

# การลดปริมาณเสเตอร์ริดกลุโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า



ปริญญาโทชั้นโท ๕๕๗ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# การลดปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

REDUCTION OF STERYL GLUCOSIDES IN BIODIESEL  
USING COMMERCIAL ADSORBENTS



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไปโอติเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า  
โดย นางสาวภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



*[Signature]*

.....ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)

*[Signature]*

.....กรรมการ

(ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอำพร)

*[Signature]*

.....กรรมการ

(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การลดปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า
โดย	นางสาวภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ (SG) ในไบโอดีเซลเกรดการค้าโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า 4 ชนิด ได้แก่ magnesol (MS), tonsil (TS), bleaching earth (BE) และ diatomaceous earth (DA) การทดลองการดูดซับแบบกะทำที่อุณหภูมิ 65-80°C ปริมาณตัวดูดซับ 0.05-3 %wt เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ และศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG และทำการทดลองคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล สารผสมเฮกเซนกับไอโซโพรพานอล (1:1 โดยปริมาตร) และอะซิโตน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับเกรดการค้าทั้ง 4 ชนิดสามารถดูดซับ SG ในไบโอดีเซลที่มี SG 97 ppm ได้ โดย MS เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถลดปริมาณ SG ลงได้ 77.71% รองลงมาคือ TS, BE และ DA ซึ่งสามารถลดปริมาณ SG ลงได้ 51.30%, 51.52% และ 33.47% ตามลำดับ เมื่อใช้ตัวดูดซับ 1 %wt ที่ 65°C นาน 1 ชั่วโมง การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้ความเข้มข้นของ SG ลดลงตลอดช่วงที่ทำการทดลอง การเพิ่มอุณหภูมิจาก 65°C เป็น 70°C ทำให้ BE และ DA ดูดซับ SG ได้ดีขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70°C การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ตัวดูดซับทั้งสองมีประสิทธิผลลดลง ในขณะที่อุณหภูมิไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของ MS และ TS นอกจากนี้พบว่าสำหรับการคายซับ SG จาก MS, TS และ BE ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่สามารถคายซับ SG ได้ดีที่สุด ในขณะที่สารผสมเฮกเซนกับไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด ในกรณี DA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Report title</b>	Reduction of steryl glucosides in biodiesel using commercial adsorbents
<b>By</b>	Pattarin Laungthaleongpong
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Chemical Engineering
<b>Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

## Abstract

Reduction of steryl glucosides in commercial biodiesel using commercial adsorbents; magnesol (MS), tonsil (TS), bleaching earth (BE) and diatomaceous earth (DA) was investigated. Batch adsorption experiment was performed at temperatures in range of 65-80 °C and 0.05-3%wt of adsorbent amounts in order to compare adsorption efficiencies of these adsorbents at various temperatures, to evaluate effects of adsorbent amount on adsorption efficiency. In addition, desorption experiment was performed using 5 organic solvents; methanol, ethanol, isopropanol, a mixture of hexane and isopropanol (1:1 vol) and acetone. Biodiesel contained SG with the concentration of 97 ppm. Adsorption experiment performed at 65°C, 1%wt and adsorption time of 1 h showed that magnesol had the highest adsorption efficiency. The percentages of SG reduction of MS, TS, BE and DA were 77.71, 51.30, 51.52 and 33.47, respectively. Concentration of SG decreased with increase of adsorbent amount in the tested range. SG adsorption efficiencies of BE and DA increased when adsorption temperature increased from 65°C to 70°C but decreased with increase of temperature when the temperature was higher than 70°C. However, SG adsorption efficiencies of MS and TS were not influenced by temperature. Desorption experiment revealed that isopropanol was the best solvent for dissolving SG from MS, TS and BE while a mixture of hexane and isopropanol was the best solvent for DA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา  
นิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาในการทำโครงงานวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย  
ประเภททุนงบประมาณแผ่นดิน

ขอขอบคุณ คุณสุทธิรัตน์ คำบุง ที่ช่วยเหลือในทุกๆด้านในการทำปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณหฤษฎ์ ไทยกรรม และคุณอินทรา ลัดลอย ที่ให้ช่วยเหลือในการทดลอง  
บางส่วน

ขอขอบคุณ เพื่อนๆร่วมชั้นปี และเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจช่วยเหลืออยู่ตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ดูแล ให้คำแนะนำ และสั่ง  
สอนตลอดมา

ภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตการศึกษา	2
1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1. น้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel)	3
2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (transesterification reaction)	4
2.3. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	4
2.4. ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	5
2.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ	6
2.4.2. การเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา	6
2.4.3. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	6
2.4.4. การนำสารละลายแอลกอฮอล์กลับคืน	6
2.4.5. การแยกส่วนผลิตภัณฑ์	6
2.4.6. การล้างน้ำมันไบโอดีเซล	7
2.4.7. การนำกลีเซอรินกลับคืน	7
2.5. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)	7
2.6. การดูดซับ	8
2.6.1. การดูดซับเชิงกายภาพ	9
2.6.2. การดูดซับเชิงเคมี	9
2.7. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ	9
2.7.1. ร้อยละการดูดซับ (%adsorption)	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 2.6.2 การดูดซับเชิงเคมี 9

2.7. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ 9

2.7.1. ร้อยละการดูดซับ (%adsorption) 9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2. ปริมาณการดูดซับ (adsorption capacity)	10
2.7.3. ร้อยละการเลือกดูดซับ (%selectivity)	10
2.8. ตัวดูดซับเกรดการค้า	10
2.8.1. แมกนีซอล (magnesol)	10
2.8.2. ทอนซิล (tonsil)	11
2.8.3. ดินฟอกสี (bleaching earth; BE)	12
2.9. การคายซับ	12
2.10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1. สารเคมี	14
3.2. อุปกรณ์	14
3.3. วิธีการทดลอง	14
3.3.1. การดูดซับ SG	14
3.3.2. การคายซับ SG	15
3.4. สภาพที่ใช้ในการดำเนินงาน	15
3.5. การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล	16
3.6. การประเมินประสิทธิภาพการดูดซับ	16
<b>บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1. สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล	17
4.2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ	19
4.3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับ	20
4.4. อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ	23
4.5. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG	25
4.6. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ	30
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	
สรุปผลการทดลอง	32
รายการสัญลักษณ์	33
เอกสารอ้างอิง	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	37
ภาคผนวก ข.	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1. ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลเตทสเตอริลกลูโคไซด์ ในน้ำมันไบโอดีเซล	8
รูปที่ 4.1.-1 GC-FID โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้า	18
รูปที่ 4.2.-1 ภาพถ่ายพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง scanning electron microscope	19
รูปที่ 4.3.-1 ประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซล ( $C_0 = 97$ ppm, $T = 65$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	21
รูปที่ 4.3.-2 ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์ และ (■) ไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับ (■) SG ( $T = 65$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	22
รูปที่ 4.3.-3 ร้อยละการเลือกดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซล ( $T = 65$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	22
รูปที่ 4.4.-1 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG ของ (■) MS, (■) TS, (■) BE และ (■) DA ( $C_0 = 97$ ppm, $T = 65$ °C, $t_{ad} = 1$ h)	24
รูปที่ 4.5.-1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของตัวดูดซับ (■) MS, (■) TS, (■) BE, (■) DA ( $C_0 = 97$ ppm, $T = 65$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	26
รูปที่ 4.5.-2 ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์, (■) ไตรกลีเซอไรด์, (■) SG หลังผ่านการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ( $T = 65-80$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	28
รูปที่ 4.5.-3 ร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ( $T = 65-80$ °C, $W_{ad} = 1$ %wt, $t_{ad} = 1$ h)	29
รูปที่ 4.6.-1 ปริมาณ SG จากการคายซับในตัวทำลายจากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ( $T_{Ad} = 65$ °C, $W_{ad} = 0.25$ %wt, $t_{ad} = 2$ h, $T_{de} = 60$ °C, $t_{de} = 2$ h)	31
รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1. กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552	3
ตารางที่ 2.2. แสดงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	4
ตารางที่ 2.3. แสดงปริมาณของสเตอรอลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ	7
ตารางที่ 2.4. แสดงส่วนประกอบของตะกอนในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่าง	8
ตารางที่ 2.5. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีซอลที่ใช้ในการศึกษา	10
ตารางที่ 2.6. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของทอนซิลที่ใช้ในการศึกษา	11
ตารางที่ 2.7. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ BE ที่ใช้ในการศึกษา	12
ตารางที่ 3.1. แสดงสภาวะในการดำเนินงาน	15
ตารางที่ ข.1. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1 %wt ที่ 65 °C	38
ตารางที่ ข.2. แสดงข้อมูลจากการทดลองที่ 65°C	38
ตารางที่ ข.3. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 70°C	39
ตารางที่ ข.4. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 75°C	39
ตารางที่ ข.5. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 80°C	40
ตารางที่ ข.6. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของการคายซับ SG ที่ 60°C โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25%wt	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1. ที่มาและความสำคัญ

สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นตะกอนขึ้น และ การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีสเตอริลกลูโคไซด์เจือปนปริมาณมากจะทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องยนต์ เพื่อส่งเสริมการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในรูปพลังงานทดแทนจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดปริมาณ สเตอริลกลูโคไซด์ลงให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการลดปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเหวี่ยงหนี ศูนย์กลาง การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ การทำให้เย็นและกรอง และการดูดซับ ซึ่งการ ประยุกต์ใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นแม้จะให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้นแต่ก็ทำให้ต้นทุนใน กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการที่มีต้นทุนในการดำเนินงานและ มีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ

การกำจัดสิ่งเจือปนที่มีปริมาณน้อยในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเลือกใช้การดูดซับ โดยการดูด ซับจะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่นำมาใช้ในกระบวนการเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามที่ผ่านมานงานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ยังมีอยู่ไม่มากนัก การเลือกตัวดูด ซับที่เหมาะสมเพื่อกำจัดสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลจึงไม่สามารถทำได้ magnesol (MS), tonsil (TS), bleaching earth (BE) และ diatomaceous earth (DA) เป็นตัวดูดซับเกรดการค้าที่ นิยมใช้ในการกำจัดสี สารมีขี้ และสิ่งเจือปนในน้ำมันพืชและน้ำมันไบโอดีเซล จึงมีความเป็นไปได้ที่ จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า 4 ชนิด ได้แก่ magnesol, tonsil, bleaching earth และ diatomaceous earth มาทดสอบการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ โดยศึกษาอิทธิพลปริมาณของตัวดูดซับและอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG และปริมาณการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ ที่สภาวะต่างๆ รวมทั้งการคาย ซับสเตอริลกลูโคไซด์ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับเกรดการค้า 4 ชนิด มาใช้ในการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซล
- 1.2.2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ
- 1.2.3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

