

การศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุในการ
ดูดซับและคายซับสเตอร์ออลกยูโคไซด์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

การศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุในการ
ดูดซับและคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พ.ศ.2557
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Study on Ion-Exchange Resins Efficiency in Adsorption and
Desorption of Sterol Glucosides



KORAKOT BOONKAEW
NARISARA YOOSATHIT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 2014 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุในการดูดซับ
และคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์
โดย นายกรกต บุญแก้ว
นางสาวนริศรา อยู่สดีดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)


.....กรรมการ

(ดร. วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร)


.....กรรมการ

(ดร. ณัฐนนท์ ไพบุลย์ศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุในการดูดซับและคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์
โดย	นายกรกต บุญแก้ว นางสาวนริศรา อยู่สถิตย์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (IE-R) ในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) ในไบโอดีเซลโดยใช้หอดูดซับแบบเบดบรรจุเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต และนำ IE-R ที่ผ่านการใช้งานมาศึกษาการคายซับ SGs ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (IPA) ด้วยชุดทดลองแบบกะเพื่อเป็นแนวทางในการนำ IE-R กลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังทำการทดลองดูดซับ-คายซับ ในชุดทดลองแบบกะเพื่อหาร้อยละผลได้ของ SGs (Y_{SG}) ที่คายซับออกมาได้ใน IPA เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพของ IE-R เรซินแลกเปลี่ยนประจุที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (strong base anion exchange resin; SB-R) เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (weak base anion exchange resin; WB-R) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (strong acid cation exchange resin; SA-R) ผลการทดลองโดยใช้หอดูดซับแบบเบดบรรจุที่มี space time เท่ากับ 9.7 นาที แสดงให้เห็นว่า SB-R มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60°C โดยสามารถลด SGs ได้ 75% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและจะค่อยๆลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาผ่านไป 50 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 30% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น เมื่อนำมาทำการคายซับพบว่า การเพิ่มตัวทำละลายมีผลต่อการคายซับน้อย จึงเลือกสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่น้อยที่สุดคือ 50:1 โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคายซับอยู่ในช่วง $60-70^{\circ}\text{C}$ และมี Y_{SG} เท่ากับ 39% เรซิน WB-R มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60°C สามารถลดปริมาณ SGs ได้ถึง 60% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่อยๆลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาผ่านไป 30 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 20% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น สามารถคายซับได้ดีที่อุณหภูมิ $50-60^{\circ}\text{C}$ และมี Y_{SG} เท่ากับ 46% เรซิน SA-R ทดลองกับหอดูดซับแบบเบดบรรจุที่มี space time เท่ากับ 6.7 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดที่อุณหภูมิ 75°C สามารถลดปริมาณ SGs ได้ถึง 85% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่อยๆลดลงจนคงที่ที่เวลาผ่านไป 20 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 25% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น เมื่อทำการคายซับพบว่าปริมาณ SGs ที่คายซับได้คือ $1.5\ \mu\text{g/g}$ ซึ่งมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบด้วย GC-FID SA-R จึงเป็นตัวดูดซับที่ไม่เหมาะนำมาคายซับเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่

Report title	The Study on Ion-Exchange Resins Efficiency in Adsorption and Desorption of Sterol Glucosides	
By	Korakot	Boonkaew
	Narisara	Yoosathit
Degree	Bachelor of Engineering	
Year	2014	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong	

Abstract

Efficiency of an adsorber packed with ion-exchange resin (IE-R) was investigated to determine the optimum condition for removing SGs in biodiesel. In order to examine the feasibility of reusability off IE-R, batch desorption of SGs was performed using isopropanol (IPA) as a solvent. In addition, the yield of SGs (Y_{SG}) recovered in batch adsorption-desorption experiment was determine in order to verify the feasibility of regeneration of IE-R. The type of IE-R was considered in this research including, strong base anion exchange resin (SB-R), weak base anion exchange resin (WB-R) and strong acid cation exchange resin (SA-R). The result by using adsorber which has space-time 9.7 min showed optimum temperature for adsorption of SGs by using SB-R is 60 °C. At the beginning, efficiency of adsorption was 75% and gradually decreased to about 30% in 50 h after that it was stable. Desorption of SB-R shown that the amount of solvent was insignificantly to affect desorption so ratio of solvent to adsorbent as 50:1 was chosen. The optimum temperature for desorption was in the range of 60-70 °C. Yield (Y_{SG}) was 39%. For WB-R, the optimum temperature for adsorption of SGs by using WB-R was 60 °C. At the beginning, efficiency of adsorption was 60% and gradually decreased to about 20% in 30 h after that it was stable. Desorption test of WB-R shown that optimum temperature was in the range of 50-60 °C. Yield (Y_{SG}) was 46%. SA-R was performed by using adsorber which has space-time 6.7 min. The optimum temperature for adsorption of SGs by using SA-R was 75°C. At the beginning, the efficiency of adsorption was 85% and gradually decreased to about 25% in 20 h after that it was stable. The amount of SGs recovered in IPA as 1.5 µg/g was extremely low and lower than GC-FID detection limit. Therefore, the result indicated that this adsorbent was not suitable to be regenerated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้ขอขอบคุณ รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาในการทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยประเภททุนงบประมาณแผ่นดิน

ขอขอบคุณ บริษัท บางจากไบโอฟูเอล จำกัด (BBF) ที่ให้การสนับสนุนและให้วัสดุดิบ น้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณชินกฤต ละดาตกและคุณอรุณโรจน์ สุกกระ ที่ให้การช่วยเหลือในการทำการทดลองบางส่วนจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้อภัย ให้คำปรึกษา แนะนำ และสั่งสอนตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 สารเคมี	12
3.2 การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	12
3.2.1 การทดลอง	12
3.2.2 การวิเคราะห์ผล	14
3.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs)	14
3.2.2.2 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value)	14
3.2.2.3 การสังเกตตะกอน	14
3.3 การคายซับของสเตอรอลกลูโคไซด์แบบกะ	14
3.3.1 การทดลอง	14
3.3.2 การวิเคราะห์ผล	15
3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการคายซับ	15
3.4 การฟื้นฟูตัวดูดซับ	16
3.4.1 การทดลอง	16
3.4.2 การวิเคราะห์ผล	16
3.4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการดูดซับ	16
3.4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการคายซับ	17

