

# น้ำมันพืชใช้แล้ว: วัตถุดิบเพื่อการผลิตไบโอดีเซล

## Waste Cooking Oil: The Raw Material for Biodiesel Production

ชินนัตต์ สีนประเสริฐโชค<sup>1,2</sup> และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>โครงการเคยู-ไบโอดีเซล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านสบู่ดำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

E-mail: fengpjs@ku.ac.th\*

### บทคัดย่อ

น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ การผลิตเชื้อเพลิงจากน้ำมันพืชใช้แล้วจำเป็นต้องนำน้ำมันมาปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต ด้วยเหตุที่ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการประกอบอาหารคือสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำมันพืชมีคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป บทความนี้จะนำเสนอถึงปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในน้ำมัน รวมถึงผลกระทบจากปฏิกิริยาดังกล่าวที่มีต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้น โดยในท้ายที่สุดบทความยังได้รวบรวมแนวทางในการจัดการสารที่เป็นปัญหาด้วยวิธีการต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

### คำสำคัญ

น้ำมันพืชใช้แล้ว ไบโอดีเซล ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เอสเทอร์ฟิเคชัน กรดไขมันอิสระ

### Abstract

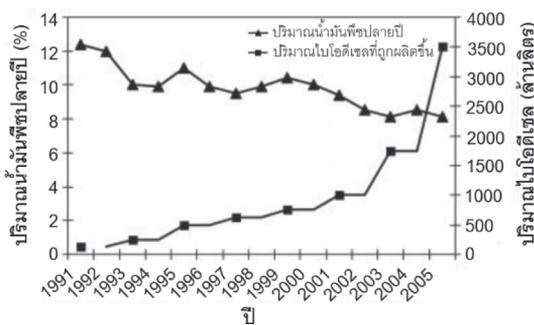
Waste cooking oil can be one of the applicable raw materials for a biodiesel production. Before entering production line of biodiesel, frying oil should be received a physical or chemical treatment owing to its inappropriate quality affecting the manufacturing process. Since the major cause in quality changing of vegetable oil is the chemical reaction occurring during food processing, principal reactions are also presented in this review. Moreover, consequences on the biodiesel production and biodiesel property originating from those reactions are included too. Eventually, this review gathers many efficient solutions for handling those problematic substances in the waste cooking oil.

**Keywords**

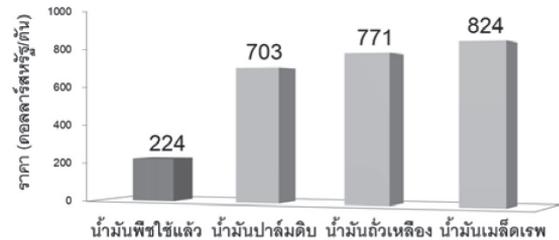
waste cooking oil, biodiesel, transesterification, esterification, free fatty acid

**1. คำนำ**

ไบโอดีเซลคือเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถใช้ทดแทนดีเซลที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมได้ ด้วยการสนับสนุนจากภาครัฐ และสมบัติทางเชื้อเพลิงบางประการที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับดีเซล [1] รวมถึงลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีของเครื่องยนต์และระบบการจ่ายเชื้อเพลิงในปัจจุบัน จึงทำให้ปริมาณการใช้และผลิตไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก อันเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำมันพืชที่สามารถบริโภคได้ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังเห็นได้จากปริมาณน้ำมันพืชปลายปีที่แสดงในภาพที่ 1 แม้ว่าจะมีการผลิตน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปีแล้วก็ตาม [2] ด้วยเหตุนี้ราคาของน้ำมันพืชจึงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนทางวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด [3] ปรับเพิ่มขึ้นตาม



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำมันพืชปลายปี (Ending stock) และไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นทั่วโลก [2]



ภาพที่ 2 ราคาเฉลี่ยของน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบของการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน [4]

น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เนื่องจากมีราคาต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นที่แสดงในภาพที่ 2 และยังเป็นวัตถุดิบที่แต่ละประเทศสามารถผลิตขึ้นได้เองในปริมาณมากดังค่าในตารางที่ 1 นอกจากนี้คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วยังมีความใกล้เคียงกับไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดอื่นซึ่งเห็นได้จากค่าในตารางที่ 2 อีกทั้งการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นพลังงานยังเป็นการสร้างทางเลือกที่เหมาะสมในกำจัดน้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วที่เกิดขึ้นทั้งหมด [6]