## 1.3. ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้นำน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้าที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมาทำการศึกษาดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ โดยใช้ตัวดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ magnesol, tonsil, bleaching earth และ diatomaceous earth โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 65-80°C ปริมาณตัวดูดซับ 0.05-3%wt ในการทดลองจะทำได้โดยใช้ชุดทดสอบการดูดซับแบบกะ ทำการวัดความเข้มข้นของ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลก่อนและหลังการดูดซับโดยเทคนิค gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID) เพื่อพิจารณาความเข้มข้น SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับควบคู่ไปกับการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากนั้นจึงพิจารณาความสามารถในการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ methanol, ethanol, isopropanol, hexane+isopropanol และ acetone

## 1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1. ลดต้นทุนในกระบวนการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล
- 1.4.2. สามารถนำสภาวะการดูดซับที่ได้ไปใช้ในกระบวนการดูดซับในอุตสาหกรรมน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. น้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel)

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester) สามารถผลิตได้จากทั้งน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทางเลือกที่เข้ามามีบทบาทในการลดใช้น้ำมันจากปิโตรเลียม โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาใช้ต้องมีลักษณะและคุณภาพตามประกาศของกระทรวงแรงงาน ดังตารางที่ 2.1. สำหรับการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลใช้ในอัตราส่วนต่างๆ นั้นยังมีข้อจำกัดบางประการอยู่ คือ น้ำมันไบโอดีเซลจะเกิดการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.1. กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 [1]

ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดลอง
เมทิลเอสเทอร์	%wt	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	860-900	ASTM D 1298
ความหนืดที่ 40 °C	cSt	3.5-5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ	°C	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
กำมะถัน	%wt	ไม่สูงกว่า 0.001	ASTM D 2622
จำนวนซีเทน		ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
น้ำ	%wt	ไม่สูงกว่า 0.05	EN ISO 12937
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	%wt	ไม่สูงกว่า 0.0024	EN 12662
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ 110 °C	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า 10	EN 14112
ค่าความเป็นกรด	mg KOH/g	ไม่สูงกว่า 0.5	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน	g Iodine/100 g	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
เมทานอล	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	EN 14110
โมนอกลิเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.8	EN 14105
ไดกลีเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	EN 14105
ไตรกลีเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	EN 14105
กลีเซอรินอิสระ	%wt	ไม่สูงกว่า 0.02	EN 14105
กลีเซอรินทั้งหมด	%wt	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105

## 2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (transesterification reaction)

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้วกับสารประกอบแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือเมทานอลเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็ว นอกจากนี้ในปฏิกิริยายังใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2. แสดงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน [2]

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	สารที่นิยมใช้	ข้อดี	ข้อเสีย
base catalyst	NaOH, KOH	ปฏิกิริยาเกิดเร็ว ราคาถูก	เมื่อมีน้ำและกรดไขมันอิสระมากจะเกิดเป็นสบู่
acid catalyst	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ใช้ได้กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูง	ปฏิกิริยาเกิดช้ามาก
enzyme	lipase	สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	ราคาแพง
heterogeneous catalyst	ZrO <sub>2</sub> , zeolite	แก้ปัญหาการเกิดสบู่	ราคาแพง

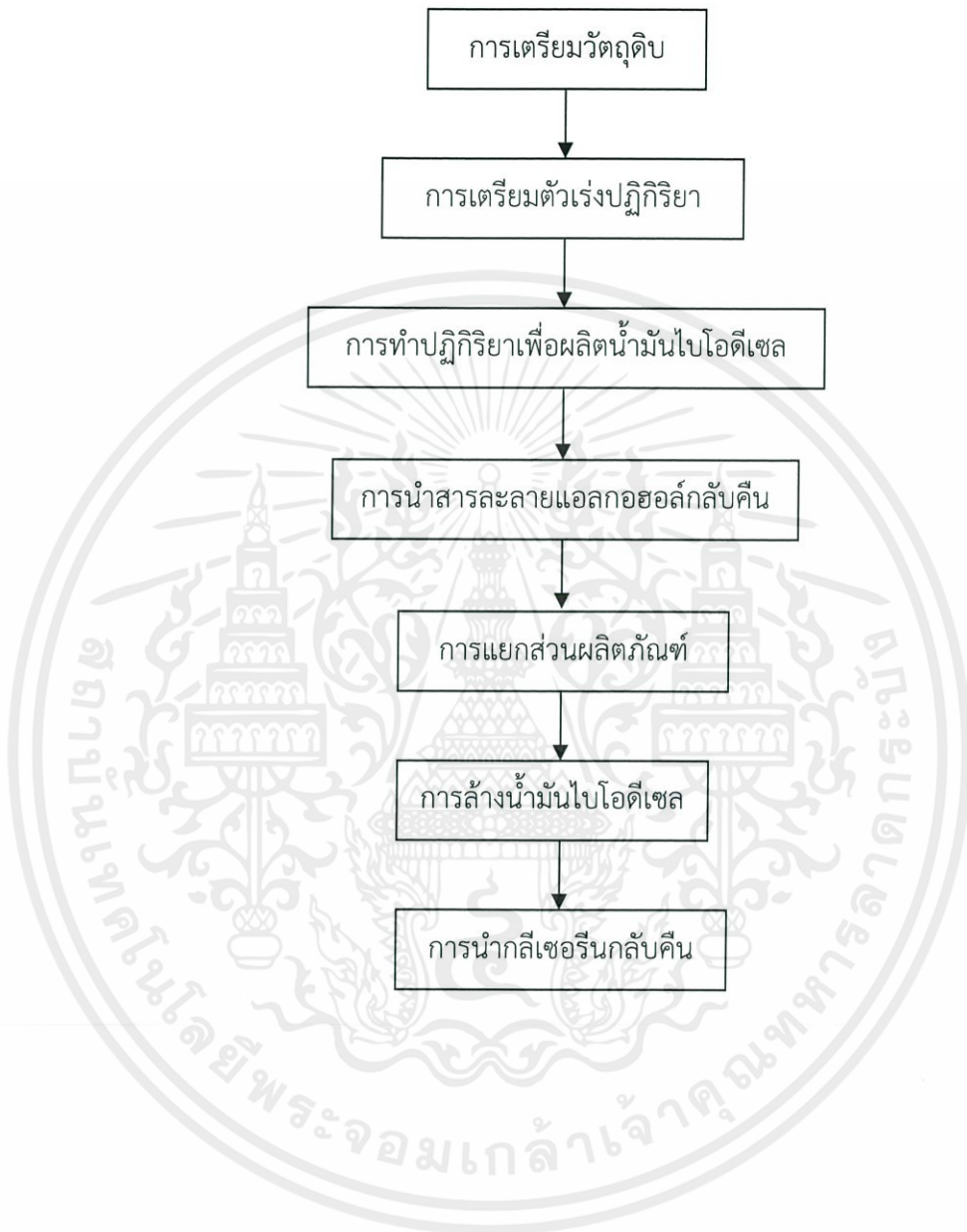
## 2.3. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้วแต่ละชนิดจะมีปริมาณของสิ่งเจือปนแตกต่างกันไป สิ่งเจือปนดังกล่าว เช่น กรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) น้ำ ฯลฯ ซึ่งสิ่งเจือปนนี้มีผลต่อปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หนึ่งในสิ่งเจือปนที่มีผลกระทบก็คือปริมาณของกรดไขมันอิสระซึ่งจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเกิดเป็นสบู่ โดยสบู่จะเข้าไปยับยั้งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันทำให้ปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ลดลง สำหรับปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้นมีน้อยมากประมาณ 0.3-0.7% ไขมันสัตว์มีประมาณ 5-30% และน้ำมันที่ใช้แล้วมีประมาณ 2-7% [3]

โดยถ้าปริมาณของกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% ต้องผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน (two-stage process) [4] ซึ่งในขั้นตอนแรกต้องผ่านปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification reaction) เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นสารประกอบเอสเตอริฟิเคชัน โดยนำกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลกอฮอล์ นิยมใช้เมทานอล และมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งนิยมใช้กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ขั้นตอนต่อมาคือการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาเป็นน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน

## 2.4. ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [5]

ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลนิยมใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากน้ำมันพืชมีอัตราการใช้สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ

สำหรับการเตรียมวัตถุดิบซึ่งก็คือน้ำมันพืชก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตนั้นต้องทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) และปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดก่อนทำปฏิกิริยา จะทำให้ทราบถึงปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ สำหรับสารประกอบแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือเมทานอลเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็ว

#### 2.4.2. การเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา

ในการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต้องใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสมกับสารละลายแอลกอฮอล์ และต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนลงไป โดยทั่วไปจะใช้ NaOH 2.5-5 ส่วนละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก

#### 2.4.3. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน

สภาวะในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปที่ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลที่นิยมใช้กันเท่ากับ 1:6 ถ้าในน้ำมันมีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากต้องผ่านปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (esterification reaction) เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้อยู่ในรูปสารประกอบเมทิลเอสเตอร์ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยขณะทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

#### 2.4.4. การนำสารละลายแอลกอฮอล์กลับคืน

ในปฏิกิริยามักใช้สารละลายแอลกอฮอล์เป็นเมทานอลในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นหลังทำปฏิกิริยาแล้วจะมีเมทานอลเหลืออยู่ ซึ่งจะถูกนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยการกลั่นแยกจากส่วนต่างๆ ต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนในส่วนของเมทานอลที่กลั่นได้

#### 2.4.5. การแยกส่วนผลิตภัณฑ์

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันแล้ว จะเกิดผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ ส่วนของสารเอสเตอร์และส่วนของกลีเซอรอล โดยส่วนของสารเอสเตอร์จะมีสารประกอบจำพวกน้ำมันไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรต์ ไดกลีเซอไรต์ และไตรกลีเซอไรต์ สำหรับส่วนของกลีเซอรอลจะมีสารประกอบจำพวกกรดไขมันอิสระ สบู่ สารเร่งปฏิกิริยา และน้ำ ต่อมาจึงให้แยกชั้นแล้วแยกส่วนของสารเอสเตอร์ที่มีน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ออกหลังจากนั้นส่วนนี้จะถูกส่งไปยังถังล้างน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป

#### 2.4.6. การล้างน้ำมันไบโอดีเซล

การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจะเป็นการล้างสารเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากปฏิกิริยาและสารปนเปื้อนต่างๆ การล้างน้ำมันไบโอดีเซลแบ่งเป็นการล้างแบบเปียก (wet washing method) และการล้างแบบแห้ง (dry washing method) สำหรับการล้างแบบเปียกนั้นนิยมใช้น้ำเป็นตัวล้างเนื่องจากราคาถูก แต่มีข้อเสียคือหลังจากล้างด้วยน้ำต้องมีกระบวนการทำให้แห้ง สำหรับการล้างแบบแห้งนั้นใช้หลักการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับในการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ตัวดูดซับที่นิยมใช้คือ แมกนีซอล (magnesol) [6] ซึ่งสามารถกำจัดสารจำพวกโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีปัญหาในการบำบัดน้ำเสีย