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของไบโอดีเซล	18
4.2 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R)	18
4.2.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	18
4.2.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ	27
4.2.3 การหาลำยผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs	33
4.3 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R)	34
4.3.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	34
4.3.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ	41
4.3.3 การหาลำยผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs	46
4.4 เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R)	48
4.4.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 การคายซั้บ SGs ออกจากตัวดูดซั้บแบบกะ	57
4.4.3 การหำร้อยละผลได้ซ้ของการดูดซั้บ คายซั้บ SGs	60
บทที่ 5 สรุปลผลการทดลอง	
สรุปลผลการทดลอง	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก ก.	67
ภาคผนวก ข.	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	4
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างของสเตอรอลกลูโคไซด์ และเอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์	5
รูปที่ 2.3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของเอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์ ในการผลิตไบโอดีเซล	6
รูปที่ 2.3.3	แสดงบริเวณที่ถ่ายโอมวลสารในหลอดชั้บแบบเบตนั้ง	7
รูปที่ 2.3.3.1	(a) แสดงรูปแบบการเปลี่นแปลงความเข้มข้นในการดูดชั้บภายในหลอดชั้บ แบบเบตนั้ง (b) กราฟเบรคทรูแสดงความเข้มข้นของสารถูกดูดชั้บที่ตำแหน่ง ทางออกของหลอดชั้บ	8
รูปที่ 3.2-1	แสดงชุดการทดลองการดูดชั้บสเตอรอลกลูโคไซด์แบบต่อเนื่อง	13
รูปที่ 4.2.1-1	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเบรคทรูการดูดชั้บ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดชั้บชนิด SB-R	20
รูปที่ 4.2.1-2	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่นแปลงค่าความเป็นกรด ของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดชั้บด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R	20
รูปที่ 4.2.1-3	การเปลี่นแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ที่ผ่านหลอดชั้บด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C	21
รูปที่ 4.2.1-4	การเปลี่นแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ที่ผ่านหลอดชั้บด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 65 °C	21
รูปที่ 4.2.1-5	การเปลี่นแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ที่ผ่านหลอดชั้บด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 70 °C	22
รูปที่ 4.2.1-6	ลักษณะของน้ำมันที่ผ่านการดูดชั้บด้วยหลอดชั้บ	22
รูปที่ 4.2.1-7	ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดชั้บ ด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C ขณะทำการทดลอง	24
รูปที่ 4.2.1-8	ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดชั้บ ด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 65 °C ขณะทำการทดลอง	25
รูปที่ 4.2.1-9	ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดชั้บ ด้วยตัวดูดชั้บชนิด SB-R อุณหภูมิ 70 °C ขณะทำการทดลอง	26
รูปที่ 4.2.2-1	ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดชั้บ ใน IPA ที่คายชั้บ ออกจากตัวดูดชั้บชนิด SB-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดชั้บต่างๆ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2.2-2	ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิต่างๆ	28
รูปที่ 4.2.2-3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	29
รูปที่ 4.2.2-4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	30
รูปที่ 4.2.2-5	แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	30
รูปที่ 4.2.2-6	แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	31
รูปที่ 4.2.2-7	แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	31
รูปที่ 4.2.2-8	แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	32
รูปที่ 4.2.3-1	ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ SB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 60,70 °C	33
รูปที่ 4.2.3-2	ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของตัวดูดซับ SB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 60,70 °C	34
รูปที่ 4.3.1-1	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเบรคทรูการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 4.3.1-2	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 4.3.1-3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C	37
รูปที่ 4.3.1-4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 65 °C	37
รูปที่ 4.3.1-5	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 70 °C	38
รูปที่ 4.3.1-6	ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C	39
รูปที่ 4.3.1-7	ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 65 °C	39

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3.1-8 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 70 °C	40
รูปที่ 4.3.2-1 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับต่างๆ	41
รูปที่ 4.3.2-2 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิต่างๆ	42
รูปที่ 4.3.2-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	43
รูปที่ 4.3.2-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	44
รูปที่ 4.3.2-5 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C	44
รูปที่ 4.3.2-6 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C	45
รูปที่ 4.3.2-7 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C	45
รูปที่ 4.3.3-1 ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ WB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 50-60 °C	46
รูปที่ 4.3.3-2 ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของตัวดูดซับ WB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 50-60 °C	47
รูปที่ 4.4.1-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเบรคทรูการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิต่างๆ	49
รูปที่ 4.4.1-2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิต่างๆ	49
รูปที่ 4.4.1-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 60 °C	50
รูปที่ 4.4.1-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C	51
รูปที่ 4.4.1-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 75 °C	51
รูปที่ 4.4.1-6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 80 °C	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าไปใช้บนระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ควรถูกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4.1-7 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 60 °C	53
รูปที่ 4.4.1-8 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C	54
รูปที่ 4.4.1-9 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 75 °C	55
รูปที่ 4.4.1-10 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 80 °C	56
รูปที่ 4.4.2-1 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับต่างๆ	58
รูปที่ 4.4.2-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	59
รูปที่ 4.4.2-3 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	59
รูปที่ 4.4.2-4 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	60
รูปที่ 4.4.3-1 ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ SA-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 70 °C	61
รูปที่ 4.4.3-2 ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของตัวดูดซับ SA-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 70 °C	61
รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์ SGs จากการดูดซับ	67
รูปที่ ข. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์ SGs จากการคายซับ	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล	4
ตารางที่ 3.2-1	แสดงสถานะที่ใช้ในการทดลองการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง	13
ตารางที่ 3.3-1	แสดงสถานะที่ใช้ในการทดลองการคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบกะ	15
ตารางที่ 3.3-2	สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับ	15
ตารางที่ 3.4-1	แสดงสถานะที่ใช้ในการทดลองการการหำย่อยละผลได้ของการดูดซับSGs และคายซับ ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุ	16
ตารางที่ 4.1-1	แสดงสมบัติของไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้	18
ตารางที่ 4.2-1	ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R	32
ตารางที่ 4.2-2	สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R	32
ตารางที่ 4.3-1	ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R	46
ตารางที่ 4.3-2	สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R	46
ตารางที่ 4.4-1	ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R	60
ตารางที่ 4.4-2	สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R	60
ตารางที่ ข.1.1-1	ปริมาณตัวดูดซับ SB-R ในแต่ละคอลัมน์	68
ตารางที่ ข.1.1-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R	68
ตารางที่ ข.1.2-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C	69
ตารางที่ ข.1.2-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	69
ตารางที่ ข.1.2-3	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	69
ตารางที่ ข.1.2-4	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 70 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.1.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับ SGs เพื่อนำตัวดูดซับชนิด SB-R ไปคายซับ	70
ตารางที่ ข.1.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซับ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SB-R	71
ตารางที่ ข.2.1-1 ปริมาณตัวดูดซับ WB-R ในแต่ละคอลัมน์	71
ตารางที่ ข.2.1-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด WB-R	71
ตารางที่ ข.2.2-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C	72
ตารางที่ ข.2.2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	72
ตารางที่ ข.2.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 50 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	73
ตารางที่ ข.2.2-4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	73
ตารางที่ ข.2.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับ SGs เพื่อนำตัวดูดซับชนิด WB-R ไปคายซับ	73
ตารางที่ ข.2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซับ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด WB-R	74
ตารางที่ ข.3.1-1 ปริมาณตัวดูดซับ SA-R ในแต่ละคอลัมน์	74
ตารางที่ ข.3.1-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R	74
ตารางที่ ข.3.2-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C	76
ตารางที่ ข.3.2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.3.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซ้บ SGs ออกจาก ตัวดูดซ้บชนิด SA-R อุณหภูมิ 70°C สั้ดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซ้บ เป็น 50:1	76
ตารางที่ ข.3.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซ้บ SGs เพื่อนำตัวดูดซ้บชนิด SA-R ไปคายซ้บ	77
ตารางที่ ข.3.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซ้บ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซ้บชนิด SA-R	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

