

ปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติงของปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม

**Hydrotreating Reaction of Palm Olein Using Nickel Molybdenum Catalysts**

พิชญ์สวัสดิ์ แก้วมรกต (Pitsawat Kaewmorakot)\* ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุนา (Dr.JirdsakTscheikuna)\*\*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ และความดันแก๊สไฮโดรเจน ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีการไหลต่อเนื่อง การทดลองกำหนดอัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อน้ำมันพืชเท่ากับ 500 ต่อ 1 โดยปริมาตร อัตราการไหลของของเหลวเท่ากับ 1.0 ต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 380 องศาเซลเซียส และความดัน 30 ถึง 70 บาร์ น้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนได้เป็นกรดไขมันอิสระ หลังจากนั้นกรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันได้เป็นผลิตภัณฑ์นอร์มอลอัลเคน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น แต่ค่าผลได้ของนอร์มอลอัลเคนลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อกลายเป็นไอโซอัลเคน และเมื่อความดันสูงขึ้นส่งผลให้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์รวมสูงขึ้น

**ABSTRACT**

The research is the study of hydrodeoxygenation reaction of palm olein using nickel molybdenum catalyst. The factors of temperature and hydrogen pressure were studied in this research. Moreover, the experiments were conducted using continuous flow tubular reactor. The research found that hydrogen to vegetable oil ratio 500 : 1 by volume and liquid hourly space velocity of 1.0 per hour were used. The results showed at 300 to 380 ° C and 30 to 70 bar and vegetable oils react with hydrogen gas turned into the free fatty acids. Then the free fatty acids can turn into the normal alkanes product. The higher in temperatures has an effect on the result in a higher conversion of triglyceride, but the yield of normal alkanes would be reduced. And finally, the increased pressure results in a higher yield of products.

**คำสำคัญ :** กรีนดีเซล เชื้อเพลิงธรรมชาติ นิกเกิลโมลิบดีนัมฟอสฟอรัส น้ำมันปาล์มโอเลอิน ไฮโดรทรีตติง

**Key Words :** Green Diesel, Biodiesel, Isomerization, Hydrotreating

\* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*\* อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**บทนำ**

ไบโอดีเซลเป็นทรัพยากรหมุนเวียนธรรมชาติ และเป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากพืชน้ำมันและไขมันสัตว์เป็นหลัก เพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ไบโอดีเซลผลิตจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) โดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับเมทิลแอลกอฮอล์ ได้เป็นเมทิลเอสเตอร์หรือเอทิลเอสเตอร์ มีสารละลายเบสแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Charpe et al., 2011) องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มจะแสดงให้เห็นว่าเป็นสารผสมของไตรกลีเซอไรด์หลายชนิด เมื่อนำมาผลิตเป็นเอสเตอร์ก็จะได้เอสเตอร์หลายชนิดเช่นเดียวกัน และเอสเตอร์เหล่านี้จะมีสมบัติเชิงกายภาพที่แตกต่างกันไปด้วย อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลเป็นสารประเภทเอสเตอร์ ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ไบโอดีเซลจึงขาดความเสถียรในการใช้งาน ส่งผลให้ไม่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้

ต่อมาได้มีการพัฒนาไบโอดีเซล ให้มีโครงสร้างและคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม เรียกกันอย่างแพร่หลายว่า กรีนดีเซล โดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้ง ปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน จุดประสงค์เพื่อกำจัดสารประกอบที่ไม่ต้องการออกเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง (Tiwari et al., 2011) ต่อมาได้มีการนำปฏิกิริยาไฮโดรทรีตติ้งมาใช้กับน้ำมันพืช ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับไฮโดรเจน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทั่วไปในการทำปฏิกิริยาคือนิกเกิล โมลิบดีนัม โคบอลต์ โมลิบดีนัม และนิกเกิลทั้งสแตนบนตัวรองรับออกมินา (Chen et al., 2013) ปฏิกิริยาหลักที่เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็น

