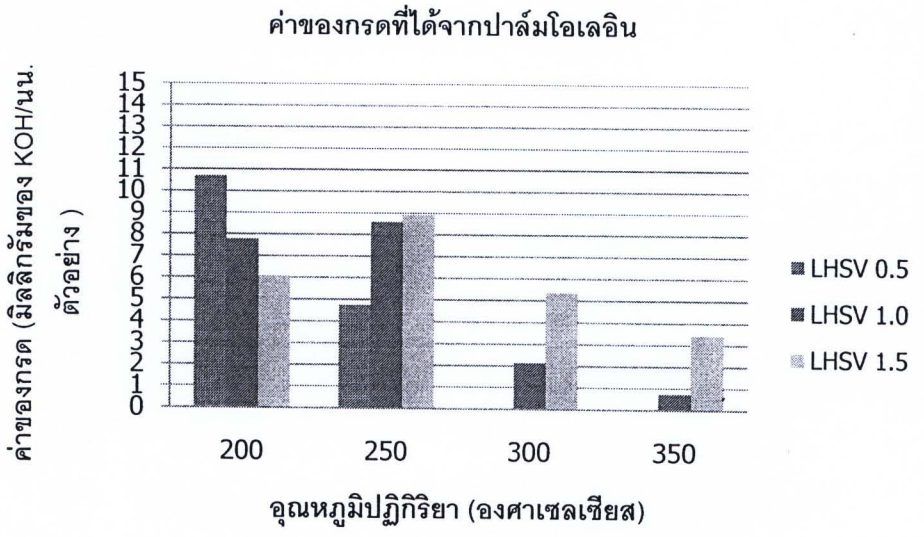

**รูปที่** 4.9 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำจะมีค่ามากสุดที่ความเร็วเชิงสเปซของ-ของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 11.66 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้ปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น เมื่ออุณหภูมิต่ำ สารตั้งตั้งจะทำการแตกตัวเกิดเป็นกรดไขมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่ามีปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิ-เลชัน และคาดว่ามีปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน เกิดขึ้นด้วย

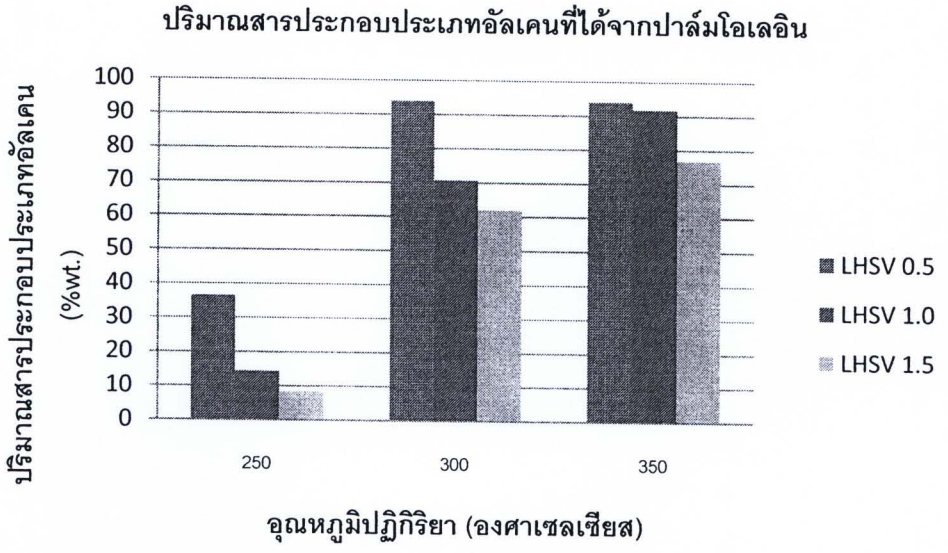
### 4.5.3 ผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยา

ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าของกรดน้อยในช่วงอุณหภูมิ 250 ถึง 350 องศาเซลเซียส เพราะว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของ-ของเหลวต่ำ สารตั้งต้นจะมีเวลาในการทำปฏิกิริยาได้นาน ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดี ทำให้ได้สารประกอบประเภท อัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม มากขึ้น จึงเป็นผลทำให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำมากขึ้น การทดลองที่ความเร็วเชิง-สเปซของของเหลว 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$ พบว่าสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม จะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยลง ค่าของกรดมากขึ้น เพราะว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นลดลง ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณของน้ำที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยลง



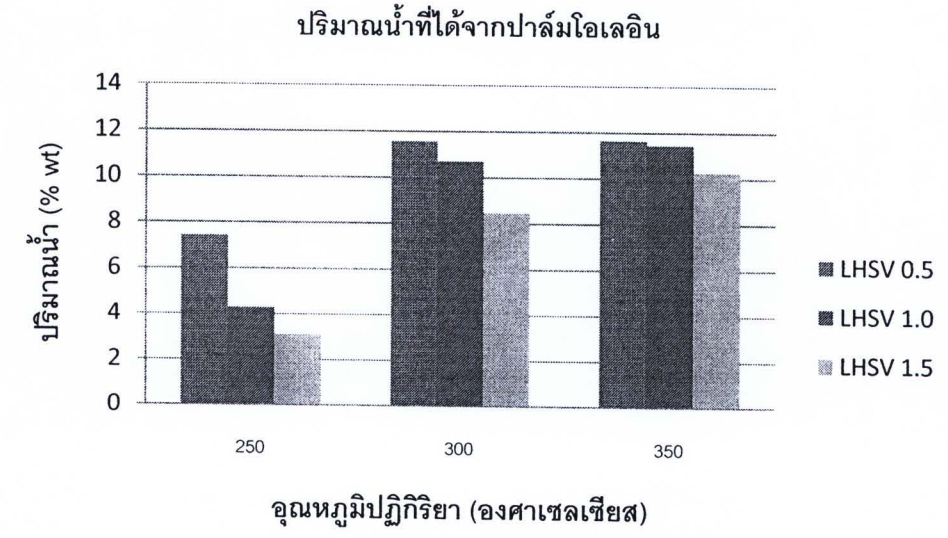

**รูปที่** 4.10 ผลของความเร็วสเปซต่อค่าของกรดที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ค่าของกรดมีค่ามากขึ้นด้วย เพราะว่าเมื่อเพิ่มความเร็ว-เชิงสเปซของของเหลวสูงขึ้น ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจึงลดลง ออกซิเจนอะตอมในน้ำมันปาล์มโอเลอินถูกกำจัดออกน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าของกรดสูงขึ้น




**รูปที่** 4.11 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง เพราะว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินมีเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์น้อยลง ผลิตภัณฑ์สารประกอบประเภทอัลเคนที่ได้จึงมีค่าลดลง




**รูปที่** 4.12 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณน้ำที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็ว-เชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมีค่าลดลง โดยปริมาณน้ำจะสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนคือ เมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำ และปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง

ผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วเชิงสเปซต่ำสารจะวิ่งอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาที่นานกว่าความเร็วเชิง-สเปซของของเหลวที่สูง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้นานขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสารประกอบประเภทอัลเคนมากขึ้น ปริมาณน้ำมากขึ้น และค่าของกรดน้อยลง

## 4.6 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น

### 4.6.1 ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซที่ทำการทดลองโดยใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นแสดงในตารางที่ 4.10 ถึง 4.12

**ตารางที่** 4.10 ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด(%) | - | 8.5 | 80.7 | 96.5 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.6 | 3.5 | 7.3 |
| ปริมาณ C16 | - | 4.7 | 48.3 | 55.7 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.4 | 2.3 | 4.3 |
| ปริมาณ C18 | - | 2.8 | 26.6 | 29.2 |
| ค่าของกรด | 12.15 | 13.48 | 4.33 | 0.34 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 5.07 | 11.02 | 11.37 |
| ความหนาแน่น | 0.89 | 0.83 | 0.77 | 0.76 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

**ตารางที่ 4.11** ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 4.0 | 59.4 | 86.6 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.4 | 2.7 | 6.1 |
| ปริมาณ C16 | - | 2.1 | 35.6 | 51.3 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.2 | 1.7 | 3.6 |
| ปริมาณ C18 | - | 1.3 | 19.4 | 25.6 |
| ค่าของกรด | 8.98 | 12.87 | 6.77 | 2.33 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 3.09 | 9.47 | 11.20 |
| ความหนาแน่น | 0.89 | 0.85 | 0.79 | 0.77 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

