



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การลดปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า
Reduction of Steryl Glucosides in Biodiesel
using Selected Commercial Adsorbents

รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง
นางสาวภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



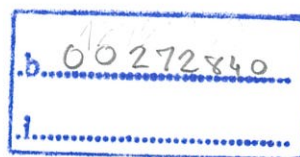
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การลดปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า
Reduction of Steryl Glucosides in Biodiesel
using Selected Commercial Adsorbents

รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง
นางสาวภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 139208
วันเดือนปี 27 ต.ค. 2558



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การลดปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า

แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

ประจำปีงบประมาณ 2555

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555

หัวหน้าโครงการ รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

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 ในขณะที่สารผสมเฮกเซนกับไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการณี DA

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์ม, สเตอรินกลูโคไซด์, การดูดซับ

Title: White Precipitation above Cloud Point in Biodiesel

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

Ms. Pattarin Laungthaleongpong

Faculty: Engineering

Department: Chemical Engineering

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.

Keywords : biodiesel, palm oil, steryl glucosides, adsorption

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 และจากคณะกรรมการส่งเสริมการวิจัยแห่งชาติ ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

บทที่	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	III
สารบัญรูป	IV
บทคัดย่อภาษาไทย	V
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	VI
กิตติกรรมประกาศ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4. คำสำคัญของการวิจัย	2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1. ไบโอดีเซล	3
2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	4
2.3. การผลิตไบโอดีเซล	4
2.4. ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล	5
2.5. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)	7
2.6. การดูดซับ (adsorption)	8
2.7. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ	9
2.8. การคายซับ (desorption)	9
2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	11
3.1. สารเคมี	11
3.2. อุปกรณ์	14
3.3. วิธีการทดลอง	14
3.4. การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล	15
3.5. การประเมินประสิทธิภาพตัวดูดซับ	15

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	16
4.1. สมบัติของไบโอดีเซล	17
4.2. ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ	18
4.3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับ	19
4.4. อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG	22
4.5. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG	24
4.6. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	32
รายการสัญลักษณ์	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35
ประวัติผู้วิจัย	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552	3
2.2. แสดงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	4
2.3. แสดงปริมาณของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ	7
2.4. แสดงส่วนประกอบของตะกอนในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ	8
3.1. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีซอล	11
3.2. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของทอนซิล (tonsil optimum 210 FF)	12
3.3. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Bleaching Earth	13
3.4. สภาวะในการทดสอบการดูดซับและการคายซับ	14
ข.1. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1 %wt ที่ 65 °C	37
ข.2. แสดงข้อมูลจากการทดลองที่ 65 °C	38
ข.3. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 70 °C	39
ข.4. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 75 °C	39
ข.5. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของตัวดูดซับปริมาณ 1%wt ที่ 80 °C	39
ข.6. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของการคายซับ SG ที่ 60 °C โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25 %wt	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1.	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิวเลเตทสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล	7
4.1.1.	GC-FID โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลเกรดการค้า	17
4.2.1.	ภาพถ่ายพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 500 เท่า	18
4.3.1.	ประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ($C_0 = 97$ ppm, $T = 65^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%$ wt, $t_{ad} = 1$ h)	20
4.3.2.	ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์ และ (■) ไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลเทียบกับ (■) SG ($T = 65^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%$ wt, $t_{ad} = 1$ h)	21
4.3.3.	ร้อยละการเลือกดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ($T = 65^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%$ wt, $t_{ad} = 1$ h)	21
4.4.1.	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG ของ (■) MS, (■) TS, (■) BE และ (■) DA ($C_0 = 97$ ppm, $T = 65^\circ\text{C}$, $t_{ad} = 1$ h)	23
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)	25
4.5.2.	ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์, (■) ไตรกลีเซอไรด์, (■) SG หลังผ่านการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ($T = 65-80^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%$ wt, $t_{ad} = 1$ h)	27
4.5.3.	ร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ($T = 65-80^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%$ wt, $t_{ad} = 1$ h)	28
4.6.1.	ปริมาณ SG จากการคายซับในตัวทำลายจากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ($T_{Ad} = 65^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 0.25\%$ wt, $t_{ad} = 2$ h, $T_{de} = 60^\circ\text{C}$, $t_{de} = 2$ h)	30
ก.	แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์	36

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลที่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นตะกอน และการใช้ไบโอดีเซลที่มีสเตอริลกลูโคไซด์เจือปนปริมาณมากจะทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องยนต์ เพื่อส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลในรูปพลังงานทดแทนจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดปริมาณ สเตอริลกลูโคไซด์ลงให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การลดปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ การทำให้เย็นและกรอง และการดูดซับ ซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นแม้จะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้นแต่ก็ทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีที่มีต้นทุนในการดำเนินงานและมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ

การกำจัดสิ่งเจือปนที่มีปริมาณน้อยในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเลือกใช้การดูดซับ ซึ่งการดูดซับจะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ขึ้นกับประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่นำมาใช้เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ยังมีอยู่ไม่มาก จึงไม่สามารถเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลได้ แมกนีซอล (Magnesol: MS), ทอนซิล (Tonsil: TS), ดินฟอกสี (Bleaching Earth: BE) และ ไดอะตอมไมต์ (Diatomaceous Earth: DA) เป็นตัวดูดซับเกรดการค้าที่นิยมใช้ในการกำจัดสี สารมีขี้ และสิ่งเจือปนในน้ำมันพืชและไบโอดีเซล จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า 4 ชนิด ได้แก่ magnesol, tonsil, bleaching earth และ diatomaceous earth มาทดสอบการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ของตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของตัวดูดซับและอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ สเตอริลกลูโคไซด์และปริมาณการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ ที่สภาวะต่างๆ รวมทั้งการคายซับ สเตอริลกลูโคไซด์ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับเกรดการค้า 4 ชนิด มาใช้ในการลดสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล
- 1.2.2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ
- 1.2.3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

1.3. ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ นำไบโอดีเซลเกรดการค้าที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมาทำการศึกษาการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ โดยใช้ตัวดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ magnesol, tonsil, bleaching earth และ diatomaceous earth เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 65-80°C ปริมาณตัวดูดซับ 0.05-3%wt การทดลองจะทำได้โดยใช้ชุดทดสอบการดูดซับแบบกะ ความเข้มข้นของสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลก่อนและหลังการดูดซับจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gas chromatograph with flame ionization detector (GC-FID) เพื่อนำมาคำนวณปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ ร้อยละการลดลงของปริมาณสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ และร้อยละการเลือกดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ สำหรับการคายซับ สเตอรินกลูโคไซด์จะทำการทดลองแบบกะโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ เมทานอล, เอทานอล, ไอโซโพรพานอล, สารละลายเฮกเซนและไอโซโพรพานอล (สัดส่วน 1:1) และอะซีโตน

1.4 คำสำคัญของการวิจัย

ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์ม, สเตอรินกลูโคไซด์, การดูดซับ
biodiesel, palm oil, steryl glucosides, adsorption

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณสมบัติไบโอดีเซลให้ดีขึ้น ไม่ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งาน
- 1.5.2. องค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกระบวนการดูดซับในอุตสาหกรรม เพื่อให้กระบวนการมีต้นทุนการดำเนินงานเหมาะสม

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลเป็นสารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester) สามารถผลิตได้จากทั้งน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช่แล้ว นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทางเลือกที่เข้ามามีบทบาทในการลดใช้น้ำมันจากปิโตรเลียม โดยไบโอดีเซลที่นำมาใช้ต้องมีลักษณะและคุณภาพตามประกาศของกระทรวงแรงงาน ดังตารางที่ 2.1. สำหรับการนำไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลใช้ในอัตราส่วนต่างๆ นั้นยังมีข้อจำกัดบางประการอยู่ คือ ไบโอดีเซลจะเกิดการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ

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

ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดลอง
เมทิลเอสเทอร์	%wt	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่ 15 °C	kg/m ³	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
ไดกลิเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	EN 14105
ไตรกลิเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	EN 14105
กลีเซอรินอิสระ	%wt	ไม่สูงกว่า 0.02	EN 14105
กลีเซอรินทั้งหมด	%wt	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105

2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นการนำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือเมทานอลเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็ว ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยามีหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2. แสดงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน [2]

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

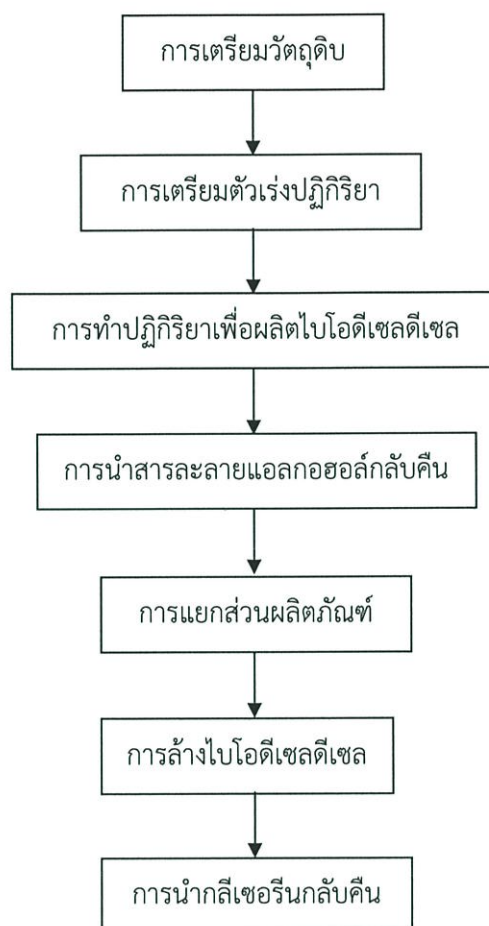
2.3. การผลิตไบโอดีเซล

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้วแต่ละชนิดจะมีปริมาณของสิ่งเจือปนแตกต่างกันไป สิ่งเจือปนดังกล่าว เช่น กรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) น้ำ ฯลฯ ซึ่งสิ่งเจือปนมีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หนึ่งในสิ่งเจือปนที่มีผลกระทบต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระซึ่งจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเกิดเป็นสบู่ โดยสบู่จะเข้าไปยับยั้งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันทำให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ลดลง สำหรับปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้นมีน้อยมากประมาณ 0.3-0.7% ไขมันสัตว์มีประมาณ 5-30% และน้ำมันที่ใช้แล้วมีประมาณ 2-7% [3]