ผลิตภัณฑ์นอร์มอลอัลเคนที่ต้องการ คือการกำจัดออกซิเจนออกจากกรดไขมันอิสระ ประกอบด้วยสามทาง คือไฮโดรดีออกซิเจนชัน ดีคาร์บอกซิเลชัน และดีคาร์บอนิเลชัน (Veriansyah et al., 2012) งานวิจัยนี้สนใจในส่วนของไฮโดรดีออกซิเจนชัน เนื่องจากปฏิกิริยานี้ไม่เกิดการเสียดคาร์บอนอะตอมไปในรูปของแก๊ส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าซีเทนที่สูง หลังจากนั้นปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไป โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันของน้ำมันปาล์ม โอเลอินทำการศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัมและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาคือ อุณหภูมิ (300 ถึง 380 องศาเซลเซียส) ความดัน (30 ถึง 70 บาร์) (Krar et al., 2011) กำหนดความเร็วเชิงสเปซของของเหลวเท่ากับ 1 ต่อชั่วโมงและอัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 500 ต่อ 1 โดยปริมาตร

**วัตถุประสงค์การวิจัย**

ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความดัน เพื่อดูผลที่มีต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัม

**วิธีการวิจัย**

**การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา**

ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล โมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรม นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence มีองค์ประกอบดังนี้ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 71.6% โดยน้ำหนัก MoO<sub>3</sub> 21.24% โดยน้ำหนัก และ NiO 6.63% โดยน้ำหนัก

**อุปกรณ์การวิจัย**

การทดลองทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลต่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา สารตั้งต้นที่เป็นของเหลวและแก๊สจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทางด้านบนซึ่งเป็นการไหลแบบทางเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยานำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน โดยวิธีการมาตรฐาน AOCs Ca 5a-40 ปริมาณนอร์มอลอัลเคนและปริมาณไอโซอัลเคนวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ คาลิบริรคอลลัมน์ ใช้ตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนไนซ์

**ผลการวิจัย**

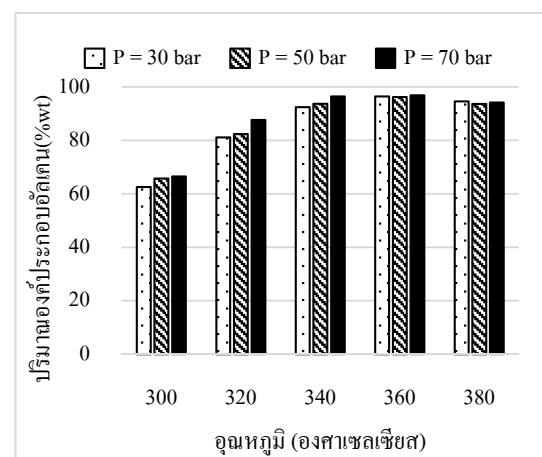
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จะทำการทดสอบด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCs Ca-5a-40 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระ หากมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันกลายเป็นนอร์มอลอัลเคนได้ดี และใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบอัลเคนจะแสดงผลเป็นร้อยละโดยมวลขององค์ประกอบอัลเคนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระ

T (°C)	P = 30 bar	P = 50 bar	P = 70 bar
300	2.210	1.922	1.717
320	2.050	1.214	0.637
340	0.098	0.097	0.098
360	0.084	0.084	0.086
380	0.085	0.084	0.085

ผลของการไทเทรตแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มที่ลดลง ที่ทุกๆความดัน โดยการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดในช่วงอุณหภูมิที่ 320-340 องศาเซลเซียส (ที่ P= 30 บาร์ %FFA<sub>@320 °C</sub> = 2.050 ลดลงเหลือ %FFA<sub>@340 °C</sub> = 0.098) แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่อุณหภูมิ 340-380 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาคาร์บอนิลเลชันสูง (Senol et al., 2005; Bezergianni et al., 2010) จึงทำให้กรดไขมันอิสระเปลี่ยนเป็นอัลเคนได้ดี และเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส

เมื่อความดันสูงขึ้น ปริมาณของกรดไขมันที่เหลือในผลิตภัณฑ์ก็จะน้อยลง เพราะการเพิ่มความดันส่งผลให้ไฮโดรเจนละลายลงไปกรดไขมันอิสระได้ดีขึ้น (Toba et al., 2011; Gong et al., 2012) ดังนั้นปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนชันจึงเกิดได้ดีขึ้น (ที่ T=300 °C %FFA<sub>@30bar</sub> = 2.210 ลดลงเหลือ %FFA<sub>@50bar</sub> = 1.922)