AV	ความเป็นกรดของน้ำมัน	mg KOH/g
C_0	ความเข้มข้นเริ่มต้น	mg/kg
C_{KOH}	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	mol/L
$C_{SG,0}$	ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ในถังสารป้อน	mg/kg
$C_{SG,0(ad)}$	ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ก่อนทำการดูดซับ	mg/kg
$C_{SG,t}$	ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์ที่เวลาต่างๆ	mg/kg
$C_{SG,t(ad)}$	ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์หลังทำการดูดซับ	mg/kg
$C_{SG,t(de)}$	ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์หลังทำการคายซับ	mg/kg
q_{ad}	ปริมาณการดูดซับ	mg/g
q_{de}	ปริมาณการดูดคายซับ	mg/g
q_s	ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ยังเหลืออยู่ในตัวดูดซับ	mg/g
V_B	ปริมาตรของสารละลายแบลงค์	ml
V_{KOH}	ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	ml
W_{ad}	น้ำหนักของตัวดูดซับ	g
W_{solv}	น้ำหนักของตัวทำละลาย	g
W_{oil}	น้ำหนักของน้ำมันไปโอดีเซล	g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการเพิ่มพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานทางเลือกทดแทนการใช้ น้ำมันจากปิโตรเลียม โดยนำไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลยังคงถูกจำกัดอยู่ เนื่องจากมักพบตะกอนสีขาวเกิดขึ้นในไบโอดีเซล แม้ในไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมคุณภาพไบโอดีเซลตามประกาศของกระทรวงพลังงาน ตะกอนสีขาวอาจเกิดขึ้นได้เมื่อตั้งไบโอดีเซลทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะส่งผลเสียต่อระบบเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งาน[1]และสเตอรอลกลูโคไซด์เป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในไบโอดีเซล ตะกอนสีขาวจะเกิดขึ้น เมื่อไบโอดีเซลมีความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์มากกว่า 20ppm [2]

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สเตอรอลกลูโคไซด์เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้ลดลง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลวิธีการดูดซับถือเป็นทางเลือกหนึ่ง เพราะสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการตกตะกอนได้ [3] ขั้นตอนในการดำเนินงานไม่ยุ่งยาก และต้นทุนในการดำเนินงานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่เลือกใช้ สุทธิรัตน์ คำบุง[4] ศึกษาการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุที่มีสมบัติแตกต่างกัน 3 ชนิดคือ เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (strong base anion exchange resin; SB-R) เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอ่อน (weak base anion exchange resin; WB-R) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (strong acid cation exchange resin; SA-R) ทำการทดลองดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบกะที่อุณหภูมิ 65-75 °C พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับกับเรซิน SB-R และ WB-R แต่การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ SA-R สามารถดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ได้มากขึ้น และเรซินแลกเปลี่ยนประจุทั้งสองชนิดสามารถคายซับได้ด้วยตัวทำละลาย ไอโซโพรพานอล[4]

เมื่อนำมาออกแบบกระบวนการดูดซับแบบต่อเนื่องเพื่อใช้ลดสเตอรอลกลูโคไซด์ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน เพื่อให้กระบวนการดูดซับมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเรซินแลกเปลี่ยนประจุแต่ละชนิดและหากสามารถฟื้นฟูตัวดูดซับให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ก็จะเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาตัวดูดซับชนิดเรซินแลกเปลี่ยนประจุกรดการค้าทั้ง 3 ชนิดคือ SB-R, WB-R และ SA-R มาทำการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษา

ประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล และนำเรซินแลกเปลี่ยนประจุที่ผ่านการใช้งานมาคายซ้ำ SGs ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอลด้วยชุดทดลองแบบกะเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนระหว่างตัวทำละลายและเรซินที่ส่งผลต่อความสามารถในการคายซ้ำสเตอรอลกลูโคไซด์และสุดท้ายศึกษาร้อยละผลได้ (Y_{SG}) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งจะบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการนำเรซินแลกเปลี่ยนประจุกลับมาใช้งานอีกครั้ง