โดยถ้าปริมาณของกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% ต้องผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน (two-stage process) [4] ซึ่งในขั้นตอนแรกต้องผ่านปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification reaction) เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นสารประกอบเอสเตอริฟิเคชัน โดยนำกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลกอฮอล์ นิยมใช้เมทานอล และมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งนิยมใช้กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ขั้นตอนต่อมาคือการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาเป็นไบโอดีเซลและกลีเซอริน

2.4. ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล [5]

การผลิตไบโอดีเซลระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้



2.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ

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

2.4.2. การเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต้องผสมตัวเร่งปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในสัดส่วนที่เหมาะสม และต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนลงไป โดยทั่วไปจะใช้ NaOH 2.5-5 ส่วนละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก

2.4.3. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

สภาวะในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปที่ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 65 °C อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลที่นิยมใช้กันเท่ากับ 1:6 ถ้าในน้ำมันมีกรดไขมันอิสระในปริมาณมาก ต้องผ่านปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification reaction) เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้อยู่ในรูปสารประกอบเมทิลเอสเตอร์ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยขณะทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

2.4.4. การนำสารละลายแอลกอฮอล์กลับคืน

การทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปมักใช้สารละลายแอลกอฮอล์เป็นเมทานอลในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นหลังทำปฏิกิริยาแล้วจะมีเมทานอลเหลืออยู่ ซึ่งจะถูกนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยการกลั่นแยกจากส่วนต่างๆ ต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนในส่วนของเมทานอลที่กลั่นได้

2.4.5. การแยกส่วนผลิตภัณฑ์

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้ว จะเกิดผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ ส่วนของสารเอสเตอร์และส่วนของกลีเซอรอล โดยส่วนของสารเอสเตอร์จะมีสารประกอบจำพวกไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรต์ ไดกลีเซอไรต์ และไตรกลีเซอไรต์ สำหรับส่วนของกลีเซอรอลจะมีสารประกอบจำพวกกรดไขมันอิสระ สบู่ สารเร่งปฏิกิริยา และน้ำ ต่อมาทิ้งให้แยกชั้นแล้วแยกส่วนของสารเอสเตอร์ที่มีไบโอดีเซลอยู่ออกหลังจากนั้นส่วนนี้จะถูกส่งไปยังถังล้างไบโอดีเซลต่อไป

2.4.6. การล้างไบโอดีเซล

การล้างไบโอดีเซลจะเป็นการล้างสารเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากปฏิกิริยาและสารปนเปื้อนต่างๆ การล้างไบโอดีเซลแบ่งเป็นการล้างแบบเปียก (wet washing method) และการล้างแบบแห้ง (dry washing method) สำหรับการล้างแบบเปียกนั้นนิยมใช้น้ำเป็นตัวล้างเนื่องจากราคาถูก แต่มีข้อเสียคือหลังจากล้างด้วยน้ำต้องมีกระบวนการทำให้แห้ง สำหรับการล้างแบบแห้งนั้นใช้หลักการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับในการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ตัวดูดซับที่นิยมใช้คือ แมกนีซอล (magnesol) [6] ซึ่งสามารถกำจัดสารจำพวกโมโนกลีเซอไรต์ ไดกลีเซอไรต์ ไตรกลีเซอไรต์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีปัญหาในการบำบัดน้ำเสีย

2.4.7. การนำกลีเซอรินกลับคืน

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

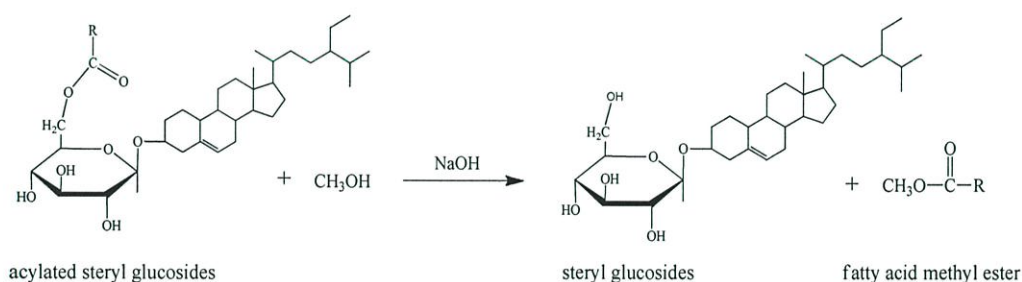
2.5. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)

สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารที่ประกอบด้วยสารกลุ่มไฟโตสเตอรอลและกลูโคส ซึ่งยึดเกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก [7] ในธรรมชาติสามารถพบสเตอริลกลูโคไซด์ได้จากน้ำมันพืช ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ต่างกัน ดังตารางที่ 2.3. จึงทำให้เมื่อนำมาผลิตไบโอดีเซลจะทำให้ปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลต่างกันตามไปด้วย

ตารางที่ 2.3. แสดงปริมาณของสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ [8]

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

นอกจากนี้สเตอริลกลูโคไซด์ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของสารพวกเอซิลเตทสเตอริลกลูโคไซด์ (acylated steryl glucosides; ASG) [9] ซึ่ง ASG เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถละลายในไบโอดีเซลที่เป็นสารประกอบไม่มีขั้วได้ แต่เมื่อสารประกอบ ASG ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้วนั้นก็จะเป็นเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบ SG ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีขั้วเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำไบโอดีเซลไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจึงเกิดปัญหาเกิดตะกอนขาวขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความสามารถในการละลายของ SG ในไบโอดีเซลก็ต่ำลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลเตทสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

แต่ทั้งนี้ตะกอนขาวที่เกิดขึ้นในไบโอดีเซลอาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากสเตอรอลกลูโคไซด์เท่านั้น เพราะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นด้วย ดังตารางที่ 2.4.

ตารางที่ 2.4. แสดงส่วนประกอบของตะกอนในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ [10]

ชนิดของวัตถุดิบ	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 เนื่องจากการดูดซับสารอื่นนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวดูดซับลดลง และมีเสถียรภาพทางกายภาพและทางเคมี (physical and chemical stability) คือ มีความคงทนต่อความร้อนระหว่างดำเนินการ ไม่เกิดการเสีรูปร่างหรือแตกสลาย 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

ประสิทธิภาพของตัวดูดซับพิจารณาได้จาก ร้อยละการลดลงของการดูดซับ, ปริมาณการดูดซับ และร้อยละการเลือกดูดซับ ดังนี้

2.7.1. ร้อยละการลดลงของตัวถูกดูดซับ (Reduction of adsorbate)

ร้อยละการลดลงของตัวถูกดูดซับคำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

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

2.7.2. ความจุในการดูดซับ (adsorption capacity)

ความจุในการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ คำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

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

2.7.3. ร้อยละการเลือกดูดซับ (%selectivity)

การเลือกดูดซับของสารที่ต้องการดูดซับ บ่งบอกถึงสัดส่วนของปริมาณการดูดซับสารที่ต้องการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับทั้งหมดในระบบ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่สารผสมมีสารซึ่งอาจถูกดูดซับบนตัวดูดซับ 2 ชนิด คือ สาร A และสาร B โดยที่สาร A เป็นสารที่ต้องการดูดซับ ค่าการเลือกดูดซับของสาร A คำนวณได้จากสมการที่ (2-3)

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

2.8. การคายซับ (desorption)

การคายซับเป็นกระบวนการตรงข้ามกับการดูดซับ คือ เป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับหลุดออกจากผิวของตัวดูดซับ เพื่อให้ผิวของตัวดูดซับมีพื้นที่ว่างสำหรับการดูดซับครั้งใหม่ หากสามารถคายซับตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับได้จะทำให้สามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้ และอาจเป็นการลดต้นทุนการดำเนินงานลงได้โดยเฉพาะในกรณีที่ตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับเป็นสารที่มีราคาแพง

2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Na-Ranong และคณะ [11] รายงานว่าตะกอนขาวที่เกิดในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิใกล้จุดหมอก (cloud point) ของไบโอดีเซลและที่อุณหภูมิห้องมีสาเหตุหลักมาจากสารกลุ่มสเตอรอลกลูโคไซด์ และไบโอดีเซลที่มีสเตอรอลกลูโคไซด์ 110 ppm จะเกิดการตกตะกอนขาวที่อุณหภูมิ 32°C ภายใน 1 วัน แต่ไบโอดีเซลที่มีสเตอรอลกลูโคไซด์ 20 ppm จะไม่เกิดตะกอนขาวแม้ตั้งทิ้งไว้นานกว่า 60 วัน

Tang และคณะ [12] ประยุกต์ใช้เทคนิคการกรองที่อุณหภูมิต่ำ (cold soak filtration), การดูดซับ (adsorption), การเหวี่ยงแยก (centrifugation) และการกลั่นสุญญากาศ (vacuum distillation) ในการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและมีสเตอรอลกลูโคไซด์ 161 ppm พบว่าการกลั่นสุญญากาศสามารถลดปริมาณ สเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลลงได้เกือบทั้งหมดจนไม่สามารถตรวจพบได้ สำหรับการกรองที่อุณหภูมิต่ำ, การดูดซับ และการเหวี่ยงแยกสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ลงได้จนเหลือเพียง 15-19 ppm แต่เนื่องจากการกลั่นสุญญากาศต้องใช้พลังงานสูง การเหวี่ยงแยกและการกรองที่อุณหภูมิต่ำมีความยุ่งยากในการดำเนินงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าการดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ย่างต่อการดำเนินการและต้นทุนต่ำ

