บทความวิจัย

ไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดินัม

Hydrodeoxygenation of Palm Kernel Oil using Nickel Molybdenum Catalyst

ณรงค์วุฒิ เจ้าแก่นแก้ว[1*]

Narongwut Jaokaenkaew[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์มทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 320 340 360 และ 380 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 450 750 และ 1,050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 1.0 ต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และปฏิกิริยาข้างเคียงคือ ปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิและความดันมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากผลการวิเคราะห์การทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า 340 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 300 และ 320 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 750 และ 1,050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพราะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า แต่มีปริมาณน้ำและค่าร้อยละของสารประกอบอัลเคนสูงกว่า

คำสำคัญ : ไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ดีคาร์บอกซิเลชัน ดีคาร์บอนิลเลชัน

[1] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[*] Coresponding Author : E-mail : nj_29@hotmail.com Tel 086-6347989

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

Abstracts

The research of this study is to investigate hydrodeoxygenation of palm kernel oil using nickel molybdenum on alumina supported catalyst. The experiments were conducted in a fixed bed continuous-flow reactor. The temperatures were varied at 300, 320, 340, 360 and 380 ºC. Pressures were varied at 450, 750 and 1,050 psig. Liquid hourly space velocity (LHSV) was 1.0 h-1. The results showed that decarboxylation decarbonylation and decomposition reactions are important side reaction occured along with hydrodeoxygenation of palm kernel oil. The results show that the reaction occurs well at high temperature (340-360 ºC) because of the high conversion of hydrodeoxygenation reaction and no side reactions. At high pressure (750 and1050 psig), the reaction occurs better than the one at low pressure(450 psig). The reaction at low pressure was found that there is high amount of free fatty acid and low amount of alkanes.

Keywords : Hydrodeoxygenation, Decarboxylation, Decarbonylation

บทนำ

เชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuels) คือ พลังงานหมุนเวียนที่เกิดจากสารชีวมวล (Biomass) หรือ สสารที่ได้จากพืชและสัตว์สามารถย่อยสลายไปเองโดยที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ ในปัจจุบันพลังงานงานชีวภาพมีบทบาทสำคัญมากในชีวิตประจำวัน เพราะความต้องการด้านพลังงานของประชากรโลกเพิ่มมากขึ้นมนุษย์จึงจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกมาใช้ทดแทน น้ำมันไบโอดีเซลคือ เชื้อเพลิงเหลวที่เกิดจากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันหรือปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยมีสารตั้งต้นเป็นสารชีวมวล (Biomass) เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง ไขมันวัว ไขมันหมู เป็นต้น ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลนี้เป็นพลังงานทางเลือกที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ สารอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl Ester) เช่น เมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester, FAMEs) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Fatty acid ethyl ester, FAEEs) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้น กระบวนการดังกล่าวช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์ให้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล

ในปัจจุบันนักวิจัยได้ค้นพบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรทรีตติ้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสารประกอบอัลเคน ที่มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน [1] โดยปฏิกิริยาหลักที่สำคัญคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (hydrodeoxygenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแทนที่ของไฮโดรเจน เพื่อทำให้กรดไขมันที่อยู่ในไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันพืชที่เป็นสารตั้งต้นกลายเป็นสารอัลเคนที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง [2] สำหรับงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความดัน 450 ถึง 1,050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ [1]