#### 2.4.7. การนำกลีเซอรินกลับคืน

กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล มักมีความบริสุทธิ์ต่ำประมาณ 60% เนื่องจากมีน้ำ สารเร่งปฏิกิริยา และสบู่ปะปนอยู่ จึงต้องแยกสารพวกนี้ออกเพื่อเพิ่มควมบริสุทธิ์ของกลีเซอริน โดยทั่วไปมักแยกด้วยการทำปฏิกิริยากับกรด เช่น กรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริก ในปฏิกิริยานั้นสบู่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันและเกลือ เมื่อตั้งทิ้งไว้กรดไขมันจะแยกชั้นกับกลีเซอริน หลังจากนั้นแยกชั้นกรดไขมันออกซึ่งทำให้ได้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปกลีเซอรินที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 80-88%

### 2.5. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)

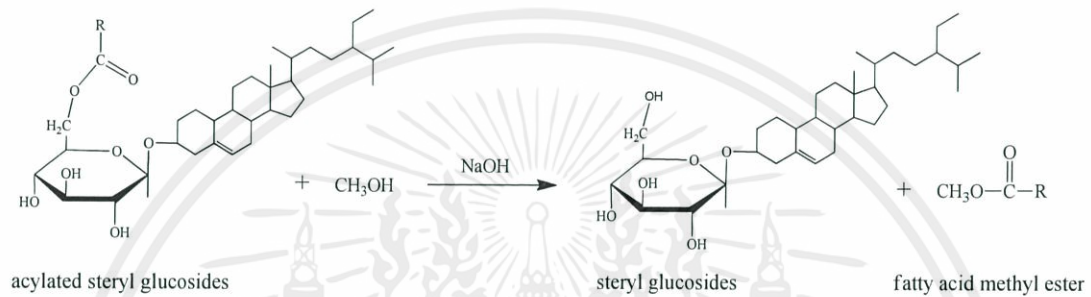
สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารประกอบระหว่างฟอสเฟตสเตอรอลและกลูโคสยึดเกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก [7] ในธรรมชาติสามารถพบสเตอริลกลูโคไซด์ได้จากน้ำมันพืช ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดก็จะมีปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ต่างกันเมื่อนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจึงทำให้ปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.3.

ตารางที่ 2.3. แสดงปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ [8]

ชนิดของน้ำมันไบโอดีเซล	ปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซล (ppm)
น้ำมันปาล์ม	140
น้ำมันถั่วเหลือง	25-270
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	8-22
น้ำมันข้าวโพด	480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนลิขสิทธิ์ในส่วนนี้ด้วย หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการที่ทำการนำไปใช้

นอกจากนี้สเตอริลกลูโคไซด์ยังเกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของสารประกอบจำพวกเอซิลสเตอริลกลูโคไซด์ (acylated steryl glucosides; ASG) [9] ซึ่ง ASG เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถละลายในน้ำมันไบโอดีเซลที่เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วได้ แต่เมื่อสารประกอบ ASG ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้วนั้นก็จะเป็นเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบ SG ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีขั้วเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจึงเกิดปัญหาเกิดตะกอนขาวขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความสามารถในการละลายของ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลก็ต่ำลงด้วยเช่นกัน



### รูปที่ 2.1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลสเตอริลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซล

แต่ทั้งนี้ตะกอนขาวที่เกิดขึ้นในน้ำมันไบโอดีเซลอาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากสเตอริลกลูโคไซด์เท่านั้น เพราะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นด้วย ดังตารางที่ 2.4.

### ตารางที่ 2.4. แสดงส่วนประกอบของตะกอนในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ

[10]

ชนิดของน้ำมัน	ส่วนประกอบของตะกอน
น้ำมันถั่วเหลือง	steryl glucosides
ไขมันสัตว์	monoacylglycerols
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	steryl glucosides, monoacylglycerols
น้ำมันปาล์ม	steryl glucosides, monoacylglycerols

## 2.6. การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่สารถูกดูดซับ (adsorbate) ถูกดึงดูดให้เกาะติดผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งมักเป็นอนุภาคที่มีความพรุน ตัวดูดซับที่ดีควรมีพื้นที่ผิวสัมผัส (surface area) มากเพื่อเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น มีความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับ (selective adsorption) คือดูดซับเฉพาะสารที่ต้องการ เนื่องจากการดูดซับสารอื่น

นั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวดูดซับลดลง และมีเสถียรภาพทางกายภาพและทางเคมี (physical and chemical stability) คือ มีความคงทนต่อความร้อนระหว่างดำเนินการ ไม่เกิดการเสีรูปร่างหรือแตกสลาย มีความคงทนต่อสารเคมีที่ใช้ในการดูดซับ ไม่ถูกกัดกร่อนโดยสารเคมีหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

การดูดซับแบ่งตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับออกเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับเชิงกายภาพ และการดูดซับเชิงเคมี

### 2.6.1. การดูดซับเชิงกายภาพ (physical adsorption)

โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะยึดเหนี่ยวกับผิวของตัวดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (van der waals force) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ มักเกิดที่อุณหภูมิต่ำ การดูดซับชนิดนี้มีลักษณะการจัดเรียงตัวของตัวถูกดูดซับในลักษณะหลายชั้น (multilayer adsorption) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้หาพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดรูพรุนของตัวดูดซับได้

### 2.6.2. การดูดซับเชิงเคมี (chemical adsorption)

โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดพันธะเคมีกับผิวตัวดูดซับ มักเป็นพันธะโคเวเลนต์และเกิดที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจัดเป็นกระบวนการไม่ผันกลับ การจัดเรียงตัวของตัวถูกดูดซับจะเป็นในลักษณะชั้นเดียว (monolayer adsorption) การดูดซับชนิดนี้สามารถนำมาหาอัตราการดูดซับและคายซับได้

## 2.7. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ สามารถพิจารณาได้จากหลายค่า ได้แก่ ร้อยละการลดลงของการดูดซับ ปริมาณการดูดซับ และร้อยละการเลือกดูดซับ

### 2.7.1. ร้อยละการลดลง (%reduction)

สมการร้อยละการลดลงเป็นสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารที่ลดลงที่เวลาใดๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น คำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

$$\%reduction = \frac{C_0 - C_{SG}}{C_0} \times 100 \quad (2-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2. ปริมาณการดูดซับ (adsorption capacity)

สมการปริมาณการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ คำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

$$q_t = \frac{W_{oil}(C_0 - C_{SG})}{W_{ad}} \quad (2-2)$$

### 2.7.3. ร้อยละการเลือกดูดซับ (%selectivity)

สมการการเลือกดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของการเลือกดูดซับโดยรวมของสาร A เมื่อเทียบกับสารอื่น ยกตัวอย่างกรณีที่เป็นสารผสมระหว่างตัวถูกดูดซับ 2 ชนิด (สาร A และสาร B) คำนวณได้จากสมการที่ (2-3)

$$\%selectivity = \frac{q_A}{(q_A + q_B)} \times 100 \quad (2-3)$$

## 2.8. ตัวดูดซับเกรดการค้า

ตัวดูดซับเกรดการค้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

### 2.8.1. แมกนีซอล (magnesol)

ตารางที่ 2.5. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีซอลที่ใช้ในการศึกษา

magnesol D60	
parameter	specification
assay (ignited basis)	
%MgO	15.0 min.
%SiO <sub>2</sub>	67.0 min.
%loss on ignition @ 900°C (dry basis)	15.0 max.
%SO <sub>4</sub> by weight (dry basis)	2.5 max.
%loss on drying @ 105°C (as packaged)	14.0 max.
surface area (m <sup>2</sup> /g, B.E.T.)	300 min.
typical mean value (microns)	50-70

## 2.8.2. ทอนซิล (tonsil)

ตารางที่ 2.6. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของทอนซิลที่ใช้ในการศึกษา

tonsil optimum 210 FF		
physical/chemical characteristics		
apparent bulk density	g/l	550
free moisture (2 h, 110 °C)	%	~10
loss on ignition (predried, 2 h, 1000 °C)	%wt	8.0
pH (10% suspension, filtered)	-	2.2-4.8
acidity	mg KOH/g	4.5
chloride content	mg Cl/g	0.5
surface area (B.E.T.)	m <sup>2</sup> /g	200
micropore volume		
0-80 nm	ml/g	0.29
0-25 nm	ml/g	0.25
0-14 nm	ml/g	0.23
particle size		
> 150 microns	%wt	5
> 100 microns	%wt	17
> 63 microns	%wt	29
> 45 microns	%wt	40
> 25 microns	%wt	60
chemical analysis (dried at 110 °C for 2 hours)		
SiO <sub>2</sub>	%wt	66.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	14.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	3.7
CaO	%wt	1.1
MgO	%wt	2.3
Na <sub>2</sub> O	%wt	0.8
K <sub>2</sub> O	%wt	2.2
loss on ignition	%wt	8.0
total	%wt	99.1

### 2.8.3. ดินฟอกสี (bleaching earth; BE)

ตารางที่ 2.7. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ BE ที่ใช้ในการศึกษา

Bleaching earth grade super premium		
typical properties		
pH (2% suspension)		3
free moisture	%	12
bulk density	kg/m <sup>3</sup>	570
surface area (B.E.T.)	m <sup>2</sup> /g	320
sieve analysis		
passing 100 mesh (147 microns)	%wt	99
passing 200 mesh (74 microns)	%wt	92
passing 300 mesh (53 microns)	%wt	78
passing 400 mesh (38 microns)	%wt	65
chemical analysis		
SiO <sub>2</sub>	%wt	77.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	9.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	2.1
CaO	%wt	3.0
MgO	%wt	0.7
Na <sub>2</sub> O	%wt	0.2
K <sub>2</sub> O	%wt	0.2
loss on ignition	%wt	7.0

### 2.9. การคายซึบ (desorption)

การคายซึบเป็นกระบวนการที่ตรงข้ามกับการดูดซึบ คือ เป็นกระบวนการที่ทำให้ตัวถูกดูดซึบหลุดออกจากผิวตัวดูดซึบ เพื่อให้ผิวของตัวดูดซึบมีพื้นที่ว่างสำหรับการดูดซึบใหม่อีกครั้ง ซึ่งการคายซึบนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญเนื่องจากสามารถนำตัวดูดซึบกลับมาใช้ใหม่ได้และเป็นการลดต้นทุนในการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Na-Ranong และคณะ [11] ได้ศึกษาการตกตะกอนขาวในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม พบว่า ที่อุณหภูมิใกล้จุดขุ่น (cloud point) ของน้ำมันไบโอดีเซลและที่อุณหภูมิห้อง ตะกอนขาวที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลักมาจากสารประกอบสเตอรอลกลูโคไซด์ หลังจากนั้นได้ศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอนของสเตอรอลกลูโคไซด์ที่อุณหภูมิ 32°C พบว่า ที่ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ 110 ppm เกิดการตกตะกอนภายใน 1 วัน และความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ 20 ppm เกิดการตกตะกอนช้ามากนานกว่า 60 วัน