กรณ์มนัส เพชรดี และโฆษิต พันธุ์จินดาวรรณ [13] ศึกษาการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่มีสเตอรอล กลูโคไซด์เข้มข้น 55 ppm โดยใช้ตัวดูดซับชนิดเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก, magnesol และ tonsil ทำการทดลองดูดซับแบบกะ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ นาน 360 นาที พบว่า magnesol มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยสามารถลดความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ลงจาก 55 ppm เหลือ 10 ppm รองลงมาคือ tonsil สามารถลดสเตอรอลกลูโคไซด์ลงเหลือ 13 ppm ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าทั้ง magnesol และ tonsil สามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลได้จริง จึงสนใจที่จะนำตัวดูดซับดังกล่าวมาศึกษาเพิ่มเติมโดยประยุกต์ใช้กับไบโอดีเซลเกรดการค้าที่มีสเตอรอลกลูโคไซด์สูง และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- ไบโอดีเซลเกรดการค้า เป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ
- ตัวดูดซับเกรดการค้า ได้แก่ magnesol (MS), tonsil (TS), bleaching earth (BE), diatomaceous earth (DA)

ตารางที่ 3.1-3.3 แสดงสมบัติของตัวดูดซับที่ได้จากผู้ผลิต

ตารางที่ 3.1. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีซอล

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

ตารางที่ 3.2. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของทอนซิล (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 ² /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 ₂	%wt	66.8
Al ₂ O ₃	%wt	14.2
Fe ₂ O ₃	%wt	3.7
CaO	%wt	1.1
MgO	%wt	2.3
Na ₂ O	%wt	0.8
K ₂ O	%wt	2.2
loss on ignition	%wt	8.0
total	%wt	99.1

ตารางที่ 3.3. แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Bleaching Earth

Bleaching earth grade super premium		
typical properties		
pH (2% suspension)		3
free moisture	%	12
bulk density	kg/m ³	570
surface area (B.E.T.)	m ² /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 ₂	%wt	77.0
Al ₂ O ₃	%wt	9.5
Fe ₂ O ₃	%wt	2.1
CaO	%wt	3.0
MgO	%wt	0.7
Na ₂ O	%wt	0.2
K ₂ O	%wt	0.2
loss on ignition	%wt	7.0

3.2. อุปกรณ์

3.2.1. เครื่องเขย่าสาร

3.2.2. ไมโครปิเปต

3.3. วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การดูดซับและการคายซับ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์

การดูดซับทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ (65, 70, 75 และ 80°C) โดยเติมตัวดูดซับและไบโอดีเซลลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 230 rpm พร้อมจับเวลาเริ่มต้น และเก็บตัวอย่างไบโอดีเซล (0.1 g) หลังดูดซับนาน 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, ไตรกลีเซอไรด์ และสเตอริลกลูโคไซด์

การคายซับสเตอริลกลูโคไซด์

การคายซับทำโดยเริ่มจากการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ 65 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำสารผสมมากรองเพื่อแยกเอาตัวดูดซับออกจากไบโอดีเซล และนำตัวดูดซับที่แยกออกมาใส่ลงในตัวทำละลาย (เมทานอล, เอทานอล, ไอโซโพรพานอล, สารผสมของเฮกเซนกับไอโซโพรพานอล (1:1 โดยปริมาตร) และอะซิโตน ปริมาตร 50 ml นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วรอบ 230 rpm นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกตัวดูดซับออกจากตัวทำละลาย และนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกจนหมด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ที่นำกลับได้

ตารางที่ 3.4. สภาวะในการทดสอบการดูดซับและการคายซับ

สภาวะ	การดูดซับ SG	การคายซับ 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

3.4. การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

- วิเคราะห์หาปริมาณ FAME ตามวิธีมาตรฐาน EN 14103
- วิเคราะห์หาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ตามวิธีมาตรฐาน EN 14105
- วิเคราะห์หาปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ โดยวิธีซึ่งดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM 2068

3.5. การประเมินประสิทธิภาพการดูดซับ

- คำนวณร้อยละการลดลงจากสมการ (3-1)

$$\% \text{reduction} = \frac{C_0 - C_{SG}}{C_0} \times 100 \quad (3-1)$$

- คำนวณปริมาณการดูดซับจากสมการ (2-2)

$$q_t = \frac{W_{oil}(C_0 - C_{SG})}{W_{ad}} \quad (3-2)$$

- คำนวณร้อยละการเลือกดูดซับจากสมการ (3-3)

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

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

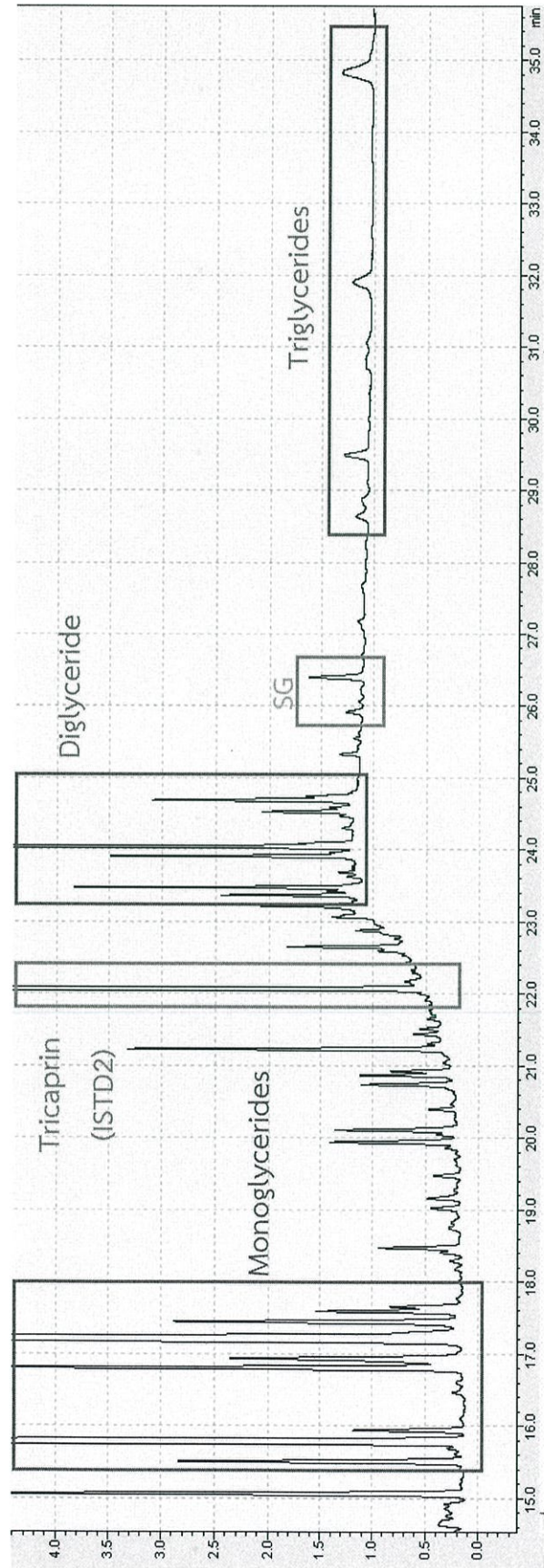
จากการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ สมบัติของไบโอดีเซล ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับ อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับ SG อิทธิพลอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG และสิ่งเจือปนอื่นๆ และการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

4.1. สมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลดีเกรดการค้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วย GC-FID พบว่ามี FAME (fatty acid methyl ester) เท่ากับ 96.5%wt ซึ่งมีปริมาณ FAME มากกว่าค่ากำหนดต่ำสุดตามมาตรฐาน EN-14214 นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล ได้แก่ สารประกอบกลีเซอไรด์ และสเตอรอลกลูโคไซด์เป็นองค์ประกอบ แสดงผลตามรูปที่ 4.1.1.

จากรูปที่ 4.1.1. แสดงการวิเคราะห์สารประกอบกลีเซอไรด์ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน EN-14105 พบว่าในไบโอดีเซลมีสิ่งเจือปน ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 15.4 – 7.8 นาที ไดกลีเซอไรด์แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 23.2 – 24.8 นาที และไตรกลีเซอไรด์แสดงให้เห็นในช่วงเวลา 28.6 – 35 นาที ซึ่งตามข้อมูลของผู้ผลิต ไบโอดีเซลมีปริมาณสารประกอบกลีเซอไรด์น้อยกว่าค่ามากที่สุดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน EN-14214 นอกจากนี้ยังพบ SG ที่เวลา 25.8 – 26.6 นาที ซึ่งมีปริมาณ 97 ppm

เนื่องจากในไบโอดีเซลนอกจากจะมี SG แล้วยังมี โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์อยู่ด้วย ในการดูดซับจึงอาจจะมีสิ่งเจือปนเหล่านี้ถูกดูดซับไปด้วยได้ ดังนั้นนอกจากการพิจารณาการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลแล้ว ควรพิจารณาการดูดซับสารอื่นควบคู่ไปด้วย