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเรซินแลกเปลี่ยนประจุไปใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องของเรซินแลกเปลี่ยนประจุแต่ละชนิด
- 1.2.2 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการคายซ้ำแบบกะของเรซินแลกเปลี่ยนประจุแต่ละชนิด
- 1.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ตัวดูดซับที่ใช้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ตัวดูดซับเรซินแลกเปลี่ยนประจุ 3 ชนิด ได้แก่เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R) เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก ชนิดกรดอย่างแรง (SA-R)
- 1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องของเรซินแลกเปลี่ยนประจุทั้งสามชนิด SB-R และ WB-R ทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 60 – 70 °C ส่วน SA-R ทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 60 – 80 °C ในหอดูดซับที่มีความสูง 13.5 เซนติเมตรเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
- 1.3.3 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการคายซ้ำแบบกะของเรซินแลกเปลี่ยนประจุทั้งสามชนิดที่ผ่านการดูดซับแบบต่อเนื่องที่สภาวะการดูดซับที่ดีที่สุดของแต่ละชนิดตัวดูดซับโดยตัวแปรที่ศึกษาคือ สัดส่วนระหว่างตัวทำละลายคือไอโซโพรพานอล(IPA) กับตัวดูดซับที่อัตราส่วน 50:1, 100:1, 200:1 และนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมมาศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการคายซ้ำที่ 40-70 °C
- 1.3.4 ศึกษาร้อยละผลได้(Y_{SG}) โดยการดูดซับแบบกะสัดส่วนของตัวดูดซับเป็น 2%wt ของน้ำมัน เรซินชนิด SB-R และ WB-R ทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 65 °C ส่วนเรซิน SA-R ทำการดูดซับที่ 75 °C ใช้เวลาในการดูดซับ 10 ชั่วโมง การคายซ้ำแบบกะใช้สัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างตัวทำละลายกับเรซินที่ 50:1 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับของ ตัวดูดซับชนิดSB-R คือ $60,70^{\circ}\text{C}$ WB-R คือ $50, 60^{\circ}\text{C}$ และ SA-R คือ 70°C ใช้เวลา ในการคายซับ 2 ชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเรซินแลกเปลี่ยนประจุสำหรับการลดปริมาณ สเตอรอลกลูโคไซด์ในอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล
- 1.4.2 ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อตัวดูดซับ



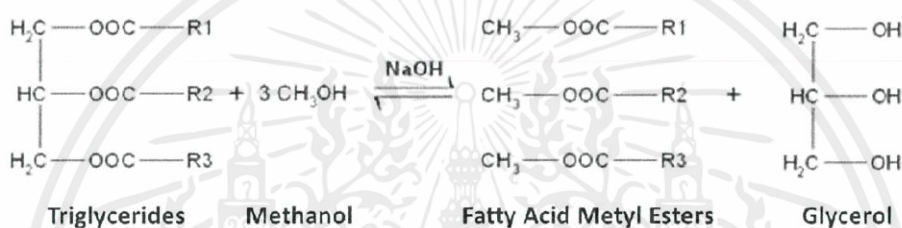
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel) [5]

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่มีคุณสมบัติการเผาไหม้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซลยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากการนำน้ำมันพืช หรือไขมัน มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) กับเมทานอล โดยมีโซดาไฟ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบพวก เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Esters, FAMES) กับผลพลอยได้คือกลีเซอรอล(Glycerol)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.1.1 คุณสมบัติของไบโอดีเซล (Characteristics of Biodiesel)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลพบว่า โมเลกุลของไบโอดีเซลจะมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 11% จึงช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้ลดมลพิษต่าง ๆ เป็นพลังงานสะอาดและไบโอดีเซลยังมีค่าเลขซีเทนสูง ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายและเดินเรียบ มีปริมาณกำมะถันน้อย นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด เนื่องจากไบโอดีเซลมีจุดเดือดสูงและมีจุดวาบไฟสูงถึง 120 °C ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าคือ 64 °C

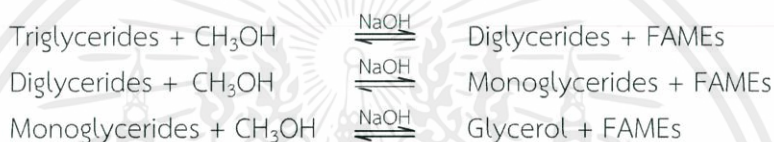
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติน้ำมัน	ดีเซล	ไบโอดีเซล	หน่วย
มาตรฐาน (Fuel Standard)	ASTM D975	ASTM D6751	
ค่าความร้อนต่ำ(Lower Heating Value)	129,050	118,170	Btu/gal
ความหนืดไคเนมาติกที่ 40 °C (Kinematic Viscosity at 40°C)	1.3-4.1	1.9-6.0	mm ² /s
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 60 °C (Specific Gravity at 60°C)	0.85	0.88	kg/l
ความหนาแน่น(Density)	7.079	7.328	lb/gal
คาร์บอน (Carbon)	87	77	wt.%

คุณสมบัติน้ำมัน	ดีเซล	ไบโอดีเซล	หน่วย
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	13	12	wt. %
ออกซิเจน (Oxygen)	0	11	
ซัลเฟอร์ (Sulfur)	0.0015	0.0 ถึง 0.0024	wt. %
จุดเดือด (Boiling Point)	180 ถึง 340	315 ถึง 350	°C
จุดวาบไฟ (Flash Point)	60 ถึง 80	130 ถึง 170	°C
จุดขุ่น (Cloud Point)	-15 ถึง -5	-3 ถึง 12	°C
จุดไหลเท (Pour Point)	-35 ถึง -15	-15 ถึง 10	°C
เลขซีเทน (Cetane Number)	40 ถึง 55	47 ถึง 65	

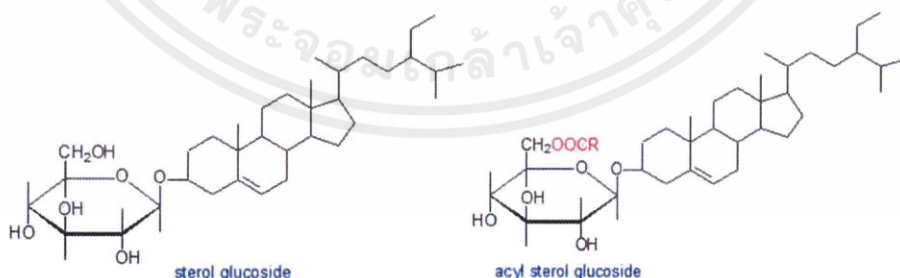
2.1.2 สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล (Contaminant Components)

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างเมทานอลกับไตรกลีเซอไรด์ จะประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ ดังนี้



โดยปกติในไบโอดีเซลจะประกอบด้วย เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ สเตอรอลกลูโคไซด์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้คือสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล จากประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 [6] หากสิ่งเจือปนเกินมาตรฐานก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของไบโอดีเซลลดลง แต่ประกาศกรมธุรกิจพลังงานดังกล่าวไม่ได้ระบุปริมาณขั้นต่ำของสเตอรอลกลูโคไซด์ ซึ่งสเตอรอลกลูโคไซด์อาจส่งผลให้เกิดการตกตะกอนสีขาวขุ่นในไบโอดีเซล