ศึกษากระบวนการไฮโดรโปรเซสซิงของน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการซัลไฟด์ ทดลองที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 2 ต่อชั่วโมง อัตราการไหลของน้ำมัน 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และความดัน 15 ถึง 90 บาร์ จากผลการทดลองพบว่าที่ความดันสูงกว่า 40 บาร์จะมีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน เนื่องจากที่สภาวะความดัน 40 ถึง 90 บาร์ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้ดีและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ส่วนความดันที่ต่ำกว่า 40 บาร์ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์สังเกตจากปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกใช้ไปเพียงเล็กน้อย [2] ศึกษากระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydrotreating) ของน้ำมันดอกทานตะวัน (Sunflower oil) และน้ำมันดอกทานตะวันผสมกับน้ำมันหนักที่เกิดจากการกลั่นแบบสุญญากาศ (Heavy vacuum oil, HVO) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการซัลไฟด์ทดลองในถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 450 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ และความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (Liquid hourly space velocity, LHSV) 5.2 ต่อชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของน้ำมันดอกทานตะวันบริสุทธิ์ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของผลิตภัณฑ์คือ สารประกอบอัลเคนชนิดโซ่ตรงมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 71 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสและผลการทดลองของน้ำมันดอกทานตะวันผสมในน้ำมันหนักที่ได้จากการกลั่นแบบสุญญากาศ พบว่าจากการผสมน้ำมันดอกทานตะวันในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ได้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์สารประกอบประเภทอัลเคนโซ่ตรงสูงสุดร้อยละ 87 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสภทร จิรเศวตกุล [3] ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โมลิบดีนัมและนิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการซัลไฟด์ โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความเร็วเชิงสเปซของของเหลวและความแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed reactor) ที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 200, 250, 300 และ 350 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5, 1.0 และ 1.5 ต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิและความเร็วเชิงสเปซของของเหลวมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน และการแตกตัวของกรดไขมันและการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าโคบอลต์โมลิบดีนัมเพราะเกิดปริมาณอัลเคนสูงกว่าในทุกสภาวะการทดลอง และเกิดปริมาณอัลเคนสูงสุดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมงที่ร้อยละ 94.05 ภาณุวิชญ์ เจริญวงศ์, [4] ศึกษาการไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน และกรดไขมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการซัลไฟด์ ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 200 250 300 และ 350 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 1.0 และ 1.5 ต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิสูงและความเร็วเชิงสเปซของของเหลวต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดปริมาณสารผลิตภัณฑ์อัลเคนสูงโดยสภาวะที่ดีที่สุดของน้ำมันทั้งสามชนิด คือที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว 0.5 ต่อชั่วโมง โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินเกิดสารอัลเคนสูงสุดร้อยละ 94.2 น้ำมันปาล์มสเตียรินเกิดสารอัลเคนสูงสุดร้อยละ 96.5 และกรดไขมันปาล์มเกิดสารอัลเคนสูงสุดร้อยละ 92.1

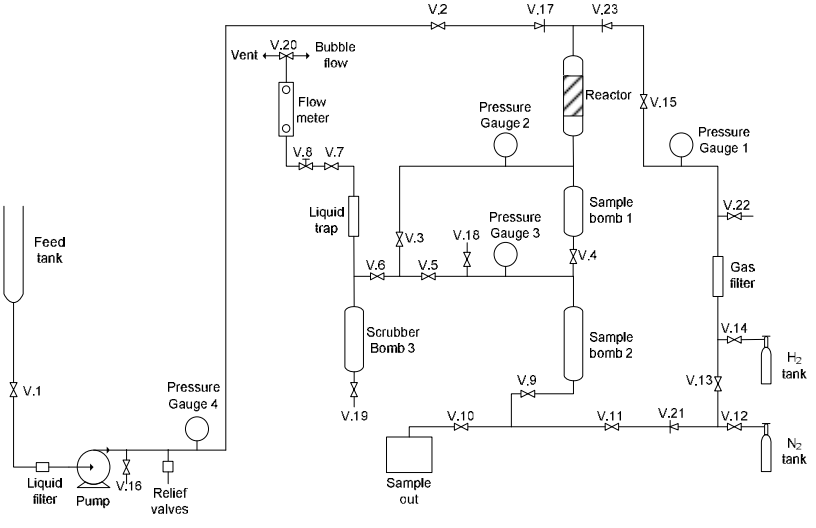
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

วิธีการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์มทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง เครื่องปฏิกรณ์ทำด้วยท่อโลหะไร้สนิมมีความยาว 47 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.27 เซนติเมตร และความหนา 0.089 เซนติเมตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อัลเคน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การวัดปริมาณการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำโดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ ใช้คาปิลารี่คอลัมน์รุ่นอินโนแว็ก (innowax) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร และความหนาของชั้นฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร โดยใช้ตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออนไนซ์ (flame ionization detector) และค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ใช้วิธีวิเคราะห์โดยการไตเตรทตามมาตรฐาน AOCS Official method Ca-5a-40