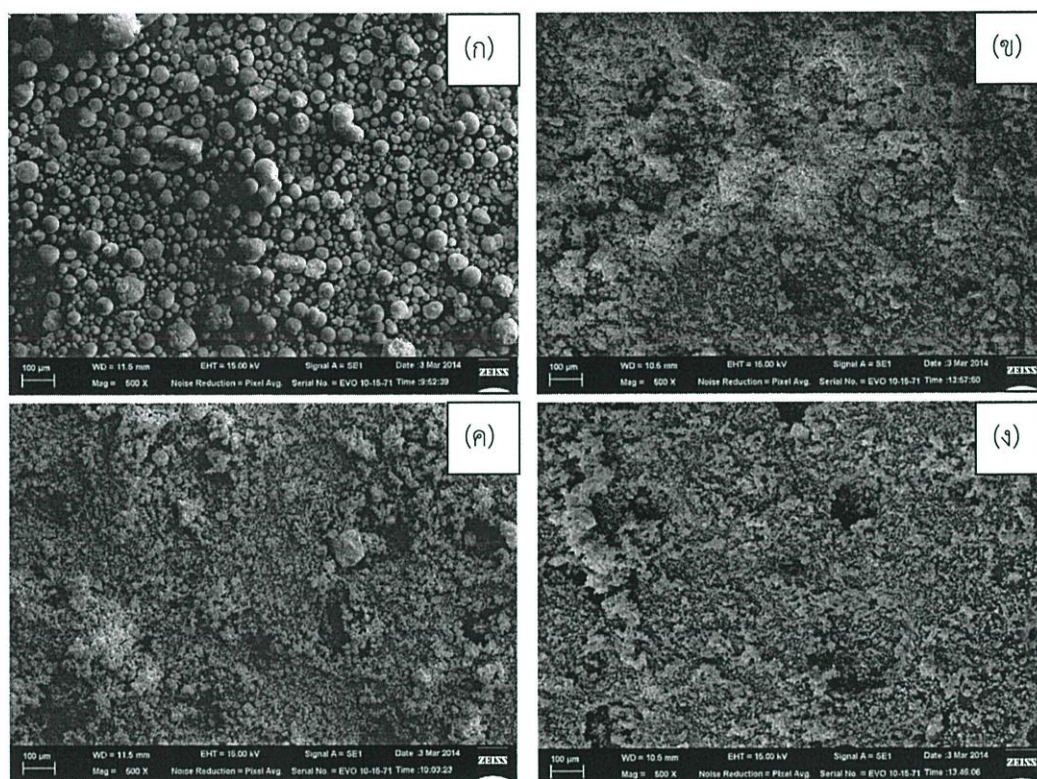


รูปที่ 4.1.1. โครมาโตแกรมของน้ำมันโปเตสเซียมคาร์บอเนต

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 เป็นผงลักษณะรูปทรงไม่แน่นอน



รูปที่ 4.2.1. ภาพถ่ายพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 500 เท่า

4.3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับ

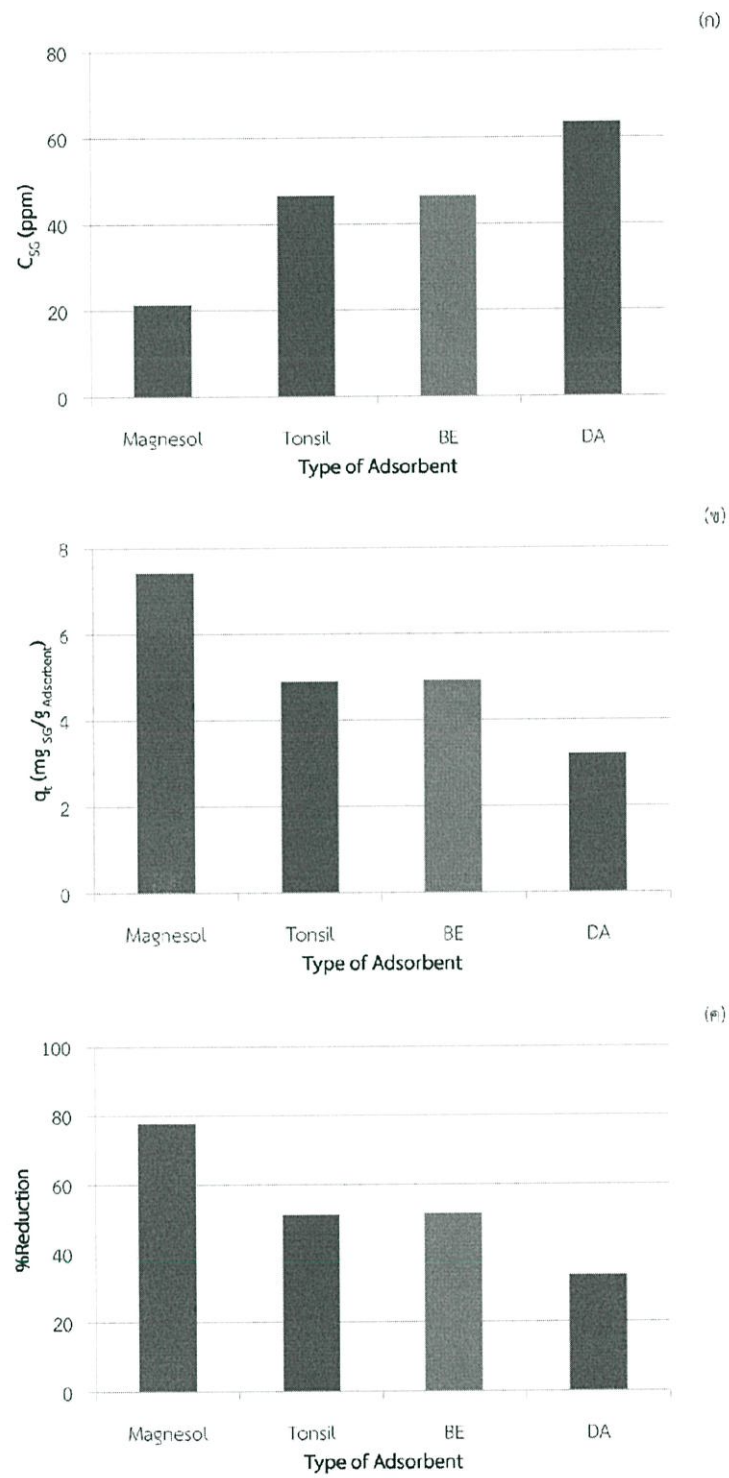
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับโดยพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ ทำการทดลองการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลเกรดการค้าความเข้มข้นเริ่มต้น 97 ppm ที่อุณหภูมิ 65°C โดยใช้ตัวดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ MS, TS, BE และ DA ปริมาณ 1%wt เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงผลตามรูปที่ 4.3.1.

จากรูปที่ 4.3.1. (ก) พบว่าความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วย MS มีค่าเท่ากับ 21.75 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นเหลือน้อยที่สุด โดยการดูดซับด้วย TS และ BE มีความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลใกล้เคียงกันเท่ากับ 47.52 ppm และ 47.30 ppm ตามลำดับ ส่วน DA พบว่าความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังจากผ่านการดูดซับเท่ากับ 64.91 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นเหลืออยู่มากที่สุด

จากรูปที่ 4.3.1. (ข) พบว่าปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ MS เท่ากับ 7.58 mg_{SG}/g_{Ad} ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด โดยปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ TS และ BE มีปริมาณใกล้เคียงกันเท่ากับ 5.01 mg_{SG}/g_{Ad} และ 5.03 mg_{SG}/g_{Ad} ตามลำดับ ส่วน DA มีปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับเท่ากับ 3.27 mg_{SG}/g_{Ad} ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด

จากรูปที่ 4.3.1. (ค) พบว่าร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS เท่ากับ 77.71% ซึ่งมียุทธศาสตร์มากที่สุด โดยร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย TS และ BE เท่ากับ 51.30% และ 51.52% ตามลำดับ

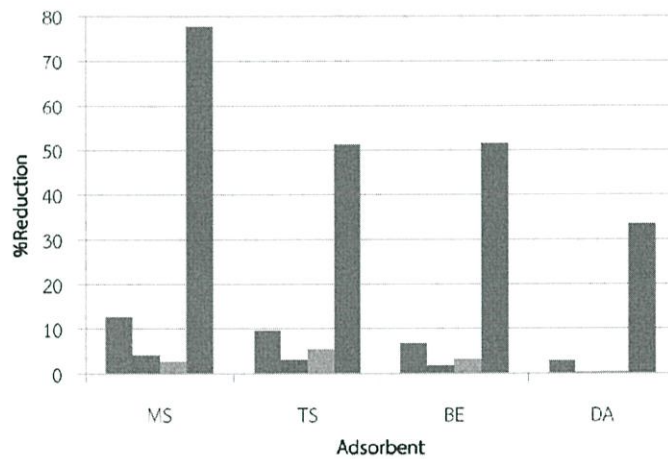
จากการพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่า MS เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด



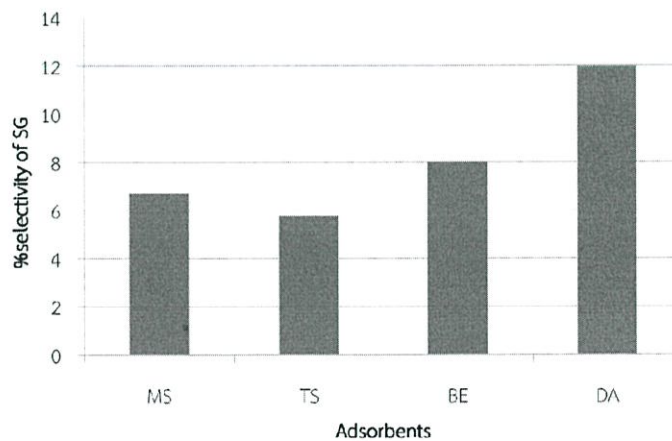
รูปที่ 4.3.1. ประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ($C_0 = 97$ ppm, $T = 65^\circ\text{C}$, $W_{ad} = 1\%wt$, $t_{ad} = 1$ h)

จากรูปที่ 4.3.2. เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโดยดูจากการดูดซับสิ่งเจือปน โดยเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของปริมาณสิ่งเจือปนต่างๆในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับเทียบกับ ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่า MS สามารถดูดซับ SG ได้ สูงสุด แต่ก็ดูดซับสิ่งเจือปนได้สูงสุดเช่นกัน และ DA ที่มีการดูดซับ SG ได้น้อยสุด ก็ดูดซับสิ่งเจือปนไว้ น้อยสุด

จากรูปที่ 4.3.3. พบว่า DA มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุดเท่ากับ 12.47% และ MS มี ร้อยละการเลือกดูดซับ SG เท่ากับ 6.8% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้ MS จะสามารถดูดซับ SG ได้มาก แต่ก็ยังคงเลือกดูดซับสิ่งเจือปนอื่นๆ มากเช่นกัน แต่ DA ที่สามารถดูดซับ SG ได้น้อย แต่มี ร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุด



รูปที่ 4.3.2. ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรด์, (■) ไดกลีเซอไรด์ และ (■) ไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลเทียบกับ (■) SG ($T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{ad} = 1\text{ \%wt}$, $t_{ad} = 1\text{ h}$)

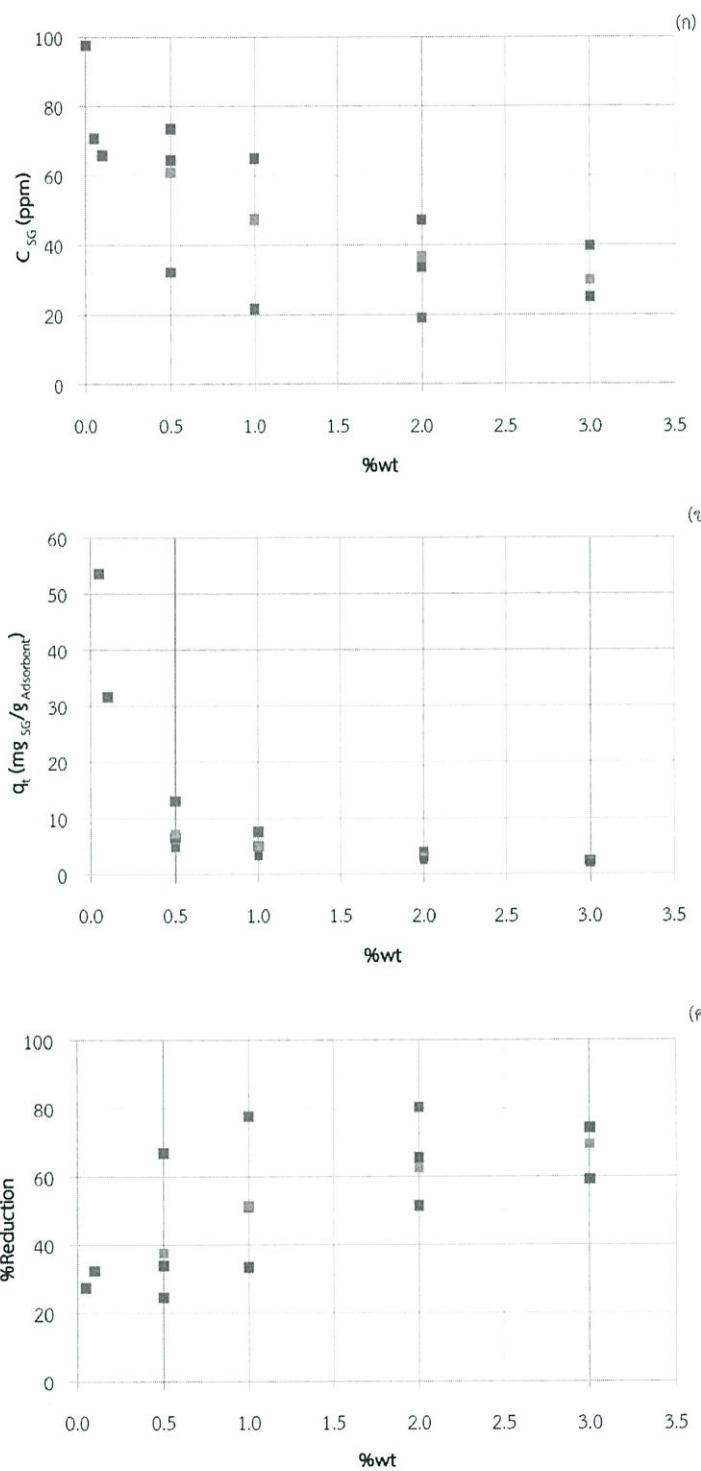


รูปที่ 4.3.3. ร้อยละการเลือกดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ($T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{ad} 1\text{ \%wt}$, $t_{ad} = 1\text{ h}$)

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 มีค่าสูงกว่าตัวดูดอีก 3 ชนิดมาก ดังนั้น MS จึงใช้ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 2%wt แสดงผลตามรูป 4.4.-1

จากรูปที่ 4.4.1. พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทุกชนิดทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ และปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของ MS ในช่วง 1-2 %wt ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก



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

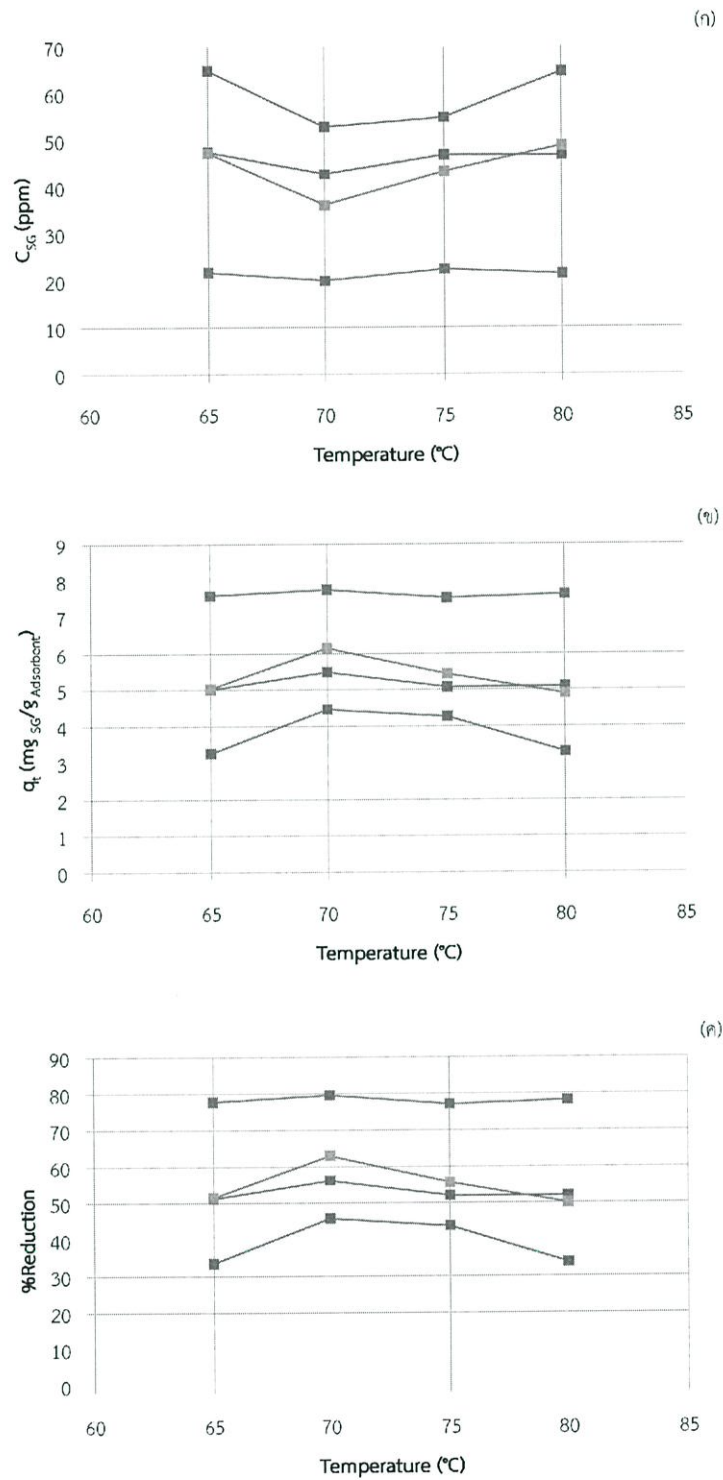
จากหัวข้อ 4.2. จะเห็นได้ว่า MS มีร้อยละการลดลงของ SG ในไบโอดีเซลสูงสุด แต่มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG ต่ำกว่า DA ต่อมาจะพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ โดยจะทำการทดลองการดูดซับในช่วงอุณหภูมิ 65-80°C โดยใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1%wt แสดงผลตามรูปที่ 4.5.1.

จากรูปที่ 4.5.1. (ก) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการดูดซับ SG ด้วย MS และ TS ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนการดูดซับ SG ด้วย BE และ DA เมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง 65-70°C ทำให้ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับลดลง 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 ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS และ TS เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง 65-70°C ทำให้ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย BE และ DA เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า 70°C จะทำให้ลดลง