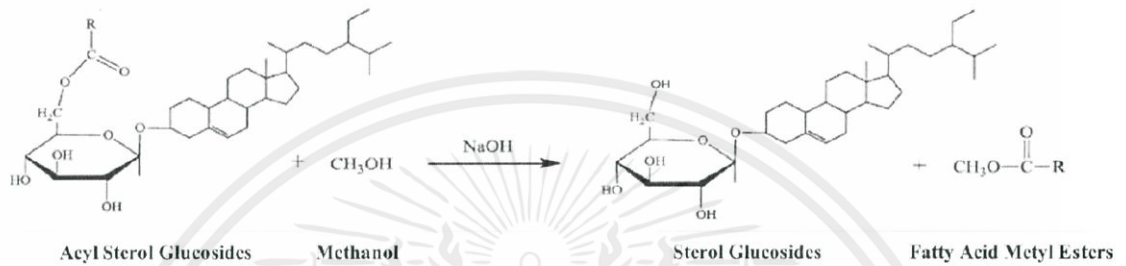
2.2 สเตอรอลกลูโคไซด์ (Sterol Glucosides, SGs) [1]



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสเตอรอลกลูโคไซด์ และเอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสเตอรอลกลูโคไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างสเตอรอลอิสระกับกลูโคสสามารถเกิดขึ้นได้เองในน้ำมันพืช และไขมัน โดยจะปรากฏในรูปของเอซิลสเตอรอลไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลูโคไซด์ (Acyl Sterol Glucosides, ASGs) ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วสามารถละลายได้ในไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วเหมือนกันรูปที่ 2.3 แสดงถึงการนำน้ำมันพืชหรือไขมันทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล เอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์จะเปลี่ยนรูปเป็นสเตอรอลกลูโคไซด์ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นขั้วเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิต่ำลงความสามารถในการละลายของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลก็ลดลงด้วยซึ่งก่อให้เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนสีขาวขุ่น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของตัวกรองของเครื่องยนต์เมื่อสเตอรอลกลูโคไซด์ตกตะกอนแล้วจะไม่สามารถละลายกลับในไบโอดีเซลได้เนื่องจากจุดหลอมเหลวที่สูงถึง 240°C และสเตอรอลกลูโคไซด์สามารถละลายได้อย่างจำกัดในตัวทำละลายอินทรีย์



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์ในการผลิตไบโอดีเซล

2.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการแยกสารชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในเฟสของของแข็ง และเฟสของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ในเฟสของไหลจะถูกดึงดูดเข้ามาติดที่ผิวของ ตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งเป็นของแข็ง [7]

2.3.1 ประเภทของการดูดซับ[8]

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) เกิดในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำๆ มีการคายความร้อนออกมาค่อนข้างน้อย การย้อนกลับของการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย และสารที่ถูกดูดซับยังสามารถเกาะอยู่ที่บริเวณรอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับและจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดจากตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดพันธะของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ การดูดซับประเภทนี้เป็นการดูดซับที่แข็งแรง เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง เกิดพลังงานจากการดูดความร้อนสูง การย้อนกลับเกิดขึ้นได้ยาก จึงเกิดการดูดซับของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพียงแค่ชั้นเดียว (monolayer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเกิดการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากเฟสของของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) มายังเฟสของของแข็ง โดยการเคลื่อนย้ายสารที่เกิดขึ้นของสารถูกดูดซับเกิดขึ้น 3 ขั้นตอนดังนี้

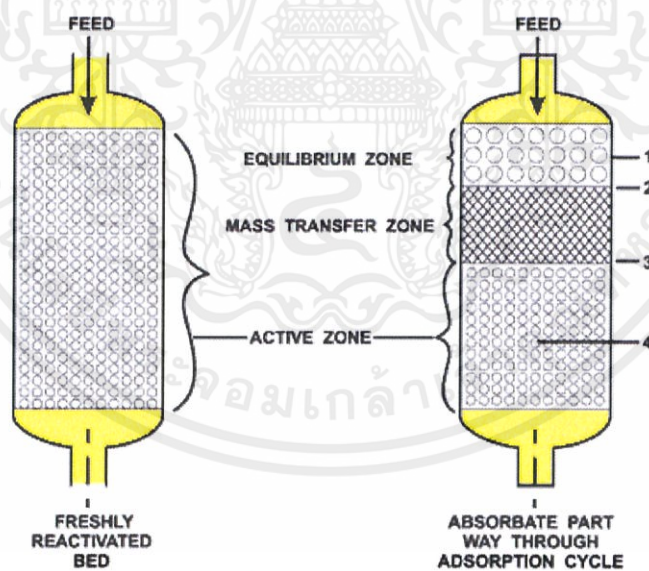
1) การแพร่ภายนอก(external diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

2) การแพร่ภายใน (intraparticle diffusion หรือ pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่กระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

3) การดูดซับ (adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดของตัวถูกดูดซับบนผิวในรูพรุนของพื้นผิวตัวดูดซับการเกาะติดในระยะนี้อาจเกิดการเกาะติดด้วยแรงทางกายภาพ หรือแรงทางเคมีหรือเกิดขึ้นทั้งสองชนิดพร้อมกัน

2.3.3 พลศาสตร์ของการดูดซับ [7]

การทำงานของกระบวนการดูดซับที่ใช้กันทั่วไปในขบวนการต่างๆ มักเป็นระบบที่ของไหลถูกป้อนผ่านชั้นของตัวดูดซับซึ่งอยู่กันอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาของไหลที่มีตัวถูกดูดซับปนอยู่กำลังไหลผ่านหอดูดซับจากด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 2.3.3-1 พบว่าตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้บริเวณทางเข้าตอนบน เมื่อตัวดูดซับในบริเวณนี้เกิดการอิ่มตัวการดูดซับจะเกิดในบริเวณถัดลงมา โดยสรุปแล้วขณะที่การดูดซับดำเนินอยู่จะแบ่งหอดูดซับออกได้เป็นสามบริเวณใหญ่ๆ ได้แก่ บริเวณสมดุลพลศาสตร์ (Equilibrium Zone, 1) บริเวณถ่ายเทมวล (Mass Transfer Zone, 2-3) และบริเวณที่ไม่มีการดูดซับ (Active Zone, 3-4)



รูปที่ 2.3.3 แสดงบริเวณที่ถ่ายโอนมวลสารในหอดูดซับแบบเบตนิ่ง

(ที่มา: <http://www.lectrodryer.com/purification-process/c238r>)