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ นิกเกิลโมลิบดีนัม ซึ่งต้องผ่านกระบวนการพรีซัลไฟด์เพื่อเปลี่ยนนิกเกิลโมลิบดีนัมออกไซด์ให้อยู่ในรูปซัลไฟด์ก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและระยะเวลาการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไล่ความชื้นที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนด้วยก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่ผสมในเฮกเซนในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และก๊าซไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 300 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง

น้ำมันเมล็ดในปาล์มจะไหลจากถังเก็บสารตัวอย่างผ่านวาล์วเข้าสู่ปั๊มความดันสูง และก๊าซไฮโดรเจนจะไหลผ่านวาล์วและมาตรวัดความดันที่ 1 ซึ่งของเหลวและก๊าซจะพบกันที่ส่วนบนของเครื่องปฏิกรณ์และไหลลงมาด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ภายในเครื่องปฏิกรณ์จะบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ตรงกลางระหว่างชั้นของลูกแก้ว เครื่องปฏิกรณ์จะถูกหุ้มด้วยแท่งเหล็กหนาสองชิ้นเพื่อนำความร้อนต่อจากฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์



ภาพที่ 1 ระบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง

และถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อความปลอดภัยจากพื้นผิวที่ร้อน โดยมีเทอร์โมคัฟเปิล (Thermocouple) 4 ตำแหน่ง คือ ส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง และภายในของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้วัดค่าอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ ผลิตภัณฑ์มีทั้งสถานะของเหลวและก๊าซ โดยผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านถังเก็บตัวอย่างที่ 1 เข้าสู่ถังเก็บตัวอย่างที่ 2 ซึ่งผลิตภัณฑ์ก๊าซจะไหลออกที่ด้านบนของถังเก็บตัวอย่างหมายที่ 1 ผ่านมาตรวัดอัตราการไหลซึ่งจะวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทางออกก๊าซ หลังจากนั้นจะปล่อยก๊าซลงสู่ภาชนะที่บรรจุด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยายกาศ และผลิตภัณฑ์ของเหลวจะไหลลงสู่ด้านล่างถังเก็บตัวอย่างที่ 2 และเก็บตัวอย่างที่ทางออกโดยจะเก็บตัวอย่างทุกๆ 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันและปริมาณกรดไขมันของสารตั้งต้น

กรดไขมัน	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (%wt.)
C 10:0	1.73
C 12:0	48.58
C 14:0	17.10
C 16:0	9.76
C 18:0	2.32
C 18:1	17.80
C 18:2	2.72
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ	0.246

ตารางที่ 2 สภาวะของการทดลอง

อุณหภูมิ	300, 320, 340, 360 และ 380 องศาเซลเซียส
ความดัน	450, 750 และ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วเชิงสเปซ	1 ชั่วโมง$^{-1}$
อัตราการไหลของน้ำมัน	30 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
ตัวเร่งปฏิกิริยา	นิกเกิลโมลิบดินัม
ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่อน้ำมัน	500 ต่อ 1 โมล
ปริมาตรเบด	30 มิลลิลิตร
สารตั้งต้น	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

* ความเร็วเชิงสเปซ = อัตราการไหลของของเหลว/ปริมาตรเบด

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

ผลการวิจัยและอภิปราย

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อุณหภูมิ (^{o}C)	300	320	340	360	380
ปริมาณส่วนประกอบสารอัลเคน					
C_{11} (%wt.)	1.94	2.91	3.15	4.49	5.14
C_{12} (%wt.)	18.04	21.32	23.56	25.54	26.91
C_{13} (%wt.)	0.76	1.15	1.49	1.81	1.98
C_{14} (%wt.)	6.33	7.52	8.12	9.20	9.49
C_{15} (%wt.)	0.58	0.88	0.98	1.24	1.30
C_{16} (%wt.)	3.74	4.61	4.91	5.53	5.63
C_{17} (%wt.)	0.97	1.93	2.31	2.95	3.06
C_{18} (%wt.)	7.91	9.25	9.87	11.83	12.12
รวม	40.23	49.55	54.39	62.59	63.37
%กรดไขมันอิสระ (%FFA)	2.644	0.302	0.287	0.227	0.083
ปริมาณน้ำ (%wt)	7.69	12.55	13.08	13.22	14.10
ปริมาณก๊าซ CO_2 (g)	44.48	40.93	39.38	38.53	35.84