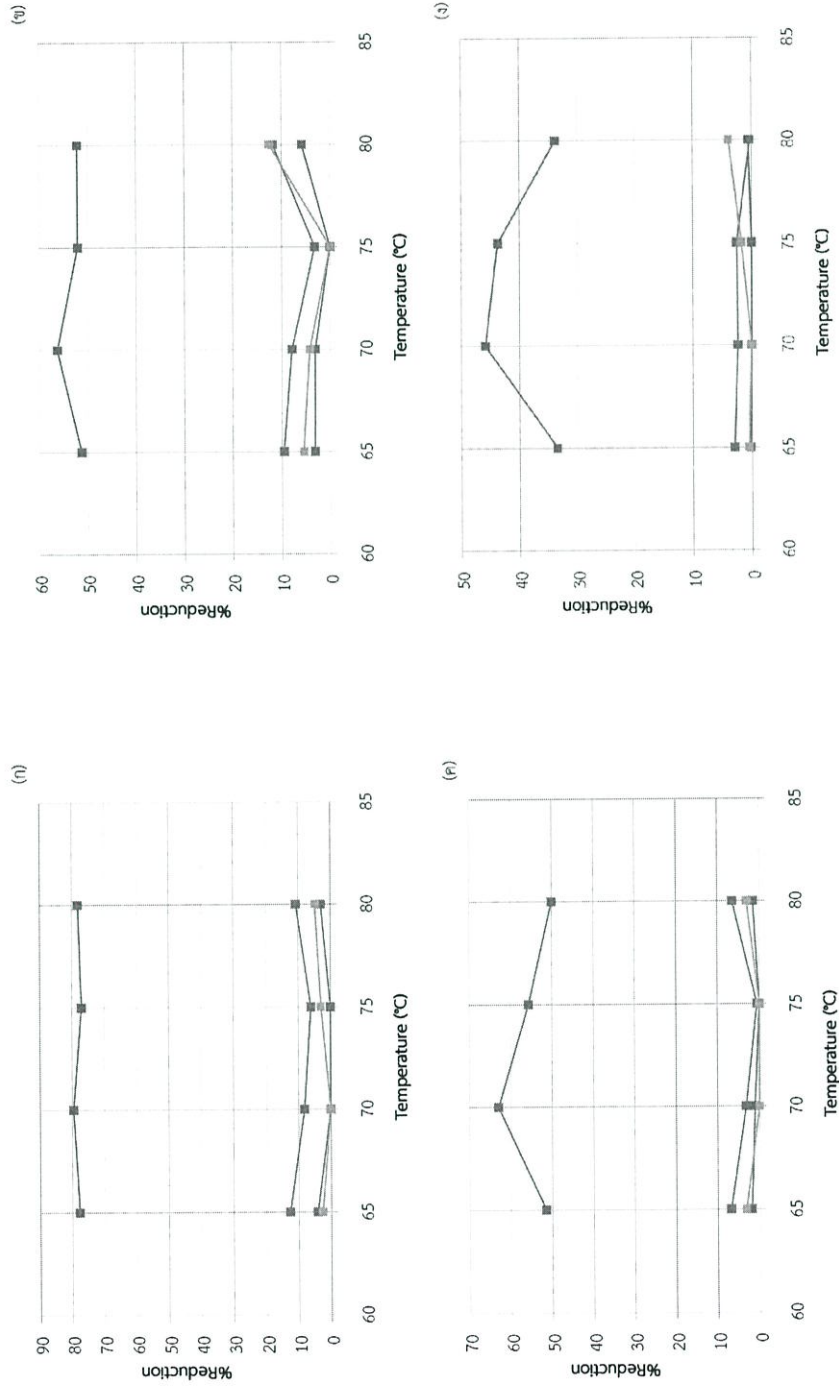
เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลจากการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่าอุณหภูมิ 65-70°C มีผลทำให้การดูดซับ SG ด้วย BE และ DA เพิ่มขึ้นซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70°C การดูดซับลดลง ส่วนการดูดซับ SG ด้วย MS และ TS อิทธิพลของอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ



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)

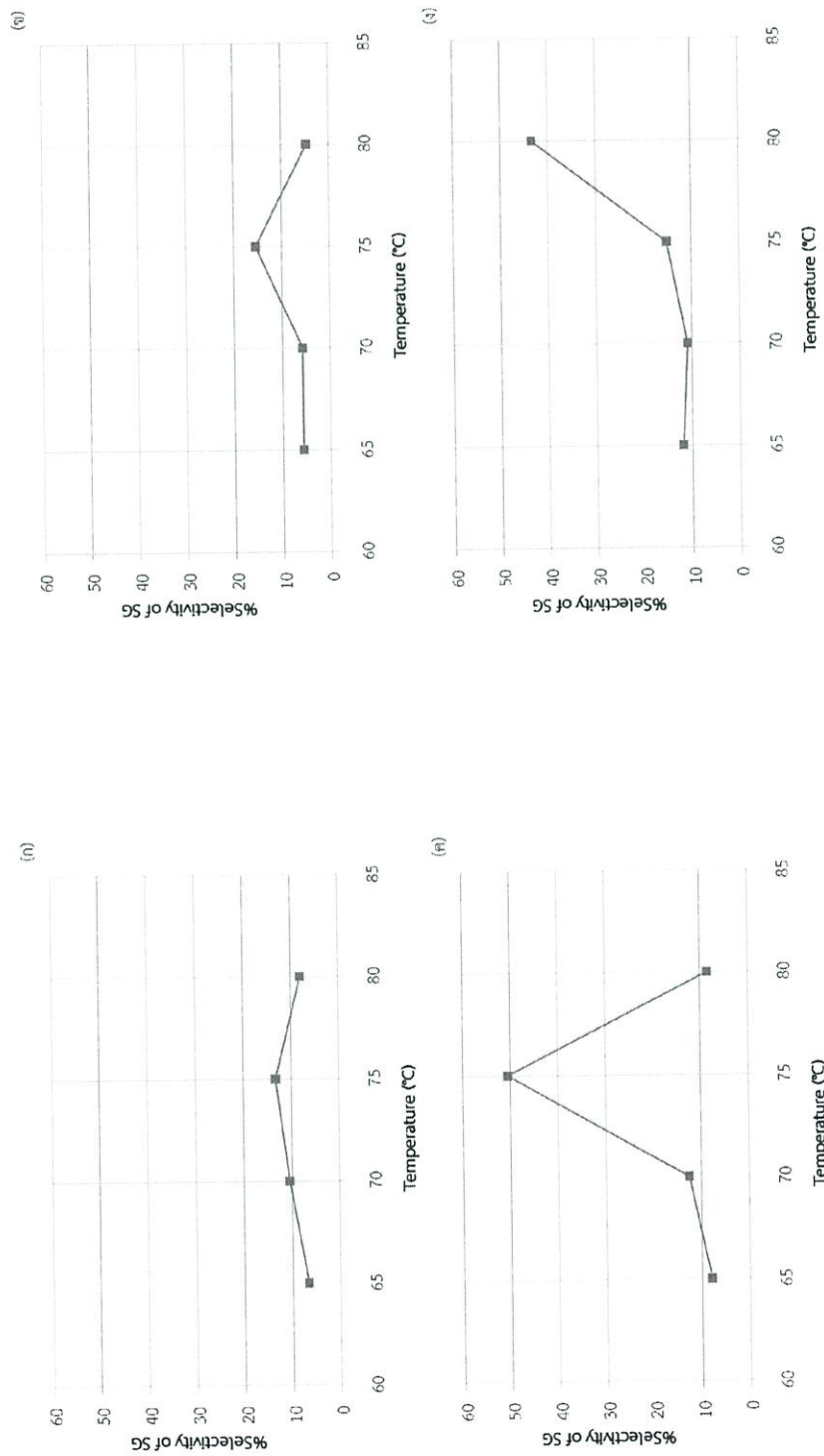
จากรูปที่ 4.5.2. ซึ่งแสดงร้อยละการลดลงของสิ่งเจือปนไนโบโอติเซลหลังผ่านการดูดซับด้วย MS, TS, BE และ DA โดยพิจารณาการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เทียบกับ SG พบว่า การดูดซับด้วย TS และ BE การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 65-75°C ทำให้ร้อยละการลดลงของ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ลดลง การดูดซับด้วย MS การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 65-75°C ทำให้ร้อยละการลดลงของ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ลดลงเช่นกัน แต่ไตรกลีเซอไรด์มีการเพิ่มขึ้นของร้อยละการลดลงจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง 70-80°C ส่วนการดูดซับด้วย DA ร้อยละการลดลงของ ไดกลีเซอไรด์ ใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิ 65-80°C ร้อยละการลดลงของโมโนกลีเซอไรด์ลดลงในช่วงการเพิ่มของอุณหภูมิ 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



รูปที่ 4.5.2. ร้อยละการลดลงของ (■) โมโนกลีเซอไรต์, (■) ไดกลีเซอไรต์, (■) ไตรกลีเซอไรต์, (■) SG หลังผ่านการดูดซับด้วย

(ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA (T = 65-80 °C, W_{ad} = 1 %wt, t_{ad} = 1 h)

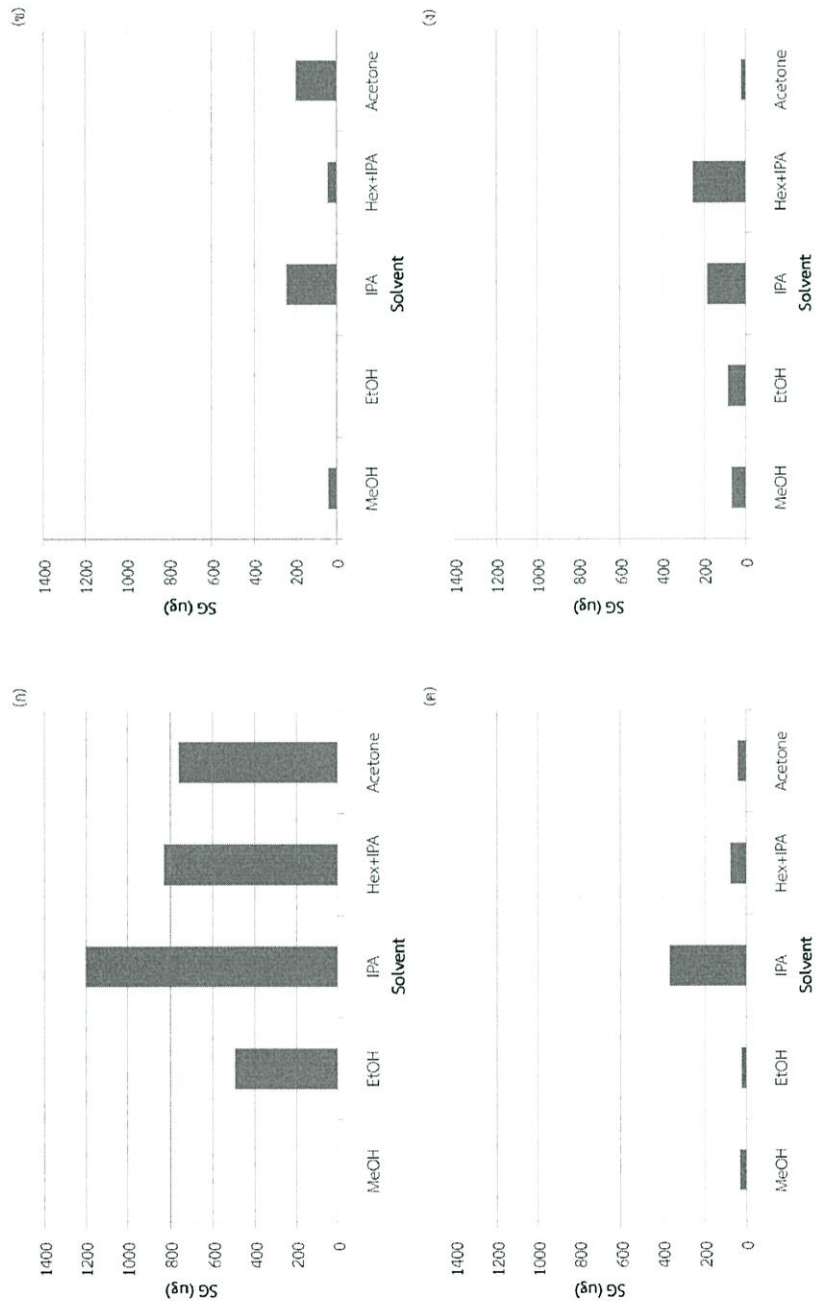


รูปที่ 4.5.3. ร้อยละการเลือกดูดซับ SG จากกาการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) BE และ (ค) TS, (ง) DA ($T = 65-80^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{ad}} = 1\% \text{wt}$, $t_{\text{ad}} = 1 \text{ h}$)