Tang และคณะ [12] ได้ศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการเพื่อลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ การกรองที่อุณหภูมิต่ำ (cold soak filtration) การดูดซับ (adsorption) การเหวี่ยงแยก (centrifugation) และการกลั่นสุญญากาศ (vacuum distillation) พบว่า กระบวนการกลั่นสุญญากาศสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองได้มากที่สุดจากความเข้มข้น 161 ppm ถึงปริมาณที่ไม่สามารถตรวจพบได้ ส่วนการกรองที่อุณหภูมิต่ำ การดูดซับ และการเหวี่ยงแยกสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ได้ถึง 15-19 ppm แต่เนื่องด้วยกระบวนการกลั่นสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง สำหรับการเหวี่ยงแยกและการกรองที่อุณหภูมิต่ำก็มีความยุ่งยากในการดำเนินงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ย่อยต่อการดำเนินการและต้นทุนต่ำ เนื่องจากสามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

กรณม์นัส เพชรดีและไมซ์ต พันธุ์จินดาวรรณ [13] ได้ศึกษาการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก magnesol และ tonsil ในการดูดซับแบบกะ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ ระยะเวลาการดูดซับ 360 นาที พบว่า magnesol มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยสามารถลดความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์จาก 55 ppm เหลือ 10 ppm รองลงมาคือ tonsil สามารถลดความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เหลือ 13 ppm ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่า ทั้ง magnesol และ tonsil สามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ได้จริง จึงสนใจศึกษานำตัวดูดซับดังกล่าวมาใช้กับน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้า และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1. สารเคมี

##### น้ำมันไบโอดีเซล

- B100 เกรดการค้า เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม มีสารประกอบเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (FAME) ร้อยละ 96.5 โดยมวล

##### ตัวดูดซับเกรดการค้า

- magnesol
- tonsil
- bleaching earth; BE
- diatomaceous earth; DA

#### 3.2. อุปกรณ์

##### 3.2.1. เครื่องเขย่าสาร

##### 3.2.2. ไมโครปิเปต

#### 3.3. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

##### 3.3.1. การดูดซับ SG

1. ใส่ตัวดูดซับ magnesol, tonsil, BE และ DA ในน้ำมัน B100 เกรดการค้าพร้อมทั้งเริ่มจับเวลาในการดูดซับ
2. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบ 230 rpm
3. เก็บตัวอย่างที่เวลา 1 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มใส่ตัวดูดซับ
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิในการดูดซับเป็น 75, 70 และ 65°C
5. นำตัวอย่างที่เก็บได้วิเคราะห์ปริมาณของสเตอรอลกลูโคไซด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีชนิดฟิล์มไอออนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2. การคายซ์ SG

1. ใส่ตัวดูดซับ magnesol, tonsil, BE และ DA ในน้ำมัน B100 เกรดการค้า พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาในการดูดซับ
2. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิ 65°C ความเร็วรอบ 230 rpm
3. หลังจากผ่านไป 2 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มดูดซับ ทำการแยกตัวดูดซับออกจากน้ำมัน
4. นำตัวดูดซับที่แยกออกจากน้ำมันแล้ว ใส่ตัวทำละลาย ได้แก่ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล สารผสมระหว่างเฮกเซนกับไอโซโพรพานอล (1:1 โดยปริมาตร) และอะซิโตน ปริมาตร 50 ml พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาในการคายซ์
5. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วรอบ 230 rpm
6. หลังจากผ่านไป 2 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มคายซ์ ทำการแยกตัวดูดซับออกจากตัวทำละลาย
7. นำสารที่ได้จากการแยกตัวดูดซับไประเหยตัวทำละลายออกจนหมด
8. นำสารที่ระเหยตัวทำละลายออกจนหมดแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ ด้วยเครื่อง GC-FID

### 3.4. สภาวะที่ใช้ในการดำเนินงาน

#### ตารางที่ 3.1. แสดงสภาวะในการดำเนินงาน

สภาวะในการดำเนินงาน	วิธีการดำเนินงาน	
	การดูดซับ SG	การคายซ์ SG
ความเข้มข้น SG เริ่มต้น (ppm)	97	97
อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา (°C)	65-80	60
ปริมาณตัวดูดซับ (%wt)	0.05-3	0.25
ปริมาตร (ml)	10	50
ชนิดตัวทำละลาย	-	methanol, ethanol, IPA, hexane+IPA และ acetone
เวลาที่ใช้ในการศึกษา (hr)	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5. การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล

3.5.1. จำนวนปริมาณ FAME ตามวิธี EN 14103

3.5.2. จำนวนปริมาณโมนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ตามวิธีของ EN 14105

3.5.3. จำนวนปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ โดยดัดแปลงจากวิธีของ ASTM 2068

### 3.6. การประเมินประสิทธิภาพการดูดซับ

1. จำนวนร้อยละการลดลงจากสมการ (2-1)

$$\% \text{reduction} = \frac{C_0 - C_{SG}}{C_0} \times 100 \quad (2-1)$$

2. จำนวนปริมาณการดูดซับจากสมการ (2-2)

$$q_t = \frac{W_{oil}(C_0 - C_{SG})}{W_{ad}} \quad (2-2)$$

3. จำนวนร้อยละการเลือกดูดซับจากสมการ (2-3)

เนื่องจากในการเลือกดูดซับนี้พิจารณาสารทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สเตอรอลกลูโคไซด์ (SG), โมนอกลิเซอไรด์ (MAG), ไดกลีเซอไรด์ (DAG) และไตรกลีเซอไรด์ (TAG) ดังนั้นสมการ (2-3) จึงเปลี่ยนรูปเป็นสมการ (2-4) จากสมการ (2-3)

$$\% \text{selectivity} = \frac{q_A}{(q_A + q_B)} \times 100 \quad (2-3)$$

เปลี่ยนรูปเป็นสมการ (2-4)

$$\% \text{selectivity} = \frac{q_{SG}}{(q_{SG} + q_{MAG} + q_{DAG} + q_{TAG})} \times 100 \quad (2-3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับ อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG อิทธิพลอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG และสิ่งเจือปนอื่นๆ และการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

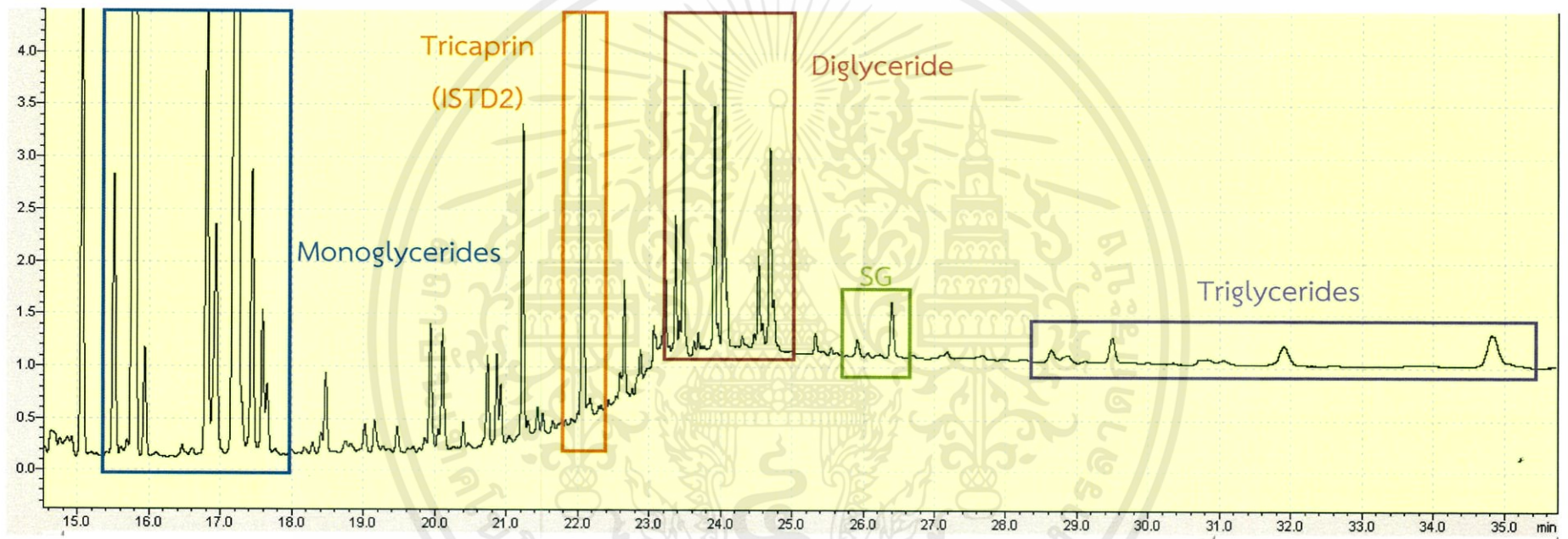
#### 4.1. สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่เกรดการค้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย GC-FID พบว่ามี FAME (fatty acid methyl ester) เท่ากับ 96.5%wt ซึ่งมีปริมาณ FAME มากกว่าค่ากำหนดต่ำสุดตามมาตรฐาน EN-14214 นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ สารประกอบกลีเซอไรด์ และสเตอรอลกลูโคไซด์เป็นองค์ประกอบ แสดงผลตามรูปที่ 4.1.-1

จากรูปที่ 4.1.-1 แสดงการวิเคราะห์สารประกอบกลีเซอไรด์ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน EN-14105 พบว่าในน้ำมันไบโอดีเซลมีสิ่งเจือปน ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 15.4-17.8 นาที ไดกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 23.2-24.8 นาที และไตรกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 28.6-35 นาที ซึ่งตามข้อมูลของผู้ผลิต น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณสารประกอบกลีเซอไรด์น้อยกว่าค่ามากที่สุดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน EN-14214 นอกจากนี้ยังพบ SG ที่เวลา 25.8-26.6 นาที ซึ่งมีปริมาณ 97 ppm

เนื่องจากในน้ำมันไบโอดีเซลนอกจากจะมี SG แล้วยังมี โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์อยู่ด้วย ในการดูดซับจึงอาจจะมีสิ่งเจือปนเหล่านี้ถูกดูดซับไปด้วยได้ ดังนั้นนอกจากการพิจารณาการดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว ควรพิจารณาการดูดซับสารอื่นควบคู่ไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