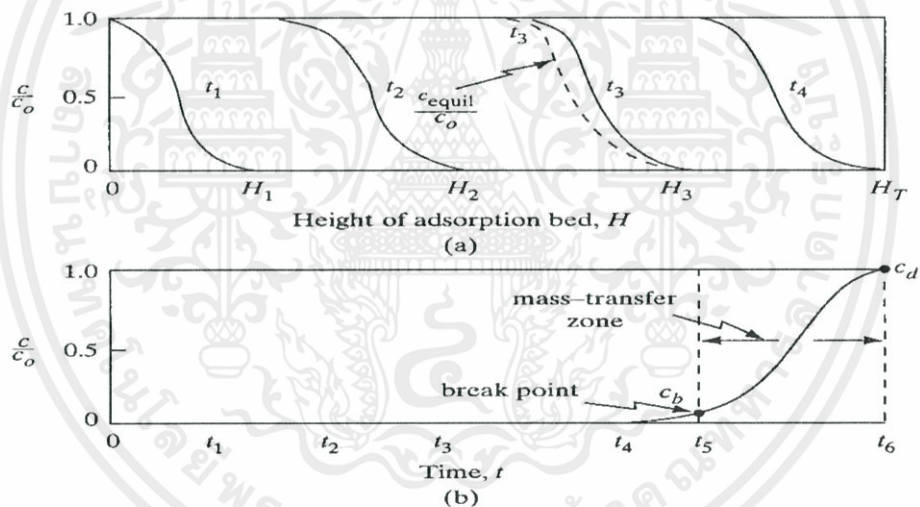
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นภายในหอดูดซับ (Concentration profile) และกราฟเบรคทรู(Breakthrough curve)

ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของไหล และในหอดูดซับจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา และตำแหน่งที่เคลื่อนที่ในเบตหนึ่ง ดังรูปที่ 2.3.3.1-1 (a) ที่จุดเริ่มต้นที่ของไหลสัมผัสกับเบตถือว่ายังไม่มี การดูดซับเกิดขึ้น แต่เมื่อของไหลผ่านเข้ามาได้ระยะหนึ่งจะเกิดการถ่ายโอนมวล และการดูดซับ ซึ่ง ความเข้มข้นในของไหลจะลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะทางภายในเบต และความเข้มข้นจะลดลงเหลือ ศูนย์ก่อนที่จะถึงจุดสูงสุดของเบต ลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปของความเข้มข้นเริ่มต้นที่เวลา t_1 และให้ สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นในของไหล ณ จุดใดๆ บนเบต ต่อความเข้มข้นในสายป้อนเป็น C/C_0

เมื่อเวลาผ่านไปหอดูดซับที่ใกล้ปากทางเข้าห่อใกล้จะอิ่มตัว การถ่ายโอนมวลและการดูดซับจะ ย้ายเข้าไปในเบตชั้นถัดไป จนกระทั่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ปากทางออกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเท่ากับความเข้มข้นที่ขาเข้า ณ จุดนี้หอดูดซับจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว

รูปที่ 2.3.3.1-1(b) กราฟเบรคทรูแสดงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ตำแหน่งทางออกของ หอดูดซับโดยพลอตค่า C/C_0 เทียบกับเวลา t เมื่อ C คือค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสายออก C_0 คือความเข้มข้นในสายป้อนที่จุด C มีค่า C/C_0 เท่ากับ 1 เป็นจุดที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน สายออกเท่ากับในสายป้อนซึ่งแสดงถึงหอดูดซับเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว ระยะการถ่ายโอนมวล (Mass transfer zone) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณออกแบบหอดูดซับ



รูปที่ 2.3.3.1 (a) แสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในการดูดซับภายในหอดูดซับแบบ เบตหนึ่ง (b) กราฟเบรคทรูแสดงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ตำแหน่งทางออก ของหอดูดซับ

2.3.4 การประเมินประสิทธิภาพของการดูดซับ [9]

1) ร้อยละการลดลงของตัวถูกละลาย (percentage of reduction; %reduction)

สมการร้อยละการลดลงเป็นสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารที่ลดลงที่เวลาใดๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นคำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

$$\% \text{reduction} = \frac{C_{SG,0(ad)} - C_{SG,t(ad)}}{C_{SG,0(ad)}} \times 100\% \quad (2-1)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ C_{SG,0(ad)} จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้

2) ปริมาณการดูดซับ (adsorption amount)

สมการปริมาณการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับคำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

$$q_{ad} = \frac{W_{oil}(C_{SG,0(ad)} - C_{SG,t(ad)})}{W_{ad}} \quad (2-2)$$

2.4 การคายซับ (Desorption)

การคายซับเป็นกระบวนการย้อนกลับของการดูดซับ โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่สะสมอยู่ตามรูพรุน และพื้นผิวของตัวดูดซับก็จะคายออก เกิดการเคลื่อนย้ายสารจากเฟสของของแข็ง มายังเฟสของของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส)

เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาการคายความร้อน [10] หากกระบวนการสมดุลด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ ก็จะทำให้สมดุลเลื่อนย้อนกลับมาทางสารตั้งต้นมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการทดลองการคายซับ ควรทำที่อุณหภูมิสูง ก็จะทำให้ตัวถูกดูดซับแยกออกจากตัวดูดซับได้มากขึ้น

ตัวดูดซับ ถือว่าเป็นต้นทุนราคาสูง หากสามารถนำตัวดูดซับมาทำการคืนตัว (Regeneration) ได้ ก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ซึ่งกระบวนการคืนตัวของตัวดูดซับจะคุ้มค่าหากเลือกวิธีการที่เหมาะสม เช่น เลือกใช้การคายซับด้วยตัวทำละลาย แทนที่จะใช้การคายซับด้วยอุณหภูมิ เนื่องจากสามารถทดลองได้ที่อุณหภูมิต่ำ ประหยัดต้นทุนในการทดลอง [11]

2.4.1 การประเมินประสิทธิภาพของการคายซับ

1) ปริมาณการคายซับ (desorption amount)

คือปริมาณตัวถูกดูดซับที่คายซับออกมาอยู่ในตัวทำละลาย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-3)

$$q_{de} = \frac{W_{solv}C_{SG,t(de)}}{W_{ad}} \quad (2-3)$$

2) ปริมาณตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่

คือปริมาณตัวถูกดูดซับที่ยังเหลืออยู่ในรูพรุน และพื้นผิวของตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-4)

$$q_s = q_{ad} - q_{de} \quad (2-4)$$

3) ร้อยละการคายซับ (percentage of desorption; %desorption)