*ค่าของกรดของสารตั้งต้น 0.44 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง

**สารตั้งต้นมีองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอมและ 18 อะตอม ปริมาณร้อยละ 58.3 และ 40.3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.12** ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$

| อุณหภูมิ | 200 °C | 250 °C | 300 °C | 350 °C |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัลเคนทั้งหมด (%) | - | 1.9 | 45.1 | 74.8 |
| ปริมาณ C15 | - | 0.2 | 2.4 | 6.0 |
| ปริมาณ C16 | - | 1.0 | 26.8 | 45.1 |
| ปริมาณ C17 | - | 0.1 | 1.5 | 2.7 |
| ปริมาณ C18 | - | 0.6 | 14.4 | 21.0 |
| ค่าของกรด | 5.57 | 11.84 | 6.96 | 3.96 |
| ปริมาณน้ำ (%) | - | 1.69 | 8.64 | 11.12 |
| ความหนาแน่น | 0.89 | 0.86 | 0.80 | 0.77 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | ไม่พบ | ไม่พบ | พบ | พบ |

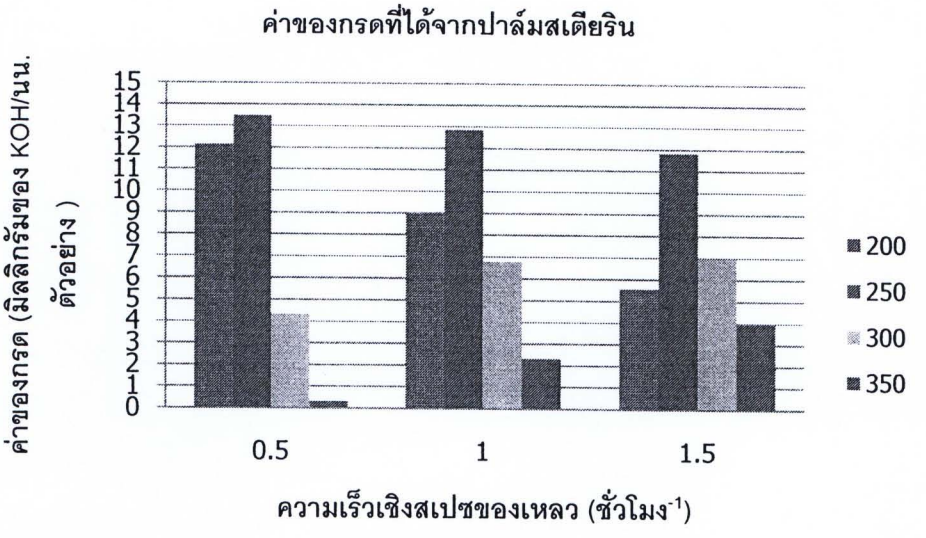
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อใช้ปาล์มสเตียรินแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มสเตียรินมาทำการไฮโดรทรีตติ้งจะได้ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ18 อะตอมเกิดขึ้นในปริมาณมาก มีน้ำเกิดขึ้น และพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นสารตั้งต้น