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วในแต่ละประเทศ [2, 5]

ประเทศ	ปริมาณน้ำมันต่อปี
สหรัฐอเมริกา	10,000,000 ตัน
จีน	4,500,000 ตัน
สหภาพยุโรป	700,000-10,000,000 ตัน
ญี่ปุ่น	450,000-570,000 ตัน
มาเลเซีย	500,000 ตัน
ไต้หวัน	70,000 ตัน
ไทย	100,000,000 ลิตร

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่างๆ [6] [7]

	ความหนาแน่น (kg/ cm <sup>3</sup> )	ความหนืดที่ 40°C (mm <sup>2</sup> / s)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/ g)	ค่าความร้อน (MJ/ kg)	จำนวนซีเทน (Cetane number)
ดีเซลทั่วไป	845	3.47	-	45	50
ไบโอดีเซลจากน้ำมัน เมล็ดเรพ	880-888	4.30-5.83	0.25-0.45	41.55	49-50
ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่ว เหลือง	885	4.08	0.15	41.28	52
ไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์ม	860-900	4.42	0.08	41.24	62
ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้ แล้ว	878-887	4.00-5.18	0.15	39.26-39.48	48

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันชนิดต่างๆ [6]

ชนิดของน้ำมัน	องค์ประกอบของกรดไขมัน	ความหนืดที่ 40°C (mm <sup>2</sup> / s)	ความ หนาแน่น (g/ cm <sup>3</sup> )	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/ g)
ปาล์ม	C16:0, C18:0, C18:1, C18:2	39.6	0.92	0.1
เมล็ดเรพ	C16:0, C18:0, C18:1, C18:2	35.1	0.91	2.92
ถั่วเหลือง	C16:0, C18:1, C18:2	32.9	0.91	0.2
น้ำมันพืชใช้แล้ว	ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชตั้งต้น	44.7	0.90	2.5

แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีคุณสมบัติบางประการที่คล้ายคลึงกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ดังที่แสดงในตารางที่ 3 แต่การนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยปราศจากการปรับปรุงคุณภาพอาจสร้างปัญหาต่อกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีสารบางชนิดซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการประกอบอาหาร

## 2. ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับน้ำมันพืชในระหว่างการทอดอาหาร

การประกอบอาหารด้วยวิธีการทอดใช้น้ำมันพืชเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้แก่อาหาร ความร้อนที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ไขมันได้ทำให้ไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันซึ่งเป็นลิพิดหลักที่พบในน้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาทาง

เคมีชนิดต่างๆ ขึ้น โดยปฏิกิริยาดังกล่าวได้สร้างการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีให้แก่ไขมันพืชเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีสำคัญที่เกิดขึ้นในน้ำมันมีจำนวน 3 ปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

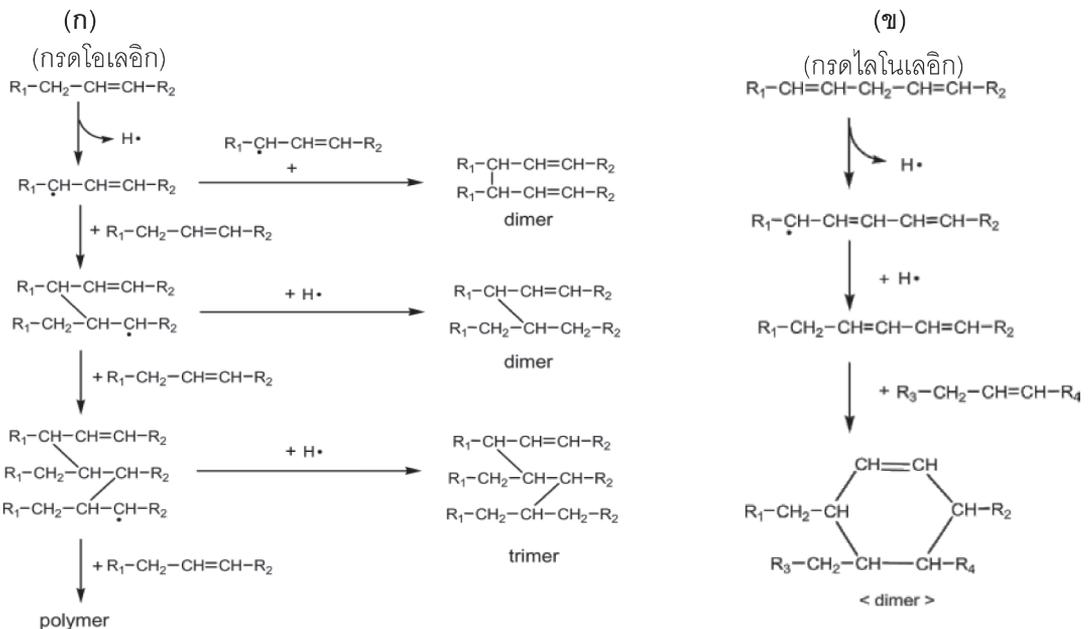
**2.1 ปฏิกิริยาเทอร์โมไลติก (Thermolytic reaction)**