คือปริมาณของตัวถูกดูดซับในพื้นผิว และรูพรุนของตัวดูดซับที่ลดลงคิดเป็นร้อยละสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$\%desorption = \frac{q_{de}}{q_{ad}} \times 100\% \quad (2-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ร้อยละผลได้ (percentage of yield; Y_{SG})

คือปริมาณของตัวถูกดูดซับที่คายซับออกมาในตัวทำละลายต่อปริมาณตัวถูกดูดซับในน้ำมันที่ใช้ในการดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$\%yield = \frac{W_{solv} C_{SG,t(de)}}{W_{oil} C_{SG,0(ad)}} \times 100\% \quad (2-6)$$

2.4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์การคายซับ

เมื่อนำข้อมูลการคายซับที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ของการคายซับ โดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และแบบจำลอง pseudo second order โดยใช้สมมติฐาน คือ ในการคายซับ SGs ออกจากเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น ไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือไม่เกิดการดูดซับนั่นเอง

1) แบบจำลอง pseudo first order

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่นิยมใช้กัน

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (2-7)$$

อินทิเกรตสมการ (2-7) โดยขอบเขต $t=0$ ถึง $t=t$ และ $q_t=0$ ถึง $q_t=q_t$

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)} = k_1 \int_0^t dt \quad (2-8)$$

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2-9)$$

2) แบบจำลอง pseudo second order

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2-10)$$

อินทิเกรตสมการ (2-10) โดยขอบเขต $t=0$ ถึง $t=t$ และ $q_t=0$ ถึง $q_t=q_t$

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)^2} = k_2 \int_0^t dt \quad (2-11)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lee และคณะ [1] รายงานว่า ในปี ค.ศ.2007 บริษัท อาร์เซอร์แดเนียมิดแลนด์ จำกัด (Archer Daniels Midland Co., ADM) ได้พบการปรากฏของสเตอรอลกลูโคไซด์ในตัวอย่างไบโอดีเซล ซึ่งสเตอรอลกลูโคไซด์ส่งผลต่อความสามารถในการกรองของไบโอดีเซล อาจทำให้เกิดการอุดตัน (filter plugging) ในเครื่องยนต์ได้อุ่นหมุมเหนือจุดหมอก หรือที่อุณหภูมิต่ำๆ นั้นเอง

Tang และคณะ [3] ได้ศึกษาการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยเปรียบเทียบผลจาก 4 วิธีการ คือ การกรองที่อุณหภูมิต่ำ (coal soak filtration) การดูดซับ การเหวี่ยงแยกสาร (centrifugation) และการกลั่นที่สุญญากาศ (vacuum distillation) พบว่าทั้ง 4 วิธีสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ลงจนไม่ทำให้เกิดปัญหาการตกตะกอนของสเตอรอลกลูโคไซด์ขึ้น และพบว่าวิธีการกลั่นที่สุญญากาศสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลได้มากที่สุด

สุทธิรัตน์ [4] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุไอออนเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R) เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R) พบว่าช่วงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ด้วย เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงอยู่ในช่วง 65-75 °C โดยอุณหภูมิที่ดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ได้ดีที่สุดคือ 75 °C และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ แต่อุณหภูมิที่สามารถดูดซับได้ดีที่สุดของ SB-R และ WB-R คือ 70 °C ในส่วนการของเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงไม่สามารถคายซับได้ด้วยตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด คือ เมทานอล เอทานอลอะซิโตน ไอโซโพรพานอล และไอโซโพรพานอลผสมกับเฮกเซนและเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดสามารถคายซับได้ด้วยไอโซโพรพานอลและพบว่าตัวดูดซับชนิด SA-R ที่ช่วงอุณหภูมิ 65-75 °C และตัวดูดซับชนิด SB-R, WB-R ที่อุณหภูมิ 65-70 °C มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นตามสมการ $q_e = KC_e$ และสอดคล้องกับแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแบบ pseudo-second-order

Pfalzgraf และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสิ่งเจือปนที่ส่งผลต่อจุดหมอก และความสามารถในการกรอง โดยศึกษาผลของ 4 สิ่งเจือปนในไบโอดีเซลซึ่งได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ สเตอรอลกลูโคไซด์ สบู่ และน้ำ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่มากกว่า 6,000 mg/kg ส่งผลให้จุดหมอกสูงขึ้น และหากมีสบู่ กับน้ำเจือปนอยู่กับโมโนกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณ 4,000 - 5,000 mg/kg ก็สามารถส่งผลให้จุดหมอกสูงขึ้น แต่สเตอรอลกลูโคไซด์ไม่มีผลต่อการเพิ่มของจุดหมอก

รัตนาร และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ไม่มากนัก โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์คือ 65 °C และพบว่าโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ต้องการหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการใช้ตัวดูดซับเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เพื่อลดสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล และศึกษาการคายซับของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำเรซินกลับมาใช้งานอีกครั้ง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ (2) การคายซับ SGs แบบกะออกจากตัวดูดซับเรซินแลกเปลี่ยนประจุที่ผ่านการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบต่อเนื่องและ (3) การหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ และคายซับ จากตัวดูดซับชนิดเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

3.1 สารเคมี

ไบโอดีเซล

- B100 เกรดการค้า เป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม มีสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAMES) ร้อยละ 96.5 โดยมวล

ตัวทำละลาย

- ไอโซโพรพานอล(Isopropanol, IPA)

ตัวดูดซับ

- เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (strong base anion exchange resin; SB-R)
- เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน(weak base anion exchange resin; WB-R)
- เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (strong acid cation exchange resin; SA-R)