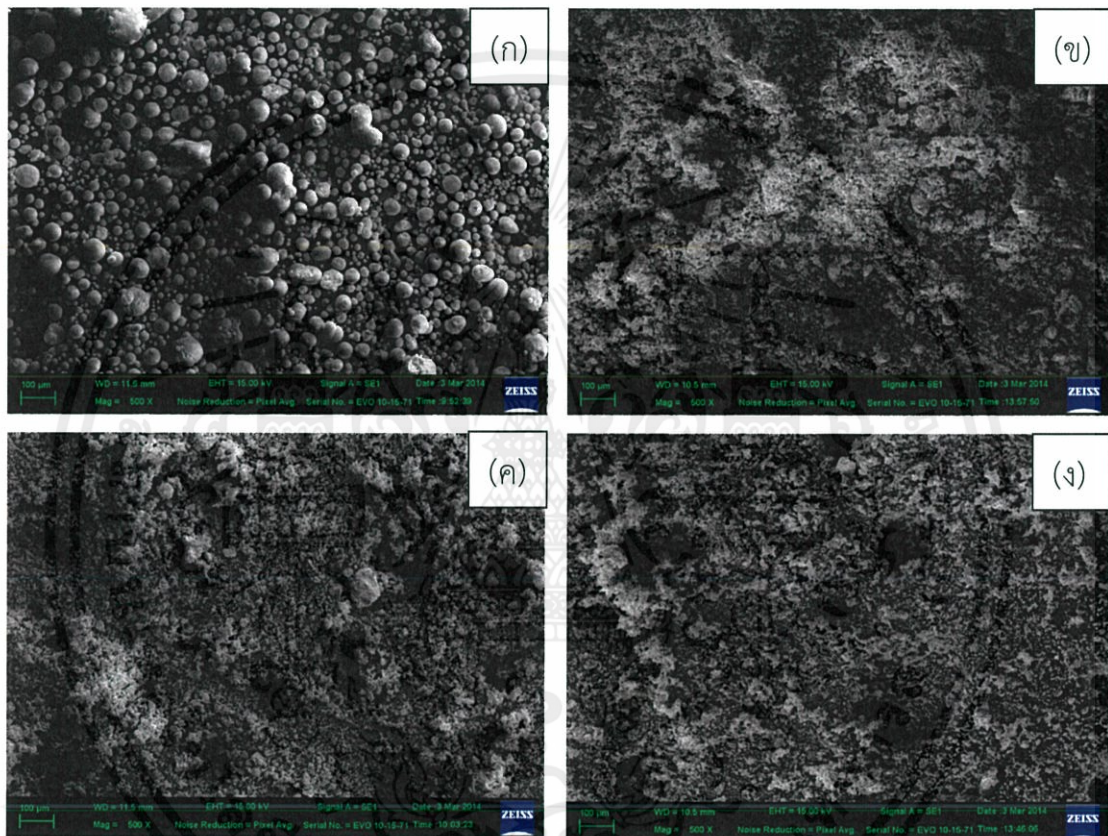
รูปที่ 4.1.-1

GC-FID โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้า

#### 4.2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับ ได้แก่ MS, TS, BE และ DA ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) แสดงผลตามรูปที่ 4.2.-1

จากรูปที่ 4.2.-1 พบว่าลักษณะพื้นผิวของ MS แตกต่างจากตัวดูดซับตัวอื่นคือมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมเล็ก ซึ่งต่างจาก TS, BE และ DA ที่มีขนาดเล็กกว่าและมีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นผิกลักษณะรูปทรงไม่แน่นอน



รูปที่ 4.2.-1 ภาพถ่ายพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 500 เท่า  
(ก) MS, (ข) TS, (ค) BE, (ง) DA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับ

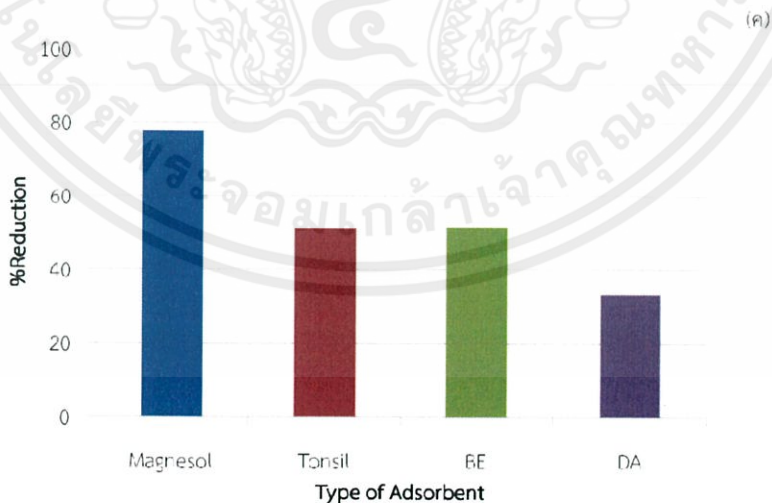
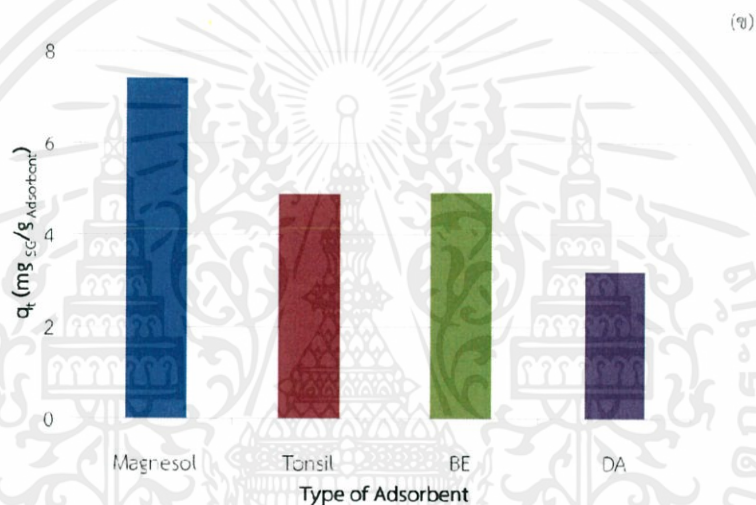
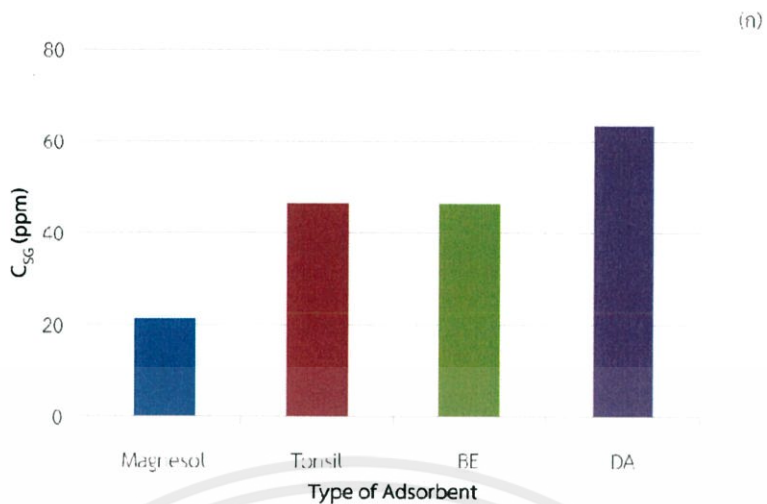
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับโดยพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ ทำการทดลองการดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้าความเข้มข้นเริ่มต้น 97 ppm ที่อุณหภูมิ 65°C โดยใช้ตัวดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ MS, TS, BE และ DA ปริมาณ 1%wt เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงผลตามรูปที่ 4.3.-1

จากรูปที่ 4.3.-1(ก) พบว่าความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วย MS มีค่าเท่ากับ 21.75 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นเหลือน้อยที่สุด โดยการดูดซับด้วย TS และ BE มีความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลใกล้เคียงกันเท่ากับ 47.52 ppm และ 47.30 ppm ตามลำดับ ส่วน DA พบว่าความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากผ่านการดูดซับเท่ากับ 64.91 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นเหลืออยู่มากที่สุด

จากรูปที่ 4.3.-1(ข) พบว่าปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ MS เท่ากับ 7.58  $\text{mg}_{\text{SG}}/\text{g}_{\text{Ad}}$  ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด โดยปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ TS และ BE มีปริมาณใกล้เคียงกันเท่ากับ 5.01  $\text{mg}_{\text{SG}}/\text{g}_{\text{Ad}}$  และ 5.03  $\text{mg}_{\text{SG}}/\text{g}_{\text{Ad}}$  ตามลำดับ ส่วน DA มีปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับเท่ากับ 3.27  $\text{mg}_{\text{SG}}/\text{g}_{\text{Ad}}$  ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด

จากรูปที่ 4.3.-1(ค) พบว่าร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS เท่ากับ 77.71% ซึ่งมีความมากที่สุด โดยร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย TS และ BE เท่ากับ 51.30% และ 51.52% ตามลำดับ

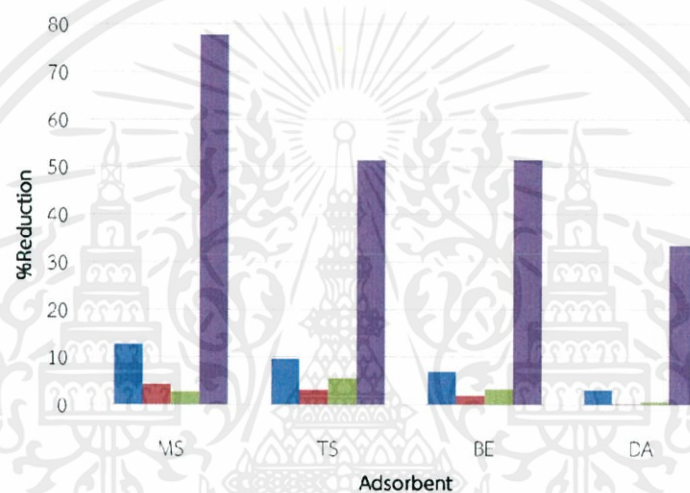
จากการพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่า MS เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด



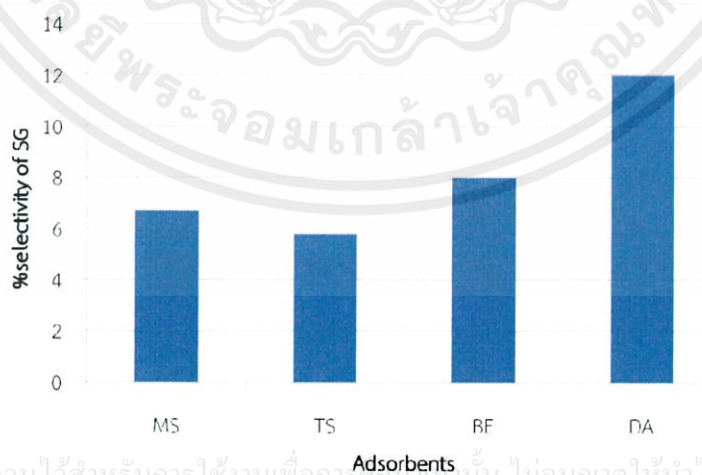
รูปที่ 4.3.-1 ประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซล  
( $C_0 = 97$  ppm,  $T = 65^\circ\text{C}$ ,  $W_{ad} = 1\%$ wt,  $t_{ad} = 1$  h)

จากรูปที่ 4.3.-2 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโดยดูจากการดูดซับสิ่งเจือปน โดยเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของปริมาณสิ่งเจือปนต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ เทียบกับร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ พบว่า MS สามารถดูดซับ SG ได้สูงสุด แต่ก็ดูดซับสิ่งเจือปนได้สูงสุดเช่นกัน และ DA ที่มีการดูดซับ SG ได้น้อยสุด ก็ดูดซับสิ่งเจือปนได้น้อยสุด

จากรูปที่ 4.3.-3 พบว่า DA มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุดเท่ากับ 12.47% และ MS มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG เท่ากับ 6.8% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้ MS จะสามารถดูดซับ SG ได้มาก แต่ก็ยังคงเลือกดูดซับสิ่งเจือปนอื่นๆ มากเช่นกัน แต่ DA ที่สามารถดูดซับ SG ได้น้อย แต่มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุด



รูปที่ 4.3.-2 ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์ และ (■) ไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับ (■) SG ( $T = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{\text{ad}} = 1\% \text{wt}$ ,  $t_{\text{ad}} = 1\text{ h}$ )



รูปที่ 4.3.-3 ร้อยละการเลือกดูดซับ SG ในน้ำมันไบโอดีเซล ( $T = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{\text{ad}} = 1\% \text{wt}$ ,  $t_{\text{ad}} = 1\text{ h}$ )

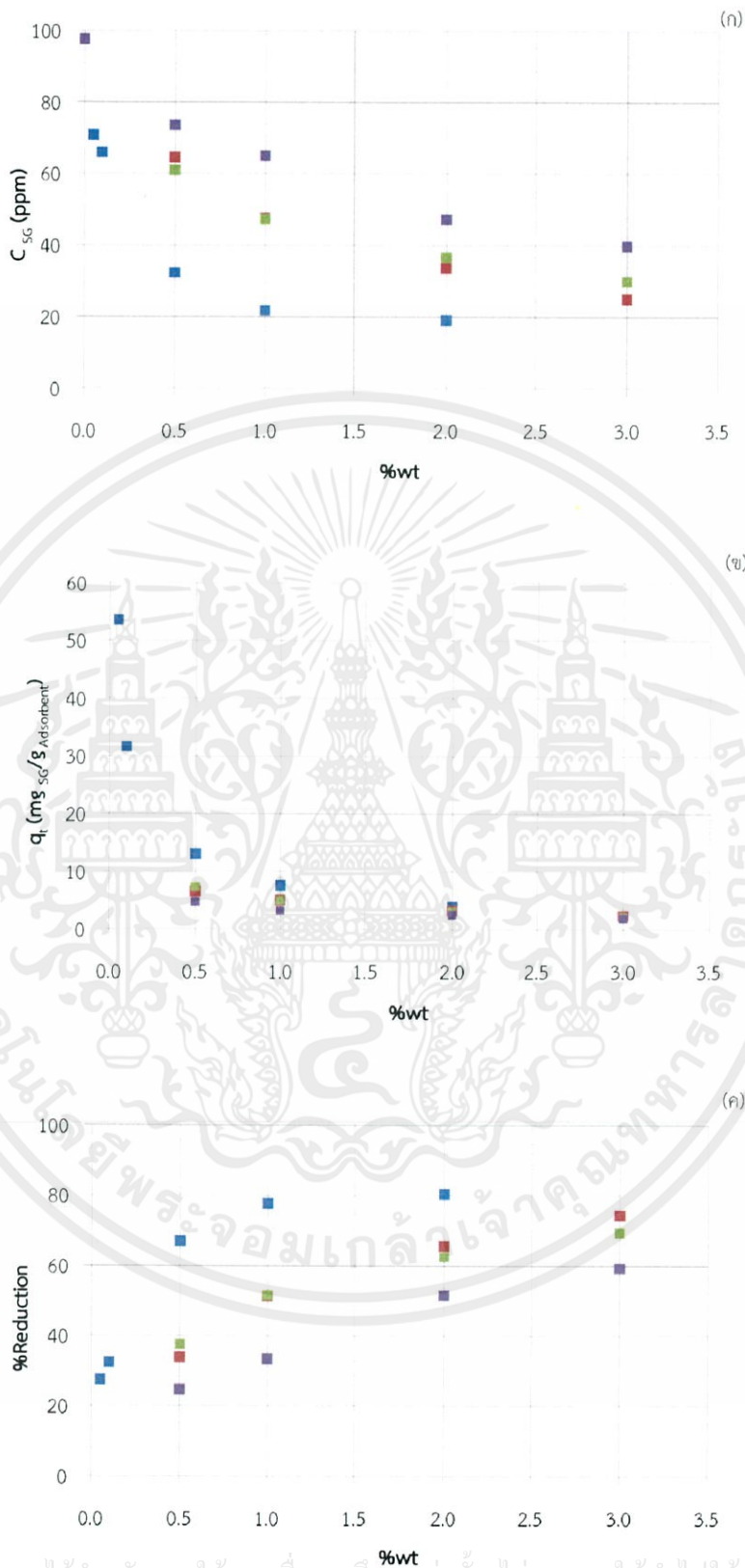
#### 4.4. อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG

การพิจารณาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG โดยทำการทดลองการดูดซับ SG ที่อุณหภูมิ 65°C โดยใช้ TS, BE และ DA ปริมาณ 0.5, 1, 2 และ 3%wt เนื่องจากร้อยละการลดลงของปริมาณ SG หลังจากการดูดซับด้วย MS มีค่าสูงกว่าตัวดูดซับอีก 3 ชนิดมาก ดังนั้น MS จึงใช้ ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 2%wt แสดงผลตามรูป 4.4.-1

จากรูปที่ 4.4.-1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทุกชนิดทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ และปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของ MS ในช่วง 1-2 %wt ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเพื่อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4.-1

อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG ของ (■) MS, (■) TS, (■) BE และ (■) DA ( $C_0 = 97$  ppm,  $T = 65$  °C,  $t_{ad} = 1$  h)

#### 4.5. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG

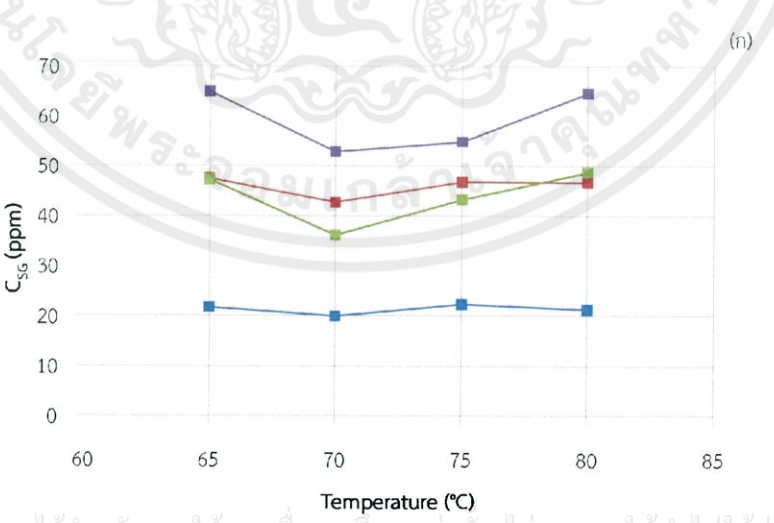
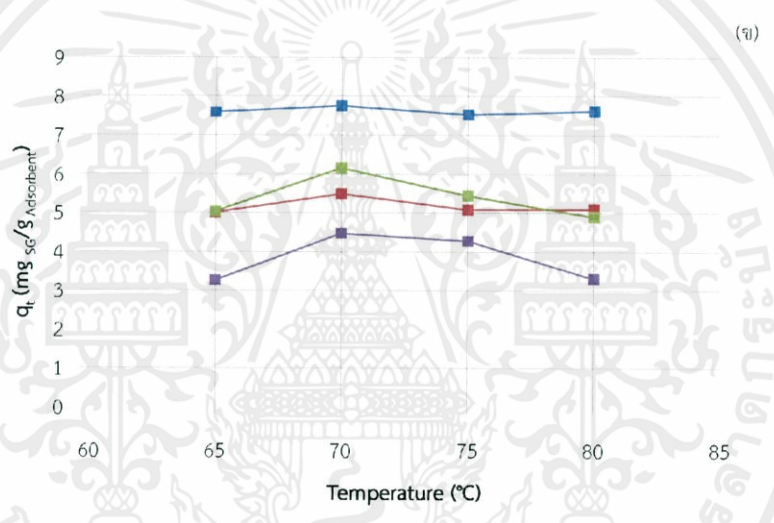
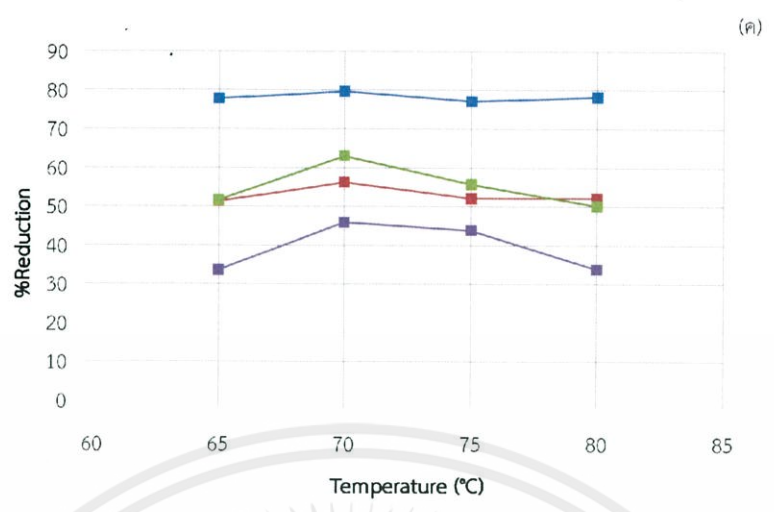
จากหัวข้อ 4.2. จะเห็นได้ว่า MS มีร้อยละการลดลงของ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุด แต่มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG ต่ำกว่า DA ต่อมาจะพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ โดยจะทำการทดลองการดูดซับในช่วงอุณหภูมิ 65-80°C โดยใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1%wt แสดงผลตามรูปที่ 4.5.-1