ในขณะที่น้ำมันพืชมีอุณหภูมิสูง และอยู่ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย ลิพิดในน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารชนิดต่างๆ โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นจะแปรผันตามโครงสร้างของลิพิดที่เป็นสารตั้งต้นกล่าวคือ ถ้าไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างเกิดปฏิกิริยาเทอร์โมไลติกลิพิดจะสลายตัวเป็นแอลเคน แอลคีน และสารชนิดอื่นๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 หากสารตั้งต้นเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว หรือไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่

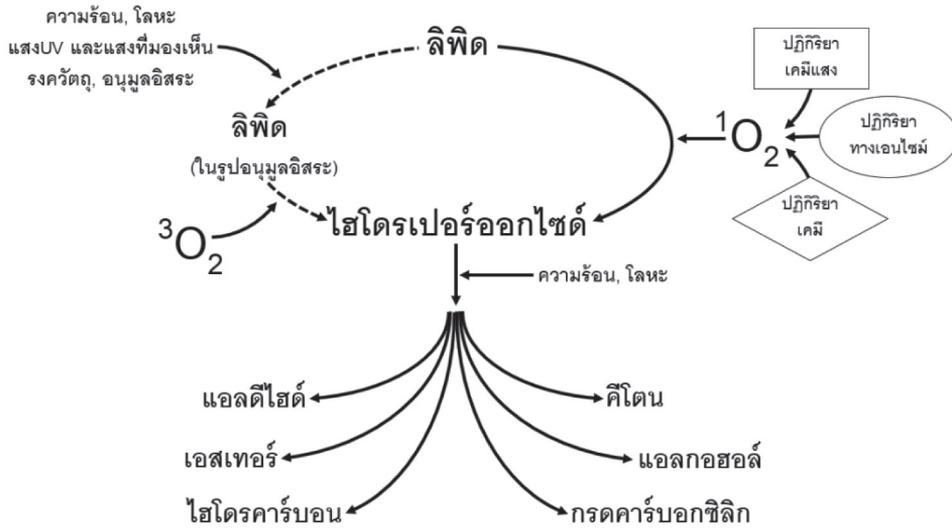
อิ่มตัวอยู่ในโครงสร้าง ลิพิดจะรวมตัวกันแล้วเกิดเป็นสารประกอบไดเมอร์ ไตรเมอร์ และพอลิเมอร์ เป็นต้น หนึ่งตัวอย่างของการเกิดสารอะไซคลิก และ ไซคลิกพอลิเมอร์ (Acyclic and cyclic polymer) จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถแสดงได้ในภาพที่ 3

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเทอร์โมไลติก [8]

สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์
ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้าง	นอร์มอลแอลเคน, แอลคีน, คีโตน, ออกโซไพรอพิลเอสเทอร์ (Oxopropyl ester), กรดไขมัน คาร์บอนมอนออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์
กรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในโครงสร้าง	สารประกอบไดเมอร์, ดีไฮโดรไดเมอร์ (Dehydrodimer), ไดเมอร์อิ่มตัว (Saturated dimer), ไตรเมอร์ (Trimer) และสารประกอบโพลีไซคลิก (Polycyclic compound)



ภาพที่ 3 การเกิดสารประกอบพอลิเมอร์จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ก) การเกิดไดเมอร์ ไตรเมอร์และพอลิเมอร์จากกรดโอเลอิก (ข) การเกิดสารประกอบวงแหวน (Cyclic polymer) จากกรดไลโนเลอิก [9]