4.6. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

เนื่องจากการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่อาจทำให้ต้นทุนในกระบวนการดูดซับลดลงได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการคายซับ โดยเลือกตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม 5 ชนิด คือ Methanol, Ethanol, Isopropanol, Isopropanol+Hexane และ Acetone มาศึกษาความสามารถในการคายซับSG ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6.1.

จากรูปที่ 4.6.1. พบว่า MS สามารถคายซับ SG ได้ดีที่สุดในตัวทำละลายชนิดต่างๆ และพบว่าตัวดูดซับส่วนใหญ่จะสามารถคายซับได้ใน IPA ดีที่สุด มีเพียง DA ที่สามารถคายซับใน Hexane+IPA ได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.6.1. ปริมาณ SG จากการคายซ์เป็นตัวแทนค่าละลายจากการดูดซับด้วย (ก) MS, (ข) TS, (ค) BE และ (ง) DA

($T_{Ad} = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{ad} = 0.25\text{ \%wt}$, $t_{ad} = 2\text{ h}$, $T_{de} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{de} = 2\text{ h}$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับจากการพิจารณาความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ และร้อยละการลดลงของ ปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับ พบว่า MS เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากตัวดูดซับ 4 ชนิด รองลงมาได้แก่ TS และ BE ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และ DA มีประสิทธิภาพต่ำสุด เมื่อพิจารณาร้อยละการเลือกดูดซับ SG พบว่า DA มีร้อยละการเลือกดูดซับ SG สูงที่สุดใน ส่วนของการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ และปริมาณ SG ที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะลดลง แต่ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มี ต่อการดูดซับ 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

รายการสัญลักษณ์

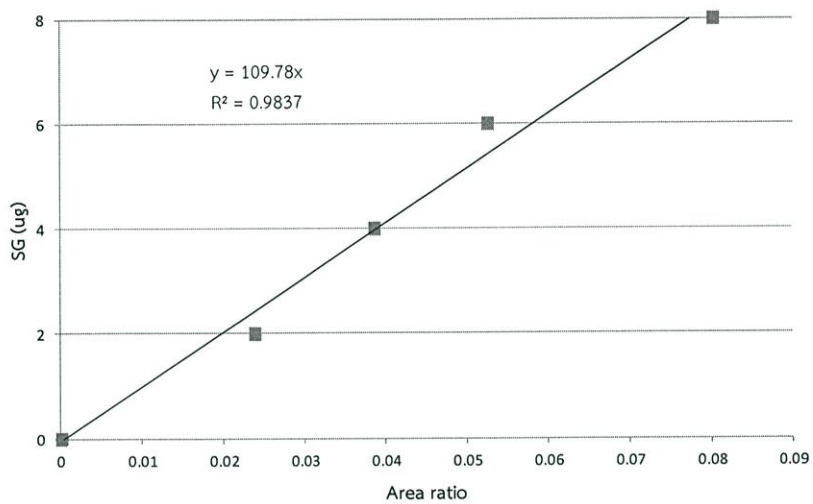
C_0	ความเข้มข้นเริ่มต้น	ppm
C_{SG}	ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์	ppm
q_t	ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ	mg/g
W_{ad}	น้ำหนักของตัวดูดซับ	g
W_{oil}	น้ำหนักของน้ำมัน	g
t_{ad}	เวลาในการดูดซับ	h
t_{de}	เวลาในการคายซับ	h

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์
(standard calibration curve)



รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

น้ำหนักของน้ำมัน (W_{oil})	=	8	g
น้ำหนักของตัวดูดซับ (W_{ad}) ที่ 1 %wt	=	0.08	g
ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	97	ppm
ปริมาณของโมนोगลิเซอไรด์เริ่มต้น (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

ชนิดตัวดูดซับ	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

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของน้ำมัน (W}_{\text{oil}}) &= 8 \text{ g} \\ \text{ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C}_0) &= 97 \text{ ppm} \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.2. แสดงข้อมูลจากการทดลองที่ 65°C

ชนิดตัวดูดซับ	%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
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

ชนิดตัวดูดซับ	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

ชนิดตัวดูดซับ	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

ชนิดตัวดูดซับ	C _{SG} (ppm)	ปริมาณ (area ratio/W _{sample})		
		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. การคายซั้ SG

ตารางที่ ข.6. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับของการคายซั้ SG ที่ 60°C โดยใช้ตัวดูดซั้ ปริมาณ 0.25%wt

ชนิดตัวดูดซั้	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

ภาคผนวก ค
ผลผลิตงานวิจัย

ผลผลิตจากงานวิจัย ได้แก่

1. บทความวิชาการ เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ฐานข้อมูล ISI)
เรื่อง Comparing efficiencies of magnesium silicate and bleaching earth in removing steryl glucosides from biodiesel
สถานภาพ กำลังจัดเตรียมต้นฉบับ
2. ปรินต์งานวิจัย เรื่อง การลดปริมาณสเตอรอลไกลโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเกรดการค้า
นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ปี
การศึกษา 2556

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว ดวงกมล ณ ระนอง
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Duangkamol Na Ranong
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9
3. สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1, ซอยฉลองกรุง 1, แขวงลาดกระบัง, เขตลาดกระบัง, กทม. 10520
โทรศัพท์ 02-329-8360-3 ต่อ 169 โทรศัพท์มือถือ 089-761-4283
โทรสาร 02-329-8360-3 ต่อ 4
E-mail knduangk@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2537	วศ.บ.	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2541	M.Eng.	Chemical Engineering	Tokyo Institute of Technology
2545	D.Eng.	Chemical Engineering	Tokyo Institute of Technology

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Heterogeneous Catalysis
Reaction Engineering and Chemical Reactor Design
Adsorption
Biomass Utilization
Process Simulation

6. ประสบการณ์ผลงานวิจัย

6.1 หัวหน้าโครงการ

- โครงการ “การใช้ประโยชน์จากสารเคมีในเปลือกหอยนางรมเพื่อกำจัดโลหะหนักและฟอสเฟตในน้ำเสีย” สกว. ฝ่ายเกษตร
- โครงการ “Production of Useful Chemicals from Heterogeneous Catalytic Reaction of Palm Oil Mill Waste Water” สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม
- โครงการ “Hydrogen Production by Steam Reforming of Bioethanol over Ni/Al₂O₃ Catalyst for PEM Fuel Cell Application” MTEC
- โครงการ “Performance of Heterogeneous Catalytic Reactors Under Unsteady Condition” สกว. ฝ่ายวิชาการ

6.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

6.2.1 แหล่งทุนย้อนหลัง 5 ปี

- Oyster Shells: From Waste to Useful Chemicals, TRF, ก.ย. 2552 – ก.ย. 2553
- 20 L/h-Scale Production of 25%w/w TAPP Solution Using Continuous Reactor, MTEC, มี.ค. 2552 – ก.พ. 2553
- Designment and Development of Machine for Recovery of Thermo-responsive Skim Latex Flocculant, MTEC, มี.ค. 2552 – ก.ค. 2552
- Production of useful chemicals from heterogeneous catalytic reaction of palm oil mill waste water, TRF, มี.ย. 2550 – มี.ย. 2552
- Recovery and Processing of Skim Natural Rubber, MTEC, ม.ค. 2550 – ธ.ค. 2550
- Process for Producing High Quality Gasoline from Biomass Wastes, Japan Society for the Promotion of Science: JSPS, พ.ย. 2548 – ต.ค. 2550
- โครงการ “การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟต-เซอร์โคเนียด้วยวิธีโซล-เจลสำหรับการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ” ทุนโครงการวิจัย เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2554
- เรื่อง “การปรับปรุงแคลเซียมออกไซด์เพื่อการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์” ทุนโครงการวิจัย เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2553
- เรื่อง “การนำกลับสารเคมีมูลค่าสูงจากน้ำมันชีวภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กออกไซด์: จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา” ทุนโครงการวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2552
- เรื่อง “การไฟโรไลซิสวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่อง” ทุนโครงการวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2551
- เรื่อง “การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไฟโรไลซิสกากของเสียโรงงานหีบน้ำมันปาล์มเพื่อนำกลับสารเคมีมูลค่าสูง” ทุนโครงการวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2550

6.2.2 ผลงานวิจัยย้อนหลัง 5 ปี

วารสารวิชาการระดับนานาชาติ

- Takuya Yoshikawa, Duangkamol Na-Ranong, Teruoki Tago and Takao Masuda, “Oxidative Cracking of Aromatic Compounds Related to Lignin Constituents with Steam Using $ZrO_2-Al_2O_3-FeO_x$ Catalyst”, Journal of the Japan Petroleum Institute, 53 (2010) 178-183. (IMF = 0.591)
- Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad, Prakob Kitchaiya and Takashi Aida, "Application of Periodic Operation to Kinetic Study of NO-CO