จากรูปที่ 4.5.-1(ก) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการดูดซับ SG ด้วย MS และ TS ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนการดูดซับ SG ด้วย BE และ DA เมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง 65-70°C ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับลดลง แต่เมื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า 70°C จะทำให้เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.5.-1(ข) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ MS และ TS ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 65-70°C ทำให้ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ BE และ DA เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า 70°C จะทำให้ลดลง

จากรูปที่ 4.5.-1(ค) พบว่าร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS และ TS เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง 65-70°C ทำให้ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย BE และ DA เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า 70°C จะทำให้ลดลง

เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลจากการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่าอุณหภูมิ 65-70°C มีผลทำให้การดูดซับ SG ด้วย BE และ DA เพิ่มขึ้นซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70°C การดูดซับลดลง ส่วนการดูดซับ SG ด้วย MS และ TS อิทธิพลของอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดาวน์โหลดฟรีจากเว็บไซต์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

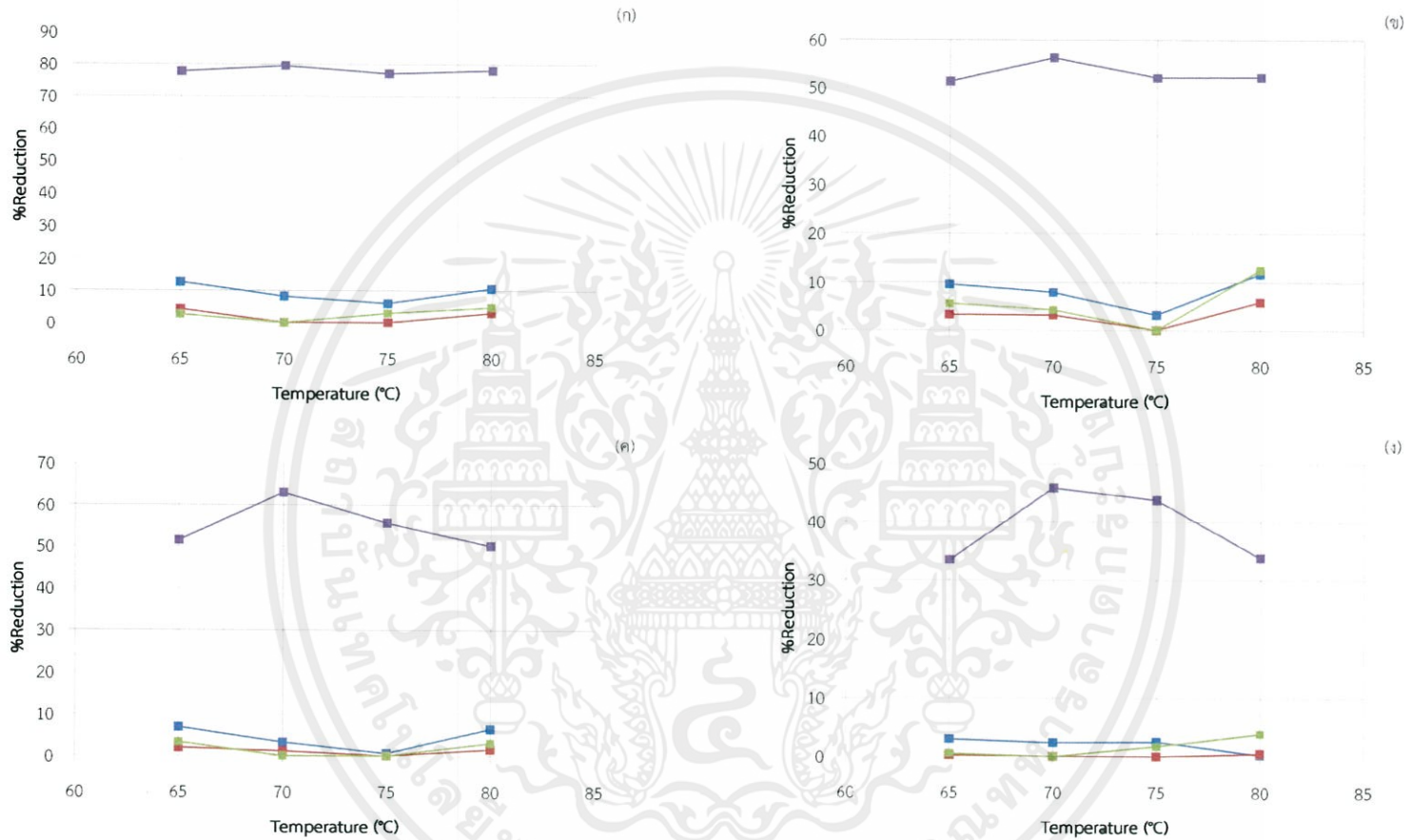
รูปที่ 4.5.-1

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของตัวดูดซับ (■) MS, (■) TS, (■) BE, (■) DA ( $C_0 = 97$  ppm,  $T = 65^\circ\text{C}$ ,  $W_{ad} = 1\%$ wt,  $t_{ad} = 1$  h)

จากรูปที่ 4.5.-2 ซึ่งแสดงร้อยละการลดลงของสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS, TS, BE และ DA โดยพิจารณาการดูดซับโมนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เทียบกับ SG พบว่า การดูดซับด้วย TS และ BE การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 65-75°C ทำให้ร้อยละการลดลงของ โมนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ลดลง การดูดซับด้วย MS การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 65-75°C ทำให้ร้อยละการลดลงของ โมนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ลดลงเช่นกัน แต่ไตรกลีเซอไรด์มีการเพิ่มขึ้นของร้อยละการลดลงจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 70-80°C ส่วนการดูดซับด้วย DA ร้อยละการลดลงของ ไดกลีเซอไรด์ ใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิ 65-80°C ร้อยละการลดลงของโมนอกลิเซอไรด์ลดลงในช่วงการเพิ่มของอุณหภูมิ 75-80°C และร้อยละการลดลงของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มในช่วงการเพิ่มของอุณหภูมิ 70-80°C

จากรูปที่ 4.5.-3 เป็นการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิโดยพิจารณาจากร้อยละการเลือกดูดซับ SG ซึ่งพบว่าการดูดซับด้วย MS เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 65-75°C ทำให้ร้อยละการเลือกดูดซับ SG เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซับด้วย TS และ BE เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 70-75°C ทำให้ร้อยละการเลือกดูดซับ SG เพิ่มขึ้น และการดูดซับด้วย DA มีการเพิ่มขึ้นของร้อยละการเลือกดูดซับ SG ในช่วงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 70-80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5-2

ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนคลีเซอไรต์, (■) ไตรคลีเซอไรต์, (■) ไตรคลีเซอไรต์, (■) SG หลังผ่านการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ( $T = 65-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{ad} = 1\text{ \%wt}$ ,  $t_{ad} = 1\text{ h}$ )



รูปที่ 4.5-3 ร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ( $T = 65-80^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{\text{ad}} = 1\% \text{wt}$ ,  $t_{\text{ad}} = 1 \text{ h}$ )

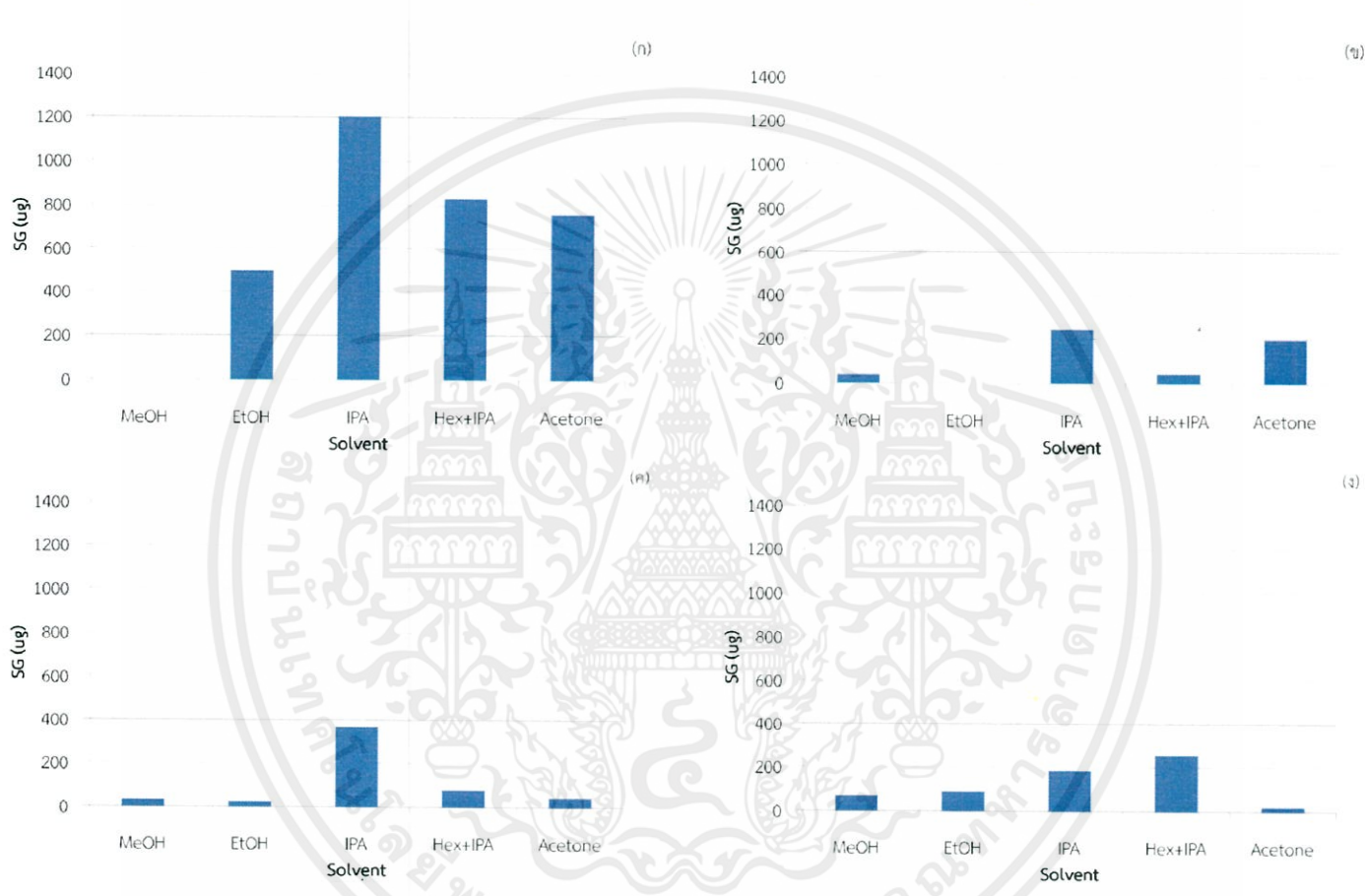
#### 4.6. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