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด

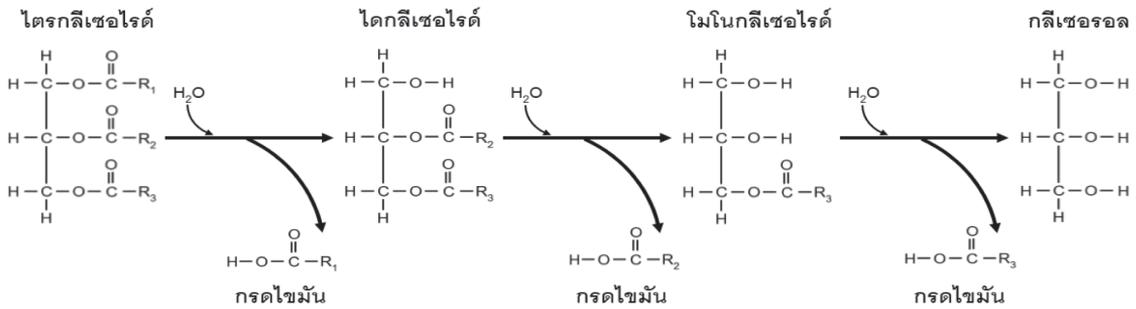
## 2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction)

ลิพิดในน้ำมันพืชสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้กับออกซิเจน 2 ชนิดที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัลเชิงโมเลกุล  $\pi$  แบบต้านพันธะ ( $\pi$ -antibonding molecular orbital) โดยออกซิเจนที่มีอยู่โดยทั่วไปในอากาศหรือ Triplet oxygen ( $^3O_2$ ) สามารถเกิดปฏิกิริยากับลิพิดที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระ (Radical form) ได้เท่านั้น ซึ่งลิพิดในรูปดังกล่าวเกิดขึ้นจากการที่ลิพิดในรูปปกติถูกปัจจัยต่างๆ อาทิความร้อน แสง โลหะ หรือรังสีคอสมิก [10] กระตุ้นให้เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมไปจากโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตามลิพิดในรูปปกติก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เช่นกัน โดยออกซิเจนดังกล่าวจะมีพลังงานที่สูงกว่า  $^3O_2$  เนื่องจากต้องดึงอิเล็กตรอนออกจากพันธะคู่ในโมเลกุลของลิพิดซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง [11] ออกซิเจนชนิดนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์ หรือแสงที่มีขึ้นในน้ำมัน [12] และถูกเรียกว่า singlet oxygen ( $^1O_2$ ) ตามค่า

spin multiplicity ที่มีค่าเท่ากับ 1 หนึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจนทั้งสองชนิดคือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจาก  $^1O_2$  จะมีทั้ง conjugated และ nonconjugated hydroperoxide ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก  $^3O_2$  จะพบเพียง conjugated hydroperoxide เท่านั้น [13] ทั้งนี้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทั้งสองชนิดจะสลายตัวเป็นสารหลากหลายชนิดดังภาพที่ 4

## 2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลติก (Hydrolytic reaction)

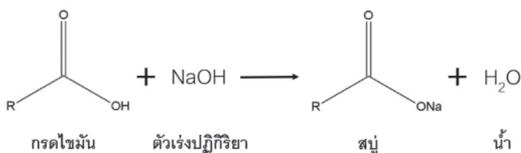
การทอดอาหารโดยทั่วไปคือการลดความชื้นในอาหารโดยอาศัยความร้อนจากน้ำมันพืช เมื่ออาหารได้รับความร้อน น้ำมันบางส่วนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอล้วระเหยออกไปจากชิ้นอาหาร ขณะที่น้ำในบางส่วนซึ่งยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะรวมถึงไอน้ำที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระตามลำดับดังภาพที่ 5



R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> คือ สายโซ่คาร์บอนของกรดไขมัน

ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในข้างต้นสามารถสร้างปัญหาให้แก่การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้เป็นอย่างมาก ดังกรณีของกรดไขมันอิสระที่สามารถลดประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาจน ตลอดจนทำให้เกิดการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาไป เนื่องจากกรดไขมันอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับต่างซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล แล้วเกิดเป็นสบู่ดังภาพที่ 6 นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของสบู่จึงทำให้ผลได้ (Yield) และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลลดลง เพราะไบโอดีเซลไม่สามารถแยกตัวออกจากกลีเซอรอลหลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุด หรือแยกตัวออกจากน้ำที่นำมาล้างไบโอดีเซลได้ [14]