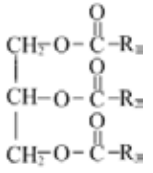
ตารางที่ 4 ผลการทดลองที่ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

Temperature (^{o}C)	300	320	340	360	380
ปริมาณส่วนประกอบสารอัลเคน					
C_{11} (%wt.)	2.79	3.84	5.47	5.87	6.26
C_{12} (%wt.)	28.42	32.21	34.05	27.96	26.59
C_{13} (%wt.)	1.37	1.47	2.05	2.33	2.98
C_{14} (%wt.)	10.15	11.43	12.00	10.37	9.83
C_{15} (%wt.)	0.85	0.89	1.25	1.57	1.80
C_{16} (%wt.)	5.79	6.52	6.91	6.17	5.84
C_{17} (%wt.)	1.99	2.01	2.86	3.52	3.66
C_{18} (%wt.)	12.60	14.39	15.33	12.27	11.68
รวม	63.97	72.77	79.92	70.06	68.65
%กรดไขมันอิสระ (%FFA)	2.644	0.827	0.0331	0.3287	0.0322
ปริมาณน้ำ (%wt)	10.36	14.83	14.88	13.90	13.37
ปริมาณก๊าซ CO_2 (g)	38.54	34.85	33.26	26.40	23.76

ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ความดัน 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

Temperature (^{o}C)	300	320	340	360	380
ปริมาณส่วนประกอบสารอัลเคน					
C_{11} (%wt.)	2.79	3.84	5.47	5.87	6.26
C_{12} (%wt.)	28.42	32.21	34.05	27.96	26.59
C_{13} (%wt.)	1.37	1.47	2.05	2.33	2.98
C_{14} (%wt.)	10.15	11.43	12.00	10.37	9.83
C_{15} (%wt.)	0.85	0.89	1.25	1.57	1.80
C_{16} (%wt.)	5.79	6.52	6.91	6.17	5.84
C_{17} (%wt.)	1.99	2.01	2.86	3.52	3.66
C_{18} (%wt.)	12.60	14.39	15.33	12.27	11.68
รวม	63.97	72.77	79.92	70.06	68.65
%กรดไขมันอิสระ (%FFA)	2.644	0.827	0.0331	0.3287	0.0322
ปริมาณน้ำ (%wt)	10.36	14.83	14.88	13.90	13.37
ปริมาณก๊าซ CO_2 (g)	38.54	34.85	33.26	26.40	23.76

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเกิดผลิตภัณฑ์สารประกอบอัลเคนขึ้น 8 ชนิด คือ อัลดีเคน (C11), โดดีเคน (C12), ไตรดีเคน (C13), เตตระดีเคน (C14), เพนตะดีเคน (C15), เฮกซะดีเคน (C16), เฮปตะดีเคน (C17) และออกตะดีเคน (C18) โดยมีน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย และจากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่ามีค่าสูงขึ้นจากสารตั้งต้นที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 300 ถึง 320 องศาเซลเซียสและจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเมล็ดในปาล์มเกิดปฏิกิริยาสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระก่อนที่จะทำปฏิกิริยาต่อไป จากงานวิจัยของ George W. Huber [1] พบว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันในน้ำมันพืชนั้น จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระและโพรเพนขึ้นก่อน หลังจากนั้นกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นสารประกอบอัลเคนและน้ำ ดังสมการที่ 1



$$+ \ H_2 \longrightarrow R\text{-}CH_2COOH + CH_4$$

Triglyceride **Hydrogen** **FFA** **propane**

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

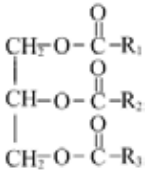
$$R\text{-}CH_2COOH + H_2 \longrightarrow R\text{-}CH_2\text{-}CH_3 + H_2O \quad (1)$$

FFA **Hydrogen** **Alkane** **Water**

ผลิตภัณฑ์สารประกอบอัลเคนที่มีโซ่โมเลกุลคาร์บอนเป็นเลขคู่คือ โดดีเคน (C12), เตตระดีเคน (C14), เฮกซะดีเคน (C16) และออกตะดีเคน (C18) ซึ่งเกิดจากทำปฏิกิริยาของกรดไขมันที่ได้จากการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ซึ่งไม่พบผลิตภัณฑ์ที่เป็นพันธะคู่หรือสารอัลคีนจากโมเลกุลกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวคือ กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดไลโนลีอิค (C18:2) แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีและยังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันขึ้นด้วย ดังสมการที่ 2