เนื่องจากการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่เป็นหนึ่งในการลดต้นทุนในกระบวนการดูดซับ จึงทำการศึกษาการคายซับด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ Methanol, Ethanol, Isopropanol, Isopropanol+Hexane และ Acetone แสดงผลตามรูปที่ 4.6.-1

จากรูปที่ 4.6.-1 พบว่า MS สามารถคายซับ SG ได้ดีที่สุดในตัวทำละลายชนิดต่างๆ และพบว่าตัวดูดซับส่วนใหญ่จะสามารถคายซับได้ใน IPA ดีที่สุด มีเพียง DA ที่สามารถคายซับใน Hexane+IPA ได้ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.-1

ปริมาณ SG จากการคายซับในตัวทำละลายจากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA  
 ( $T_{Ad} = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{ad} = 0.25\% \text{wt}$ ,  $t_{ad} = 2 \text{ h}$ ,  $T_{de} = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{de} = 2 \text{ h}$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับจากการพิจารณาความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่า MS เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากตัวดูดซับ 4 ชนิด รองลงมาได้แก่ TS และ BE ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และ DA มีประสิทธิภาพต่ำสุด เมื่อพิจารณาร้อยละการเลือกดูดซับ SG พบว่า DA มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุด ในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ และปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะลดลง แต่ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG พบว่า อิทธิพลของอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ SG ด้วย MS และ TS แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 65-75 °C ทำให้ การดูดซับ SG ด้วย BE และ DA เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากร้อยละการเลือกดูดซับ SG พบว่า ร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากการดูดซับด้วย MS เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 65-75 °C ส่วน TS และ BE ในช่วง 70-75 °C และ DA ในช่วง 70-80 °C และเมื่อศึกษาการคายซับ SG ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า MS สามารถคายซับ SG ได้ดีที่สุดจากการใช้ตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด และ IPA เป็นตัวทำละลายที่สามารถคายซับ SG จากตัวดูดซับชนิดต่างๆได้มากที่สุด ยกเว้น DA ที่ใช้ Hexane+IPA เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการคายซับ SG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์

$C_0$	ความเข้มข้นเริ่มต้น	ppm
$C_{SG}$	ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์	ppm
$q_t$	ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ	mg/g
$W_{ad}$	น้ำหนักของตัวดูดซับ	g
$W_{oil}$	น้ำหนักของน้ำมัน	g
$t_{ad}$	เวลาในการดูดซับ	h
$t_{de}$	เวลาในการคายซับ	h



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน (2552) *ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552*. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนพิเศษ 98 ง.
- [2] Marchetti JM, Miguel VU, Errazu AF. Possible methods for biodiesel production (2007) *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11:1300-1311.
- [3] Gerpen JV, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Knothe G (2004) Biodiesel Production Technology. *National Renewable Energy Laboratory* 52.
- [4] Karmakar A, Karmakar S, Mukherjee S (2010) Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource Technology* 101:721-7210.
- [5] Gerpen JV. Biodiesel processing and production (2005) *Fuel Processing Technology* 86:1097-1107.
- [6] Banga S, Varshney PK. Effect of impurities on performance of biodiesel: A review (2010) *Journal of Scientific & Industrial Research* 69:575-579.
- [7] Dunn RO (2009) Effects of minor constituents on cold flow properties and performance of biodiesel. *Progress in Energy and Combustion Science* 35:481- 489.
- [8] Ringwald SC (2007) *Biodiesel characterization in the QC environment*. The 98th AOCs Annual Meeting Abstracts. AOCs Press, Urbana.
- [9] Lacoste F, Dejean F, Griffon H, Rouquette C (2009) Quantification of free and esterified steryl glucosides in vegetable oils and biodiesel. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 111:822-828.
- [10] Tang HY, De Guzman RC, Salley SO, Ng KYS (2008) Formation of insolubles in palm oil-, yellow grease-, and soybean oil-based biodiesel blends after cold soaking at 4 °C. *J Am Oil Chem Soc* 85:1173-1182.
- [11] Na-Ranong D, Kitchaiya P (2014) Precipitation above cloud point in palm oil based biodiesel during production and storage. *Fuel* 122:287-293.
- [12] Tang H, Guzman RD, Salley S, Ng KYS (2010) Comparing process efficiency in reducing steryl glucosides in biodiesel. *J Am Oil Chem Soc* 87:337-45.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] กรณ์มนัส เพชรดี, โฆษิต พันธุ์จินดาวรรณ. (2555). การลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในใบโอดีเซลด้วยวิธีการดูดซับแบบกะ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



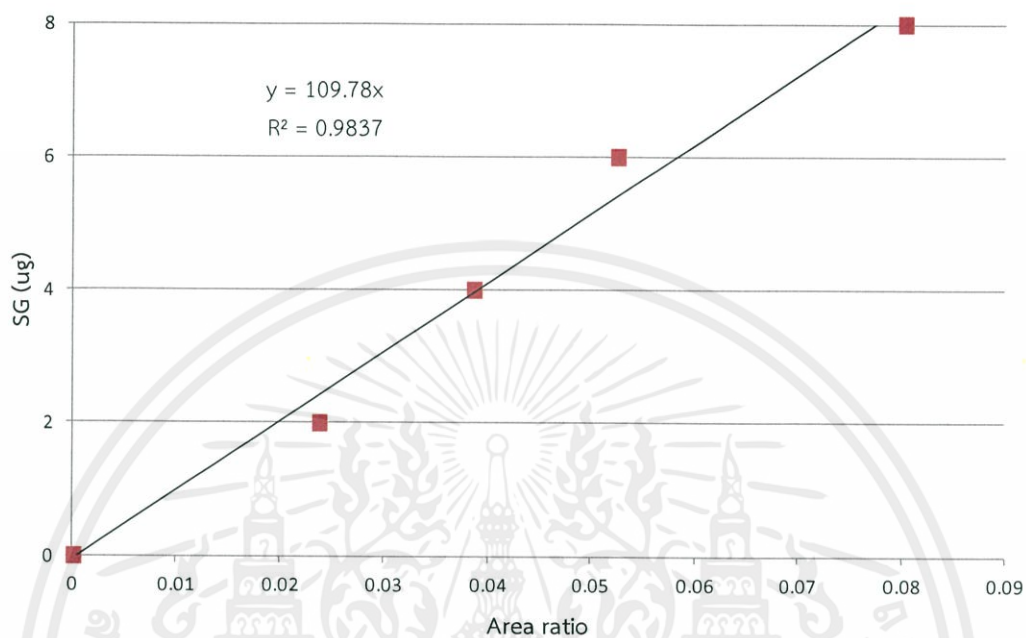
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์ (standard calibration curve)



รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลจากการทดลอง

## 1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

น้ำหนักของน้ำมัน ( $W_{oil}$ )	= 8 g
น้ำหนักของตัวดูดซับ ( $W_{ad}$ ) ที่ 1 %wt	= 0.08 g
ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น ( $C_0$ )	= 97 ppm
ปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์เริ่มต้น (Area ratio/ $W_{sample}$ )	= 69.69
ปริมาณของไดกลีเซอไรด์เริ่มต้น (Area ratio/ $W_{sample}$ )	= 11.82
ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์เริ่มต้น (Area ratio/ $W_{sample}$ )	= 3.38

ตารางที่ ข.1. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 65 °C

ชนิดของตัวดูดซับ	$C_{SG}$ (ppm)	ปริมาณ (area ratio/ $W_{sample}$ )		
		monoglycerides	diglycerides	triglycerides
magnesol	21.75	60.84	11.32	3.29
tonsil	47.52	62.98	11.44	3.19
BE	47.30	64.88	11.59	3.26
DA	64.91	67.59	11.80	3.36

## 2. อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG

น้ำหนักของน้ำมัน ( $W_{oil}$ )	= 8 g
ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น ( $C_0$ )	= 97 ppm

ตารางที่ ข.2. แสดงข้อมูลจากการทดลองที่ 65°C

ชนิดของตัวดูดซับ	%wt	$W_{ad}$ (g)	$C_{SG}$ (ppm)
magnesol	0.05	0.004	70.78
	0.10	0.008	65.95
	0.50	0.040	32.27
	1.00	0.080	21.75
	2.00	0.160	19.10

ชนิดของตัวดูดซับ	%wt	$W_{ad}$ (g)	$C_{SG}$ (ppm)
tonsil	0.50	0.040	64.53
	1.00	0.080	47.52
	2.00	0.160	33.65
	3.00	0.240	25.06
BE	0.50	0.040	60.91
	1.00	0.080	47.30
	2.00	0.160	36.61
	3.00	0.240	29.93
DA	0.50	0.040	73.57
	1.00	0.080	64.91
	2.00	0.160	47.25
	3.00	0.240	39.76

### 3. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG

ตารางที่ ข.3. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 70°C

ชนิดของตัวดูดซับ	$C_{SG}$ (ppm)	ปริมาณ (area ratio/ $W_{sample}$ )		
		monoglycerides	diglycerides	triglycerides
magnesol	19.95	62.93	11.64	3.29
tonsil	42.71	66.97	12.07	3.39
BE	36.12	63.18	11.26	3.10
DA	52.84	66.33	11.49	3.28

ตารางที่ ข.4. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 75°C

ชนิดของตัวดูดซับ	$C_{SG}$ (ppm)	ปริมาณ (area ratio/ $W_{sample}$ )		
		monoglycerides	diglycerides	triglycerides
magnesol	22.35	64.44	11.75	3.15
tonsil	46.81	66.88	12.12	3.19
BE	43.27	66.42	11.84	3.31
DA	54.86	68.20	11.74	3.29

ตารางที่ ข.5. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 80°C

ชนิดของตัวดูดซับ	C <sub>SG</sub> (ppm)	ปริมาณ (area ratio/W <sub>sample</sub> )		
		monoglycerides	diglycerides	triglycerides
magnesol	21.37	62.95	11.63	3.20
tonsil	46.72	62.23	11.30	2.94
BE	48.73	65.92	11.81	3.26
DA	64.61	70.31	11.93	3.23

#### 4. การคายซับ SG

ตารางที่ ข.6. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับการคายซับ SG ที่ 60°C โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25%wt

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณ SG ในตัวทำละลาย (µg)				
	methanol	ethanol	IPA	hex+IPA	acetone
magnesol	0	497.23	1,203.89	830.30	761.71
tonsil	40.42	0	244.65	44.45	197.04
BE	31.49	23.08	368.09	77.03	41.54
DA	66.75	86.43	185.86	253.24	19.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้