R คือ สายโซ่คาร์บอนของกรดไขมัน

ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาสaponification (Saponification) ของกรดไขมัน

นอกจากนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดยังก่อให้เกิดสารประกอบพอลิเมอร์ (ทั้งอะไซคลิกและไซคลิกพอลิเมอร์) ที่มีมวลโมเลกุลค่อนข้างสูง เช่น พอลิเอริกไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันชั้นในน้ำมัน ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งมีสารประกอบกลุ่มดังกล่าวอยู่จึงมีมวลโมเลกุลค่อนข้างสูง และมีการระเหยที่ต่ำ ส่งผลให้ไบโอดีเซลมีความหนืดและค่ากากถ่าน (Conradson carbon residue) ที่สูงเกินกว่าที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ [15]

### 8 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว

การกำจัดหรือลดสารที่เป็นปัญหาให้มีปริมาณน้อยหรือมีอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ คือแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชใช้แล้วที่นิยมปฏิบัติ ทั้งนี้สารกลุ่มหลักในน้ำมันพืชใช้แล้วที่พึงจัดการคือ น้ำ กรดไขมันอิสระ และสารประกอบพอลิเมอร์

#### 3.1 แนวทางในการจัดการความชื้น

การลดความชื้นในน้ำมันพืชใช้แล้วสามารถกระทำได้หลายวิธี การนำน้ำมันมาผสมกับตัวดูดซับ (Adsorbent) หรือนำมาไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับไว้ [16] เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ปฏิบัติกัน โดยตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้นั้นมีอยู่หลายชนิดเช่น ซิลิกาเจล

แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต อะลูมิเนียมออกไซด์ และเกลือซัลเฟตที่ไม่มีน้ำผลึก (Anhydrous sulfate salt) เช่น โซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต เป็นต้น นอกจากนี้การปรับปรุงความชื้นในน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยวิธีการใช้น้ำร่วมกับการพักน้ำมัน (Steam and sedimentation treatment) [17] ยังเป็นอีกวิธี

หนึ่งที่ได้มีการรายงานไว้ วิธีการนี้ได้อาศัยความแตกต่างของสภาพชั่วคราวระหว่างน้ำกับไขมันในการแยกน้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำของกระบวนการดังกล่าวคือ ระยะเวลาในการพักน้ำมันและจำนวนรอบในการทำซ้ำดังเห็นได้จากตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความชื้นในวัตถุดิบก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการปรับปรุง	ความชื้น (ร้อยละ)	
	ค่าเริ่มต้น	ค่าหลังปรับปรุง
การใช้ตัวดูดซับ [16] (แมกนีเซียมซัลเฟตผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1)	0.2%	0.02%
การใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมัน [17]	1.4%	0.6% <sup>1</sup> / 0.4% <sup>2</sup>
การระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศ <sup>3</sup> [18]	0.12%	0.02%

- 1 ความชื้นของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากผ่านการปรับปรุงในครั้งแรก
- 2 ความชื้นหลังของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากการผ่านปรับปรุงในครั้งที่ 2 ด้วยวิธีการเดิม
- 3 วัตถุดิบที่นำมาปรับปรุงคุณภาพคือ ไบโอดีเซล

การระเหยนํ้าออกจากน้ำมันเป็นอีกวิธีที่สามารถลดความชื้นได้เป็นอย่างดี น้ำมันพืชใช้แล้วจะถูกเพิ่มอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าจุดเดือดปกติของน้ำ [19] ด้วยแหล่งกำเนิดความร้อนหรือคลื่นไมโครเวฟ [20] แต่อย่างไรก็ดีหากปรับเปลี่ยนการระเหยให้อยู่ในสภาวะสูญญากาศแล้ว การระเหยของน้ำจะสามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่า และเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติของน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวได้ถูกใช้ลดความชื้นให้แก่ไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นในระดับอุตสาหกรรม [18] อนึ่งปริมาณน้ำในน้ำมันพืชใช้แล้วหลังผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5