### 4.6.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยา

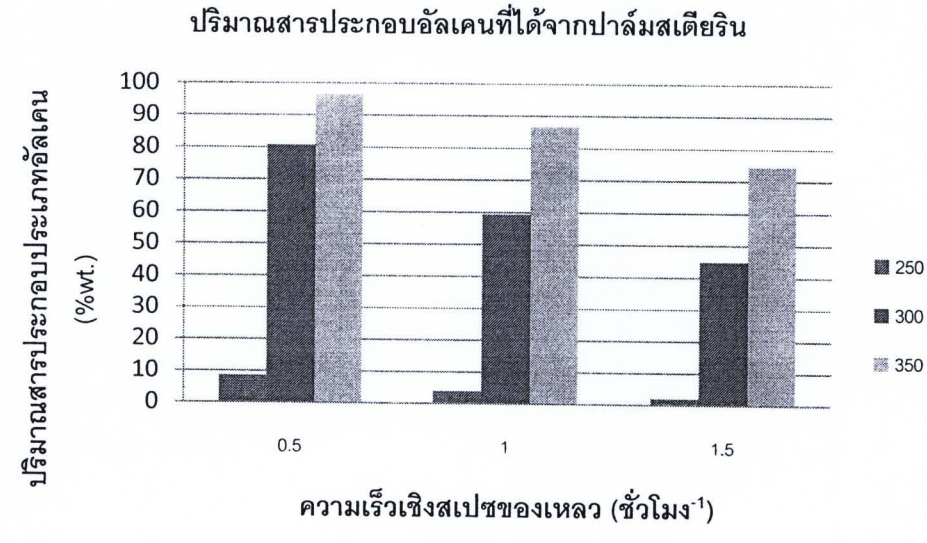
ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส พบว่าค่าของกรดของผลิตภัณฑ์มีค่ามาก ซึ่งค่าของกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่ามากว่าค่าของกรดของปาล์มสเตียรินตอนเริ่มต้น เพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาไม่ดี จากการทดลองที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่เกิดขึ้นเล็กน้อย จากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ปรากฏว่าพบน้ำแต่ไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้ทราบได้ว่าที่อุณหภูมิ 250 องศา-เซลเซียส ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันจะไม่เกิดขึ้น จะมีปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้น เนื่องจากพบสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าของกรดมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามจะพบว่าปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำจะมีค่ามากขึ้น เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงปาล์มสเตียรินทำปฏิกิริยาได้ดี พบปริมาณน้ำ ก๊าซคาร์บอนมอน็อกไซด์ และปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม ทำให้ทราบว่ามีปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน และปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้น และคาดว่าปฏิกิริยาดี-คาร์บอนิลเลชันจะเกิดขึ้นด้วย จึงเป็นผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบประเภทอัลเคนมีปริมาณมากขึ้น



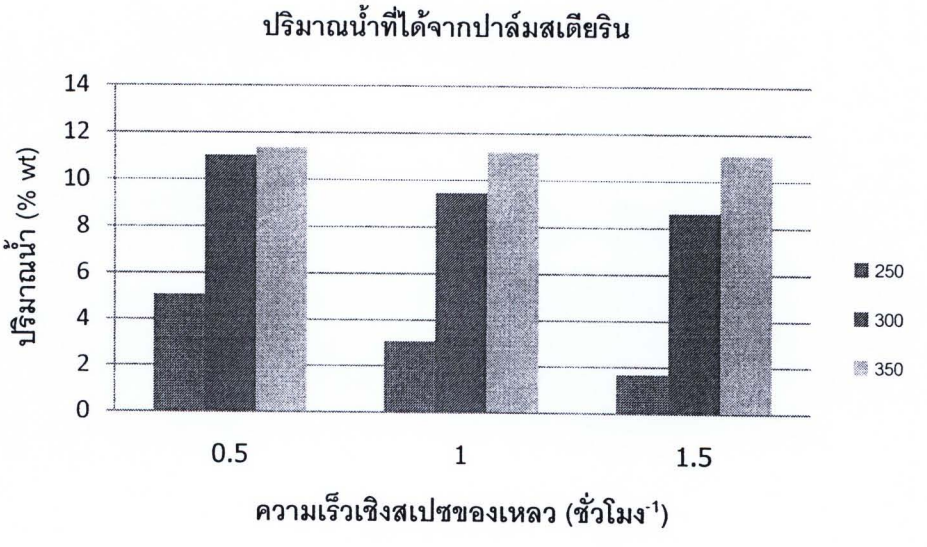

**รูปที่** 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อค่าของกรดที่ได้จากปาล์มสเตียริน

ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของกรดจะลดลง เพราะว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยา ปาล์มสเตียรินทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อเกิดเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ ที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะพบว่าค่าของกรดมีปริมาณมาก เพราะว่าปาล์มสเตียรินไม่สามารถทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนได้ที่อุณหภูมิต่ำ




**รูปที่** 4.14 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน ที่ได้จากปาล์มสเตียริน

ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดได้มากขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาดี-คาร์บอกซิเลชันร่วมกับปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นร้อยละ 1.0 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้นร้อยละ 7.5 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 5.8 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 75.0 สำหรับที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซ 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 และ 17 อะตอมเกิดขึ้นร้อยละ 11.7 และมีสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 อะตอม เกิดขึ้นร้อยละ 84.9 ซึ่งจะเห็นว่าปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งของปาล์มสเตียรินในทุกๆช่วงอุณหภูมินั้นเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน




**รูปที่** 4.15 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำที่ได้จากปาล์มสเตียริน

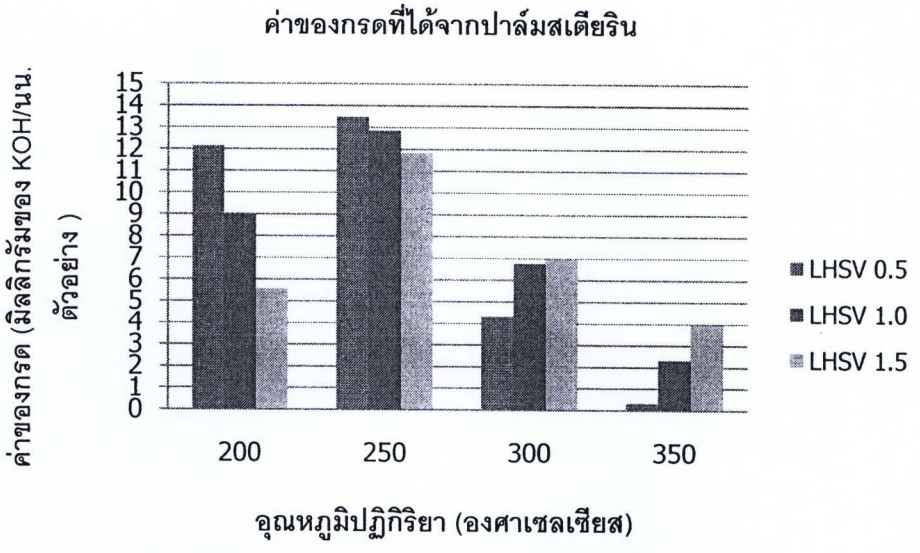
ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมีค่ามากที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 11.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้น เมื่ออุณหภูมิต่ำ สารตั้งตั้งจะทำการแตกตัวเกิดเป็นกรดไขมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่ามีปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอก-ซิเลชัน และคาดว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน เกิดขึ้นด้วย

### 4.6.3 ผลกระทบความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยา

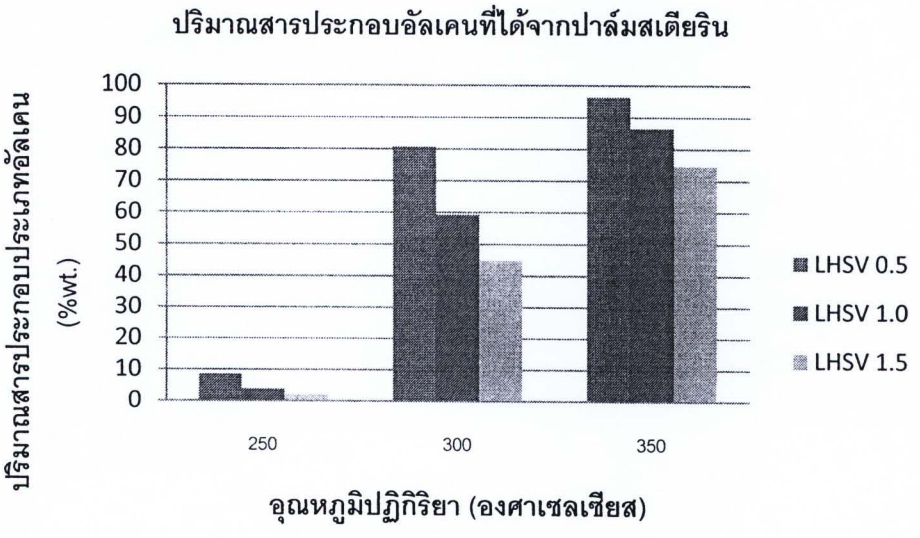
จากผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ พบว่าค่าของกรดผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยในช่วงอุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส เพราะว่าเมื่อความเร็วเชิง-สเปซของของเหลวต่ำ สารตั้งต้นจะมีเวลาในการทำปฏิกิริยาได้นาน ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดี ทำให้ได้สารประกอบประเภท อัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณน้ำมีค่ามาก

ผลการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง$^{-1}$ พบว่ามีค่าของกรดมีค่ามากขึ้น ในทางตรงกันข้ามจะพบว่า สารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15 ถึง 18 อะตอม เกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยลง เพราะว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นลดลง ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคน และปริมาณของน้ำที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยลง




**รูปที่** 4.16 ผลของความเร็วสเปซต่อค่าของกรดที่ได้จากปาล์มสเตียริน

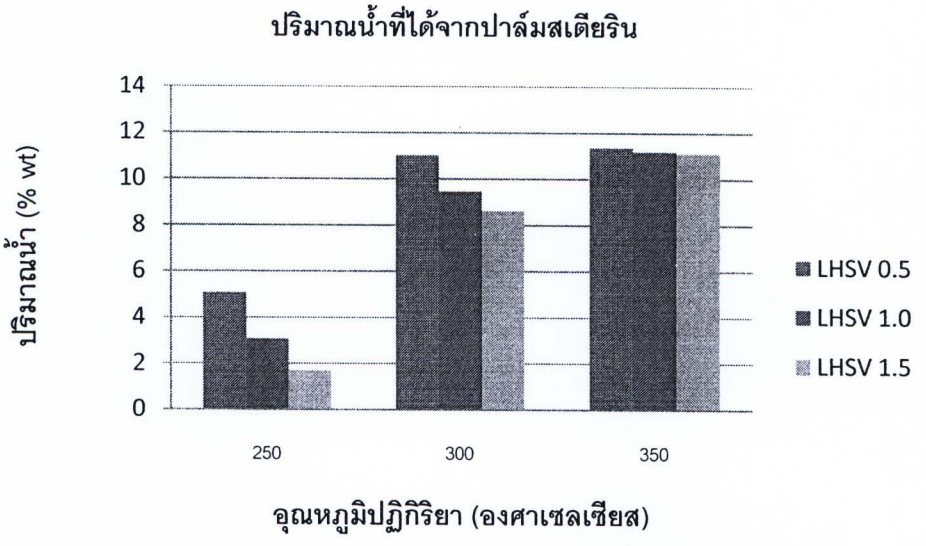
ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ค่าของกรดมีค่ามากขึ้นด้วย เพราะว่าเมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซ-ของของเหลวสูงขึ้น ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจึงลดลง ออกซิเจนอะตอมในปาล์มสเตียรินถูกกำจัดออกน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าของกรดสูงขึ้น




**รูปที่** 4.17 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่ได้จากปาล์มสเตียริน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง เพราะว่าปาล์มสเตียรินมีเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์น้อยลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งเป็นสารประกอบประเภทอัลเคนที่จึงมีค่าลดลง




**รูปที่** 4.18 ผลของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อปริมาณน้ำที่ได้จากปาล์มสเตียริน

ผลการทดลองที่ใช้ปาล์มสเตียรินเป็นสารตั้งต้นดังรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมีค่าลดลง โดยปริมาณน้ำจะสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนคือ เมื่อความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำและปริมาณของสารประกอบประเภทอัลเคนจะมีค่าลดลง

ผลกระทบของความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่อการเกิดปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วเชิงสเปซต่ำสารจะวิ่งอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาที่นานกว่าความเร็วเชิง-สเปซของของเหลวที่สูง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยานานขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสารประกอบประเภทอัลเคนมากขึ้น ปริมาณน้ำมากขึ้น และค่าของกรดน้อยลง

สำหรับสารตั้งต้นทั้งสามชนิดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์ม พบว่าการไฮโดรทรีตติ้งจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ชั่วโมง$^{-1}$ ซึ่งจะให้ปริมาณสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีค่าใกล้เคียงกัน และความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสารตั้งต้นทั้งสามชนิดคือ การกระจายตัวของสารประกอบประเภทอัลเคน เมื่อนำกรดไขมันปาล์มและปาล์มสเตียริน มาทำการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 อะตอม มากกว่าสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 18 อะตอม แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาทำการทดลองผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 18 อะตอม มากกว่าสารประกอบประเภทอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 อะตอม เพราะว่าปฏิกิริยาหลักในการไฮโดรทรีตติ้งคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการกำจัดออกซิเจนอะตอมออกจากสารตั้งต้น ดังนั้นจำนวนคาร์บอนอะตอมที่ได้จากผลิตภัณฑ์จึงมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารตั้งต้น