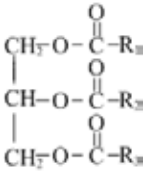
$$R\text{-}CH_2\text{-}CH_3 + H_2 \longrightarrow R\text{-}CH_2\text{-}CH_5 \quad (2)$$

นอกจากนั้นยังพบผลิตภัณฑ์สารประกอบอัลเคนที่มีโซ่โมเลกุลคาร์บอนเป็นเลขคี่คือ อัลดีเคน (C11), ไตรดีเคน (C13), เพนตะดีเคน (C15) และเฮปตะดีเคน (C17) ซึ่งจากงานวิจัยของ George W. Huber ได้ศึกษาว่ามีปฏิกิริยาข้างเคียงอีกสองปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันเกิดขึ้นพร้อมกับปฏิกิริยาหลักคือ ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันด้วย ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยานี้จะได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบอัลเคนที่มีโซ่โมเลกุลคาร์บอนเป็นเลขคี่ ซึ่งคาร์บอนที่เสียไปหนึ่งอะตอมนั้นจะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันจะมีผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดขึ้นคือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์โพรเพนและน้ำส่วนปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันจะมีผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดขึ้นคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และโพรเพน ดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ตามลำดับ



$$+ H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + CH_4 + CO + H_2O \quad (3)$$

Triglyceride **Hydrogen** **Alkane** **Propane** **Carbon monoxide** **Water**



$$+ H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + CH_4 + CO_2 \quad (4)$$

Triglyceride **Hydrogen** **Alkane** **propane** **Carbon dioxide**

สรุปผลการวิจัย

ผลกระทบของอุณหภูมิ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ เนื่องจากค่ากรดไขมันอิสระมีค่าสูงขึ้นจากสารตั้งต้นที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 300 ถึง 320 องศาเซลเซียสและจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และปริมาณก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์มีค่าลดลงด้วยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดน้อยลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทีละ 20 องศาเซลเซียสนั้นมีผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันอิสระด้วย จากงานวิจัยของ Pavel Simacek และคณะ, [5] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทีละ 20 องศาเซลเซียสมีผลต่ออัตราส่วนของสารผลิตภัณฑ์อัลเคนคาร์บอนอะตอมคู่และคาร์บอนอะตอมคี่ (n-C17 และ n-C18) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนอร์มอลเฮปตะดีเคนจะเกิดได้ดีขึ้นและมีแนวโน้มการเกิดแบบเส้นตรง แต่นอร์มอลออกตะดีเคนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ผลกระทบของความดัน

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความดัน 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีผลทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันเกิดได้น้อยเพราะปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์อัลเคนที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 60 มีปริมาณน้ำเกิดขึ้นน้อยและค่ากรดไขมันอิสระมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวและไม่ทำปฏิกิริยาในปริมาณสูง และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่อุณหภูมิต่ำแสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน แต่ที่สภาวะความดัน 750 และ 1,050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ได้ปริมาณสารอัลเคนสูงสุดที่ร้อยละ 70 ถึง 80 และมีปริมาณน้ำเกิดขึ้นสูง ซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันได้ดีมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Guzman, A., Torres, J.E., Prada, L.P., and Nunez, M.L. (2010). **"Hydroprocessing of crude palm oil at pilot plant scale,"** Catalysis Today 156, 38-43.

[2] Huber, G.W., O'Connor, P., and Corma, A. (2007). **"Processing biomass in conventional oil refineries: Production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy vacuum oil,"** Applied Catalysis A: Genaral 329, 120-129.

[3] ภทร จิรเศวตกุล. (2554). **ไฮโดรดีออกซิจีเนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมและโคบอลต์โมลิบดีนัม.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ภานุวิชญ์ เจริญวงศ์. (2554). **การไฮโดรทรีตติ้งของน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปาล์มสเตียรินและกรดไขมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ :จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] Simcek, P., et al. (2009). **"Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon based biodiesel,"** Fuel 88, 456-460.