### 3.2 แนวทางในการจัดการกรดไขมันอิสระ

แม้ว่าการดไขมันอิสระจะสร้างปัญหาให้แก่การผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่การผลิต

ไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูงยังสามารถกระทำได้ โดยปรับปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำไปผลิต ทั้งนี้จากการตรวจสอบเอกสารพบว่า วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5–3 [6, 21] หรือไม่ควรเกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากสบูที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการแยกตัวของไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอล [14]

วิธีการใช้น้ำร่วมกับการพักน้ำมันเป็นตัวอย่างของการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่สามารถกำจัดสารที่เป็นปัญหาในน้ำมันพืชใช้แล้วได้มากกว่าหนึ่งชนิด การลดลงของน้ำในน้ำมันด้วยวิธีดังกล่าวทำให้เกิดผลพลอยได้คือค่ากรดไขมันอิสระที่ต่ำลง แต่อย่างไรก็ดีเนื่องจากกรดไขมันสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย การกำจัดน้ำ

ออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยวิธีการใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมันจึงช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ไม่มาก [17] ดังเห็นได้จากค่าในตารางที่ 6 นอกจากนี้การลดกรดไขมันอิสระยังสามารถกระทำได้นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อแยกกรดไขมันอิสระออก [22] หรือนำมาดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยตัวดูดซับ อาทิ แมกนีเซียมซิลิเกต อะลูมิเนียมออกไซด์ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ ซีโอไลต์ เบนโทไนต์ เคโอลินิต์ ถ่านกัมมันต์ ดินเบา (Diatomaceous earth) และ montmorillonite clay เป็นต้น

การใช้ปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อลดกรดไขมันอิสระ หนึ่งในปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในวิธีดังกล่าวคือ ปฏิกิริยาการเติมโมเลกุลของกรดไขมันอิสระเข้าไปในโครงสร้างของกลีเซอรอลจนเกิดเป็นโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 200 °C [6] ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีดังกล่าวจึงอาจมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าวิธีการอื่นๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นยังต้องนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันกับแอลกอฮอล์อีกครั้ง เพื่อให้เกิดไบโอดีเซลขึ้นดังภาพที่ 7

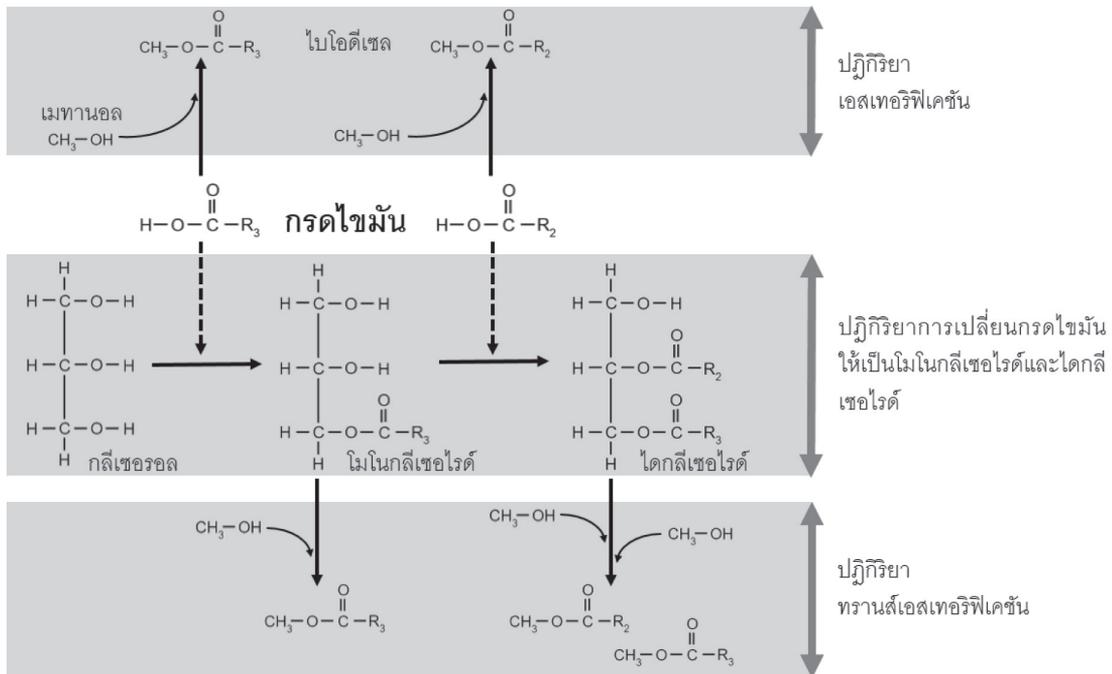
ตารางที่ 6 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการปรับปรุง	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ) หรือค่าความเป็นกรด (mgKOH/ g)	
	ค่าเริ่มต้น	ค่าหลังปรับปรุง
	การใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมัน* [17]	5.3
การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ* [22]	3.0	0.5-1.0
การใช้ตัวดูดซับ (อะลูมิเนียมออกไซด์) [23]	0.70% ± 0.03	0.44% ± 0.02
การใช้ตัวดูดซับ [16] (แมกนีเซียมซิลิเกตผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1)	10.6%	0.23%