Reaction over Rh/Al₂O₃" *Chemical Engineering Journal*, 146 (2009) 275-286. (IMF = 1.707)

- Ratanaporn Yuangsawad, Walirat Suksamai and **Duangkamol Na-Ranong**, "Improving of Zr-FeOx catalyst for recovering useful chemicals from palm shell derived bio-oil" *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 13 (2009) 18-23

- **Duangkamol Na-Ranong**, Ratanaporn Yuangsawad, Teruoki Tago, and Takao Masuda "Recovery of useful chemicals from oil palm shell-derived oil using zirconia supporting iron oxide catalysts" *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25 (2008) 426-430. (IMF = 0.747)

- Piyawat Supphasrirongjaroen, Piyasan Praserttham, Joongjai Panpranot, **Duangkamol Na-Ranong**, Okorn Mekasuwandumrong "Effect of quenching medium on photocatalytic activity of nano-TiO₂ prepared by solvothermal method" *Chemical Engineering Journal*, 138 (2008) 622-627. (IMF = 1.707)

- **Duangkamol Na-Ranong**, Yuichi Saito, Takanori Yotsumoto, Mohammad Kazemeini and Takashi Aida, "A simulated countercurrent moving bed reactor for oxidation of CO at low concentration of Pt/Al₂O₃" *Studies in Surface Science and Catalysis*, 159 (2006) 805-808. (IMF = 0.489)

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- Ratiporn Chantayapaibool, Pasinee Saeng-arayakul, Nuntaporn Trisinsomboon, Ratanaporn Yuangsawad and Duangkamol Na-Ranong "Synthesis of CeO_2ZrO_2 Nanofibers by Electrospinning Technique" *the 22nd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 22)*, Maastricht, the Netherlands, Sep, 2012
- D. Na-Ranong, P. Kitchaiya and R. Yuangsawad "Removal of steryl glucosides in palm oil based biodiesel by adsorption on an acid treated resin" *the anniversary 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 and the 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2012*, Prague, Czech Republic, Aug, 2012
- D. Na-Ranong and R. Yuangsawad, "Removal of phosphate in wastewater using an oyster shell derived CaO" *the anniversary 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 and the 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2012*, Prague, Czech Republic, Aug, 2012
- Preeyaporn Puangkamlai, Ratanaporn Yuangsawad, Duangkamol Na-Ranong, "Preparation of CaO Catalysts from Oyster Shell Waste for Transesterification of Palm Oil with Methanol" *The 17th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE)*, Thailand, 2010
- Ratanaporn Yuangsawad, Walairat Suksamai and Duangkamol Na-Ranong, "The Possibility of the Useful Chemicals Production from Sewage Sludge Derived Oil" *The 2nd Thammasat University International Conference on Chemical, Environmental and Energy Engineering*, Thailand, 2009
- Ratanaporn Yuangsawad, Walairat Suksamai and Duangkamol Na-Ranong "Catalytic decomposition of model compounds over zirconia supporting iron oxide catalyst" *15th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE) in Conjunction with the 22nd Symposium of Malaysian Chemical Engineers (SOMChE) Innovations for Sustainable for Sustainable Future*, Malaysia, 2008
- Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad, Walairat Suksamai, Prakob Kitchaiya, Teruoki Tago, and Takao Masuda "Improving of Zr-FeOx catalyst for recovering useful chemicals from palm shell derived bio-oil" *The*

1st Thammasat University International Conference on Chemical, Environmental and Energy Engineering, Thailand, 2008

- Duangkamol Na-Ranong, Ratanporn Yuangsawad, Tago Teruoki, and Masuda Takao "Recovery of useful chemicals from oil palm shell-derived oil using zirconia supporting iron oxide catalysts" *The 11th Korea-Japan Symposium on Catalysis*, Korea, 2007

- Makoto Takahashi, Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad, Takashi Aida "Effect of cycling period for NO-CO system added oxygen over noble metal catalysts" *Chemical Reaction Engineering XI Green Chemical Reactor Engineering*, Spain, 2007

- Na-Ranong Duangkamol, Yuangsawad Ratanporn, 麓惠理 舟井啓 多湖輝興 増田隆夫 "Recovery of useful chemicals from palm wastes using iron oxide based catalysts" *The 99th Symposium on Catalysis*, 28-29 April 2007, Kobe, Japan)

- Makoto Takahashi, Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad, and Takashi Aida "Cyclic Concentration Forcing of NO-CO-O₂ Reaction Over Supported Noble Metal Catalysts" *Fifth international conference on Unsteady-State Processes in Catalysis (USPC5)*, Osaka, Japan, 2006

- Takahashi Makoto, Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad and Aida Takashi "Effect of addition of O₂ on behavior of NO-CO reaction over supported noble metal catalysts" *SCEJ 38th Autumn Meeting* (Fukuoka, 2006)

- Kimura Kori, Yotsumoto Takanori, Yuangsawad R., Na-Ranong D. and Aida Takashi "Oxidation of H₂/CO gas mixture over Pt/Al₂O₃ in a simulated moving bed reactor" *SCEJ 38th Autumn Meeting* (Fukuoka, 2006)

วารสารวิชาการระดับชาติ

- รัตนากร ยวงสวัสดิ์, ขยกร บวรณยศ, สุรางคณา ฉายชูวงษ์, ศุภวรรณ นิษะ, ดวงกมล ณ ระนอง "การเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลโดยซัลเฟต-เซอร์โคเนียที่ผ่านการปรับสมบัติ" *วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 29 ฉบับที่ 3*, 2555, 67-72

- รัตนากร ยวงสวัสดิ์, วลัยรัตน์ จันทระอัมพร และ ดวงกมล ณ ระนอง "การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย" *วิศวกรรมลาดกระบังปีที่ 28 ฉบับที่ 4*, 2554, 31-36

- Walairat Suksamai, Chalida Teerasaksakulchai, Chonlasek Chankanithiran, Santi Wattananusorn and Duangkamol Na-Ranong, "Kinetics Study of Sucrose Inversion Using Ion Exchange Resin as a Catalyst" *Ladkrabang Engineering Journal* 43 (2552) 43-48

- ชัยวุฒิ สายแสงธรรม, ดวงกมล ณ ระนอง, สุรพิชญ ลอยกุลนันท์, ฉวีวรรณ คงแก้ว "การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางชั้นจากทางน้ำยาง" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 26 ฉบับที่ 1, 2552

- ประมินทร์ ขวัญอน, พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์, ดวงกมล ณ ระนอง "การเตรียมซีโอไลต์ชนิดเอบนตัวรองรับอะลูมินาเมมเบรนเพื่อแยกเอทานอล-น้ำ" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 25 ฉบับที่ 3, 2551, 48-53

- ดวงกมล ณ ระนอง, ณัฐนิชา ณัฐนรากร, สุชาดา ที่รัก, วิศรุต ใหญ่ยอด, อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์, กัญยรัตน์ บัวเกตุ, พัฒนา เอี่ยมวิลาวุฒิ และพรสวรรค์ กาญจนวณิชกุล "การปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาเพื่อใช้ผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำ" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, 2550

การประชุมวิชาการระดับชาติ

- หลุยส์ ไทยกรรณ์ และ ดวงกมล ณ ระนอง "การศึกษาหากลั่นแบบมีปฏิกิริยาสำหรับสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไอลีนกับเมทานอล" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

- อรุณโรจน์ สุกกระ, กรณ์มนัส เพชรดี, โฆษิต พันธุ์จินดาวรรณ และ ดวงกมล ณ ระนอง "สเตอรอลกลูโคไซด์กับการเกิดตะกอนขาวในไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

- อินทิรา ลัดลอย, อรุณโรจน์ สุกกระ และ ดวงกมล ณ ระนอง "การจำลองการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลในหลอดดูดซับแบบเบดบรรจุ" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

- Maneewan Tonpoo, Manita Prasongjareoun, Rattanaporn Yuangsawad and Duangkamol Na-Ranong "Recovery of dl-limonene from used tires by pyrolysis" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, กาญจนบุรี, 2009

- รัตนากร ยวงสวัสดิ์ และดวงกมล ณ ระนอง "จลนพลศาสตร์ของการสลายตัวขององค์ประกอบหลักในน้ำมันชีวภาพบนตัวเร่งปฏิกิริยา $ZrO_2 \cdot FeO_x$ " การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, พัทยา, 2008

- กัญยรัตน์ บัวเกตุ, เยาวเรศ จันทร์โอภากร, ละอองตา ธนชัยวิวัฒน์ และดวงกมล ณ ระนอง, "อิทธิพลของตัวส่งเสริมต่อการสะสมของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ในปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำ" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, พัทยา, 2008

- รัตนากร ยวงสวัสดิ์, ดวงกมล ณ ระนอง "การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $ZrO_2 \cdot FeO_x$ " การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, เชียงใหม่, 2007

- รัตนากร ยวงสวัสดิ์, ดวงกมล ณ ระนอง, Takanori Yotsumoto, Kaori Kimura และ Takashi Aida "ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่จำลอง" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, กรุงเทพมหานคร, 2006

สิทธิบัตร:

- สิ่งประดิษฐ์ "เครื่องแยกและนำกลับโพลีเมอร์ที่ไวต่อความร้อนแบบต่อเนื่อง" เลขที่คำขอ 0901000967 ผู้ร่วมประดิษฐ์ สุรพิชญ ลอยกุลนันท์, ฉวีวรรณ คงแก้ว, ดวงกมล ณ ระนอง และชัชวูฒิ สายแสงธรรม

สิ่งประดิษฐ์ "กระบวนการนำกลับสารกลุ่มสเตอรอลกลูโคไซด์จากน้ำมันชีวภาพ" เลขที่คำขอ 1201004932 ผู้ร่วมประดิษฐ์ ดวงกมล ณ ระนอง, กษมาวรรณ เตารัตน์, ประกอบ กิจไชยา และ รัตนากร ยวงสวัสดิ์