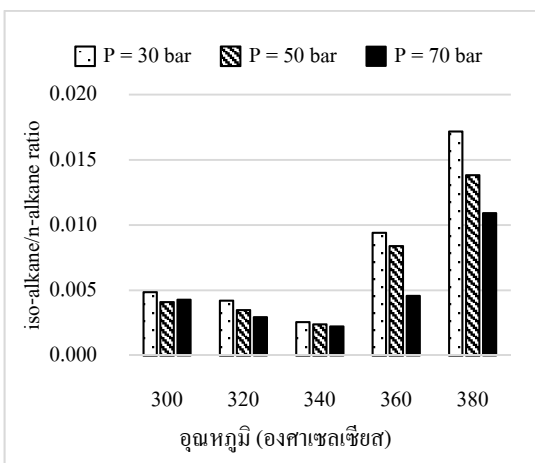


รูปที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบอัลเคน(%wt)

ผลของการใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบอัลเคนแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณองค์ประกอบอัลเคนจะสูงขึ้นตามไปด้วย ปริมาณองค์ประกอบอัลเคนมีปริมาณน้อยที่สุด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบอัลเคนเพิ่มขึ้นด้วย (ปริมาณองค์ประกอบอัลเคน = 62 %wt ถึง 96 %wt) เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชัน ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันสามารถเกิดขึ้นได้มากขึ้น

ผลกระทบของความดันต่อปริมาณอัลเคนพบว่าเมื่อความดันสูงขึ้นปริมาณอัลเคนจะเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิเนื่องจากการเพิ่มความดันจะเพิ่มค่าการละลายของไฮโดรเจนและเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนในการเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันได้ดีขึ้น

ผลิตภัณฑ์นอร์มอลอัลเคนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันของกรดไขมันอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันต่อได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณไอโซอัลเคนด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปคโตรเมทรีได้



รูปที่ 2 สัดส่วนไอโซอัลเคนต่อนอร์มอลอัลเคนที่อุณหภูมิ 300-380 องศาเซลเซียส

ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปคโตรเมทรี นำเสนอโดยใช้สัดส่วนไอโซอัลเคนต่อนอร์มอลอัลเคนเป็นตัวเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิดังรูปที่ 2 พบว่ามีสัดส่วนของไอโซอัลเคนต่อนอร์มอลอัลเคนลดลงที่อุณหภูมิ 300-340 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 360-380 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะทำให้โครงสร้างของอัลเคนเกิดรูปแบบของคาร์บอนเนียมไอออนเกิดขึ้นซึ่งทำให้สามารถเกิดไอโซเมอไรเซชันได้ดี (Kovacs et al., 2011)

แต่ในส่วนผลของความดันที่มีต่อปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน จะแปรผกผันกับผลของอุณหภูมิ ผลจากการทดลองแสดงถึงปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันที่ลดลง เมื่อความดันสูงขึ้น เนื่องจากความดันของไฮโดรเจนสูงขึ้น จะทำให้ความสามารถในการละลายของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ดังนั้นไฮโดรเจนจึงสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเนียมไอออนได้มากขึ้น จึงเป็นการขัดขวางการเกิดรูปแบบของไอโซเมอร์

ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบอัลเคน

	ปริมาณองค์ประกอบอัลเคน (%wt)		
Temperature (°C)	340	360	380
n-C <sub>5-14</sub>	1.92	2.26	2.64
iso-C <sub>15</sub>	0.00	0.00	0.02
n-C <sub>15</sub>	8.08	9.47	11.06
iso-C <sub>16</sub>	0.01	0.04	0.06
n-C <sub>16</sub>	27.01	26.60	24.30
iso-C <sub>17</sub>	0.06	0.12	0.26
n-C <sub>17</sub>	14.10	16.16	18.27
iso-C <sub>18</sub>	0.32	0.62	0.89
n-C <sub>18</sub>	42.34	40.94	36.13
total alkane	93.84	96.21	93.63
i-alkane/n-alkane	0.004	0.008	0.013

ผลิตภัณฑ์อัลเคนสามารถแยกหาองค์ประกอบต่างๆได้ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค

แก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่เป็นนอร์มอลอัลเคน กับไอโซอัลเคนได้ดังตารางที่ 2 โดยผลิตภัณฑ์จะเป็นสารผสมที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบอัลเคน โดยส่วนประกอบหลักจะเป็นองค์ประกอบอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 และยังมีอัลเคนที่มีจำนวนอะตอม 11 ถึง 14 และไอโซอัลเคนที่มีคาร์บอนอะตอม 15 ถึง 18 รวมอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชัน ในช่วงอุณหภูมิที่ 320-340 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของปริมาณกรดไขมันอิสระ การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันเกิดได้ดี และเมื่อทำปฏิกิริยาที่ความดันสูงส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันที่เหลือในผลิตภัณฑ์น้อยลง เพราะการเพิ่มความดัน ส่งผลให้ไฮโดรเจนละลายลงไปในกรดไขมันอิสระได้ดีขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชัน จึงเกิดได้ดีขึ้น (Kubicka et al., 2010) ผลกระทบของอุณหภูมิและความดันยังส่งผลต่อปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันด้วย พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 300-340 องศาเซลเซียส มีสัดส่วนไอโซอัลเคนต่อนอร์มอลอัลเคนต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 360-380 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันได้ไม่ดี การเกิดของนอร์มอลอัลเคนและไอโซอัลเคนจึงน้อย ดังนั้นการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีการเกิดของนอร์มอลอัลเคนที่สมบูรณ์ ก็จะสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกลายเป็นไอโซอัลเคนได้มากเช่นเดียวกัน เนื่องจากคาร์บอนเนียมไอออนเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Khurshid et al., 2009) แต่การเพิ่มของ

ความดันส่งผลให้ปริมาณไอโซอัลเคนลดลง เพราะการเพิ่มความดันส่งผลให้แก๊สไฮโดรเจนละลายลงไปในสารตั้งต้นได้ดี ดังนั้นไฮโดรเจนจะไปจับกับคาร์บอนเนียมไอออน ส่งผลให้ไม่สามารถเกิดเป็นไอโซอัลเคนได้

การเพิ่มอุณหภูมิและความดัน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันมากขึ้น และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจนเนชันได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสและผลของการเพิ่มอุณหภูมิยังส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันของนอร์มอลอัลเคน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณของไอโซอัลเคนจะสูงขึ้น แต่การเพิ่มความดัน ส่งผลให้ปริมาณของไอโซอัลเคนต่ำลง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุนาที่ช่วยให้ความรู้กำกับดูแลตลอดการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

Charpe TW, Rathod VK. 2011. Biodiesel production using waste frying oil. *Waste Management*. 31: 85-90.

Tiwari R, Rana B, Kumar R, Verma D, Kumar R, Joshi R, Garg M, Sinha A. 2011. Hydrotreating and hydrocracking catalysts for processing of waste soya-oil and refinery-oil mixtures. *Catalysis Communications*. 12: 559-562.

- Chen N, Gong S, Qian EW. 2013. Single-Step Hydroconversion of Jatropha Oil to High Quality Fuel over Reduced Nickel-Molybdenum Catalysts, Journal of Japan Petroleum Institute. 56: 249-252.
- Veriansyah B, Han J, Kim S, Hong S, Kim Y, Lim J, Shu Y, Ohc S, Kim J. 2012. Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts. Fuel. 94: 578–585
- Krar M, Kasza T, Kovacs S, Kallo D, Hancsok J. 2011. Bio gas oils with improved low temperature properties. Fuel Processing Technology. 92: 886–892.
- Senol O, Viljana T, Krause A. 2005. Hydrodeoxygenation of methyl esters on sulphided NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts. Catalysis Today. 100: 331-335.
- Bezergianni S, Dimitriadis A, Kalogianni A, Pilavachi PA. 2010. Hydrotreating of waste cooking oil for biodiesel production Part I: Effect of temperature on product yields and heteroatom removal. Bioresource Technology. 101: 6651-6656.
- Toba M, Abea Y, Kuramochib H, Osakob M. 2011. Hydrodeoxygenation of waste vegetable oil over sulfide catalysts. Catalysis Today. 164: 533–537.
- Gong S, Shinozaki A, Shi M, Qian EW. 2012. Hydrotreating of Jatropha Oil over Alumina Based Catalysts. Energy Fuels. 26: 2394-2399.
- Kovacs S, Kasza T, Therneszb A, Horvathb IW, Hancsoka J. 2011. Fuel production by hydrotreating of triglycerides on NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/F catalyst. Chemical Engineering Journal. 176-177: 237-243.
- Kubicka D, Kaluz L. 2010. Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts. Applied Catalysis A: General. 372: 199–208.
- Khurshid M, Al-Daous MA, Hattori H, Al-Khattaf SS. 2009. Effects of hydrogen on heptane isomerization over zirconium oxide modified with tungsten oxide and platinum. Applied Catalysis A: General. 362: 75-81