\* แสดงผลด้วยค่าความเป็นกรด

<sup>1</sup> ค่าความเป็นกรดของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากผ่านการปรับปรุงในครั้งแรก

<sup>2</sup> ค่าความเป็นกรดของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากการผ่านปรับปรุงในครั้งที่ 2 ด้วยวิธีการเดิม



ภาพที่ 7 ปฏิกิริยาเคมีชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

การเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นไบโอดีเซลโดยตรงด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจึงเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Total manufacturing cost) ซึ่ง Zhang และคณะได้ประเมินแล้วว่า วิธีการนี้มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์โดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [24] นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในวิธีดังกล่าวซึ่งได้แก่ กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลโฟนิก เซอร์โคเนียมออกไซด์ ทินออกไซด์ ไทเทเนียมออกไซด์ ซีโอไลต์ และเรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange resin) ยังช่วยให้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้อีกด้วย

### 3.3 แนวทางในการจัดการสารประกอบพอลิเมอร์

ตัวดูดซับยังคงเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาใช้กำจัดสารชนิดอื่นๆ รวมถึงพอลิเมอร์ในน้ำมัน แม้ว่า การใช้ตัวดูดซับ อาทิ อะลูมิเนียมออกไซด์ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมซิลิเกต ซิลิกาเจล ถ่านกัมมันต์ ดินเบา frypowder และ activated clay เพียงชนิดเดียวจะสามารถลดปริมาณพอลิเมอร์ในน้ำมันได้เป็นอย่างดี แต่จากผลการทดลองในตารางที่ 7 ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆ ในการลดความหนืด ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สัมพันธ์กับปริมาณพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืชใช้แล้ว [23] พบว่าการใช้ตัวดูดซับผสม (Adsorbent combination) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า นอกจากนี้วิธีการใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมันก็มีความสามารถในการกำจัดพอลิเมอร์ละลายน้ำ (Water-soluble polymer) ออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้เช่นกัน

ตารางที่ 7 ความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการปรับปรุง	ความหนืด	
	ค่าเริ่มต้น	ค่าหลังปรับปรุง
ผงถ่านกัมมันต์* [23]	97.12 ± 0.45	91.20 ± 0.60
ผงถ่านกัมมันต์ผสมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์* [23] (อัตราส่วน 1:3)	97.12 ± 0.45	90.90 ± 0.04
การใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมัน** [17]	201.3	110.2 <sup>1</sup> /70.1 <sup>2</sup>

\* ความหนืดที่อุณหภูมิ 30 OC ซึ่งแสดงผลในหน่วย (Cp) / \*\*แสดงผลในหน่วย (mm<sup>2</sup>/ s)

<sup>1</sup> ความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากผ่านการปรับปรุงในครั้งแรก

<sup>2</sup> ความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้วหลังจากการผ่านปรับปรุงในครั้งที่ 2 ด้วยวิธีการเดิม

#### 4. บทสรุป

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน แต่การนำน้ำมันพืชที่ผ่านการประกอบอาหารมาผลิตเป็นไบโอดีเซลจำเป็นต้องปรับลดปริมาณสารที่อาจสร้างปัญหาต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้น กระบวนการต่างๆ ทั้งทางเคมีและกายภาพจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดหรือกำจัดน้ำ กรดไขมันอิสระ และสารประกอบพอลิเมอร์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำมันพืชใช้แล้วสามารถเข้าสู่ระบบการผลิตได้อย่างไม่มีปัญหาตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์คือไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

#### 5. เอกสารอ้างอิง

[1] Basha S. A., Gopal K. R., and Jebaraj S., (2009), "A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance".

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.13. No. 6-7, pp 1628-1634.

[2] Gui M. M., Lee K. T., and Bhatia S., (2008), "Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock". Energy, Vol. 33. No. 11, pp 1646-1653.

[3] Leung D. Y. C., Wu X., and Leung M. K. H., (2010), "A review on biodiesel production using catalyzed transesterification". Applied Energy, Vol. 87. No. 4, pp 1083-1095.

[4] Yaakob Z., Mohammad M., Alherbawi M., Alam Z., and Sopian K., (2013), "Overview of the production of biodiesel from waste cooking oil". Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 18. No. 0, pp 184-193.

[5] Siriwardhana M., Opathella G. K. C., and Jha M. K., (2009), "Bio-diesel: Initiatives, potential and prospects in Thailand: A review". Energy Policy, Vol. 37. No. 2, pp 554-559.

- [6] Talebian-Kiakalaieh A., Amin N. A. S., and Mazaheri H., (2013), "A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil". *Applied Energy*, Vol. 104. No. 0, pp 683-710.
- [7] Enweremadu C. C., and Mbarawa M. M., (2009), "Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil - A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13. No. 9, pp 2205-2224.
- [8] Kulkarni M. G., and Dalai A. K., (2006), "Waste Cooking Oil - An Economical Source for Biodiesel: A Review". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 45. No. 9, pp 2901-2913.
- [9] Choe E., and Min D. B., (2007), "Chemistry of Deep-Fat Frying Oils". *Journal of Food Science*, Vol. 72. No. 5, pp R77-R86.
- [10] Laguerre M., Lecomte J., and Villeneuve P., (2007), "Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges". *Progress in Lipid Research*, Vol. 46. No. 5, pp 244-282.
- [11] Min D. B., and Boff J. M., (2002), "Chemistry and Reaction of Singlet Oxygen in Foods". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 1. No. 2, pp 58-72.
- [12] Akoh C. C. and Min D. B. (2008). *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. CRC Press. Florida.
- [13] Choe E., and Min D. B., (2006), "Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 5. No. 4, pp 169-186.
- [14] Gerpen J. V., (2005), "Biodiesel processing and production". *Fuel Processing Technology*, Vol. 86. No. 10, pp 1097-1107.
- [15] Mittelbach M., and Enzelsberger H., (1999), "Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 76. No. 5, pp 545-550.
- [16] Lee K.-T., Foglia T., and Chang K.-S., (2002), "Production of alkyl ester as biodiesel from fractionated lard and restaurant grease". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 79. No. 2, pp. 191-195.
- [17] Supple B., Howard-Hildige R., Gonzalez-Gomez E., and Leahy J. J., (2002), "The effect of steam treating waste cooking oil on the yield of methyl ester". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 79. No. 2, pp 175-178.
- [18] Felizardo P., Neiva Correia M. J., Raposo I., Mendes J. F., Berkemeier R., and Bordado J. M., (2006), "Production of biodiesel from waste frying oils". *Waste Management*, Vol. 26. No. 5, pp 487-494.
- [19] Demirbas A., (2009), "Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification". *Energy Conversion and Management*, Vol. 50. No. 4, pp 923-927.
- [20] Saifuddin N., and Chua K .H., (2004), "Production of ethyl ester (biodiesel) from used frying oil: optimization of transesterification

process using microwave irradiation”. Malaysian Journal of Chemistry, Vol. 6. No. 1, pp. 77–82.

[21] Lam M. K., Lee K. T., and Mohamed A. R., (2010), “Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review”. Biotechnology Advances, Vol. 28. No. 4, pp 500-518.

[22] Cvengroš J., and Cvengrošová Z., (2004), “Used frying oils and fats and their utilization in the production of methyl esters of higher fatty acids”. Biomass and Bioenergy, Vol 27. No. 2, pp 173-181.

[23] Bhattacharya A. B., Sajilata M. G., Tiwari S. R., and Singhal R. S., (2008), “Regeneration of thermally polymerized frying oils with adsorbents”. Food Chemistry, Vol. 110. No. 3, pp 562-570.

[24] Zhang Y., Dubé M. A., McLean D. D., and Kates M., (2003), “Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis”. Bioresource Technology, Vol. 90. No. 3, pp 229-240.