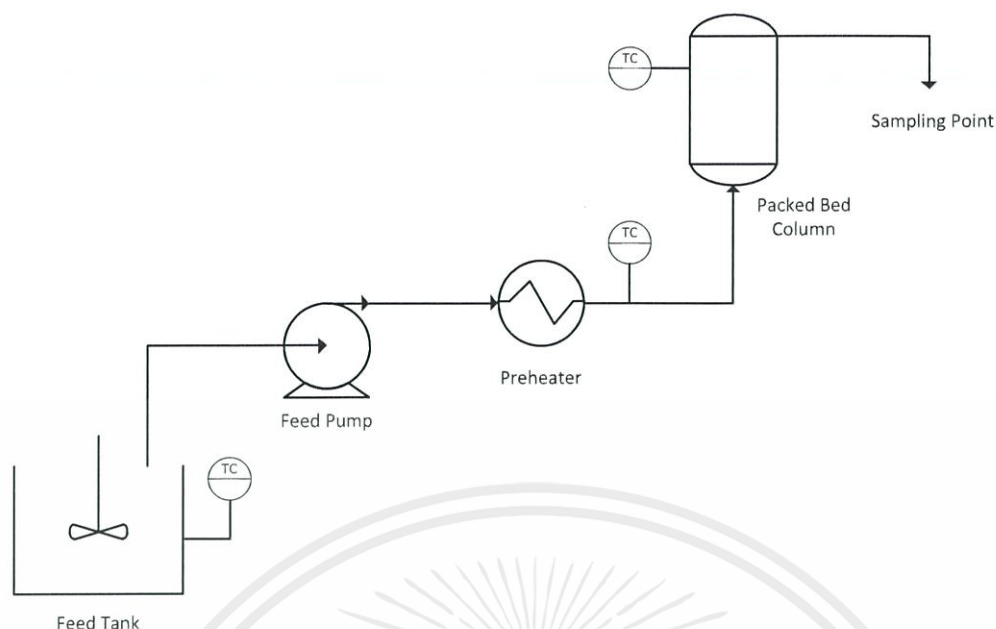
3.2 การดูดซับSGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

3.2.1 การทดลอง

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปต
2. ชุดการทดลองการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.2-1
3. Gas Chromatography – Flame Ionized Detection (GC-FID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2-1 แสดงชุดการทดลองการดูดซับสเตอร์รอลกลูโคไซด์แบบต่อเนื่อง

วิธีการทดลอง

ในการทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่อง จะทำการป้อนน้ำมันไบโอดีเซลเข้าสู่หอดูดซับที่ด้านล่างของหอ ซึ่งความสูงจากฐานถึงปากทางออกของหอดูดซับเท่ากับ 13.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร แพคเกจสูง 7 เซนติเมตร หลังจากการดูดซับน้ำมันจะออกมาทางด้านบนของหอ ดังรูปที่ 3.2-1 และสถานะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่อง เป็นดังตารางที่ 3.2-1

ตารางที่ 3.2-1 แสดงสถานะที่ใช้ในการทดลองการดูดซับสเตอร์รอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

สถานะในการดำเนินงาน	ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนประจุ		
	SB-R	WB-R	SA-R
ความเข้มข้นของ SGs ในสารป้อน (mg/kg)	108	108	165
อัตราการไหล (ml/h)	750	750	1,000
Space Time (min)	9.7	9.7	6.7
เวลาในการทดลอง (h)	60	60	35
อุณหภูมิคอลัมน์ (°C)	60	60	60
	65	65	70
	70	70	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป 80 ระบุชื่อผู้ดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การวิเคราะห์ผล

3.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs)

เก็บตัวอย่างไบโอดีเซล 0.1 กรัมจากถังสารป้อน และจากจุดเก็บตัวอย่างของหอดูดซับ มาวิเคราะห์ผลด้วย GC-FID ก็จะทราบค่าความเข้มข้นของ SGs ในถังสารป้อน ($C_{SG,0}$) และที่เวลาต่างๆ ($C_{SG,t}$)

3.2.2.2 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value) [14]

อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM D974-11 โดยนำตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมตัวทำละลาย (Titration Solvent) 50 มิลลิลิตรฟีนอล์ฟทาลีน จำนวน 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปไตเตรตกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สามารถคำนวณค่าความเป็นกรดของตัวอย่างน้ำมันได้จากสมการที่ (3-1)

$$AV = \frac{(V_{KOH} - V_B) \times C_{KOH} \times 56.1}{W_{oil}} \quad (3-1)$$

3.2.2.3 การสังเกตตะกอน

เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับจากคอลัมน์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุใส่ลงในขวด 450 มิลลิลิตร สังเกตการตกตะกอนของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วยตาเปล่าในช่วงเวลาที่ทำ การทดลองดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบต่อเนื่อง และสังเกตการตกตะกอนหลังช่วงเวลาที่ทำ การทดลอง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงความขุ่น ความใสของไบโอดีเซล

3.3 การคายซับของ SGs แบบกะ

3.3.1 การทดลอง

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปต
2. เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator)
3. เครื่องระเหยสาร (Rotary Vacuum Evaporator)
4. Gas Chromatography – Flame Ionized Detection (GC-FID)

วิธีการศึกษา

ขั้นที่ 1 ศึกษาปัจจัยการคายซับของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับ ($W_{solvent} \cdot W_{adsorbent}$) ที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 2 ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลต่อการคายซับจากสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 3 ศึกษาอัตราการคายซับจากสภาวะในการคายซับที่เหมาะสมที่สุดซึ่งได้จากการทดลองขั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และ 2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

ในการทดลองการคายซับนั้นจะนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับแบบต่อเนื่องอนุกรมที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ โดยนำไปคายซับกับไอโซโพรพานอล ในเครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ เพื่อศึกษาอิทธิพลต่างๆ ดังตารางที่ 3.3-1 ซึ่งในการทดลองสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ใช้เป็นดังตารางที่ 3.3-2

ตารางที่ 3.3-1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองการคายซับสเตอรอลกลูโคไซด์แบบกะ

สภาวะในการดำเนินงาน	การศึกษาปัจจัยในการคายซับ		
	$W_{\text{solvent}}:W_{\text{adsorbent}}$	อุณหภูมิ	อัตราการคายซับ
สัดส่วน $W_{\text{solvent}}:W_{\text{adsorbent}}$	50:1 100:1 200:1	50	50:1
อุณหภูมิ (°C)	SB-R : 50 WB-R : 50 SA-R : 70	40 50 60 70	SB-R : 60, 70 WB-R : 50, 60 SA-R : 70
ความเร็วรอบ (rpm)	230	230	230
เวลาในการคายซับ (h)	2	2	4

ตารางที่ 3.3-2 สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับ

สัดส่วน $W_{\text{solvent}}:W_{\text{adsorbent}}$	W_{solvent} (g)	$W_{\text{adsorbent}}$ (g)
1:50	24	0.48
1:100	24	0.24
1:200	24	0.12

3.3.2 การวิเคราะห์ผล

3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการคายซับ

แยกตัวดูดซับ และตัวทำละลาย IPA ที่ผ่านการคายซับออกจากกัน จากนั้นนำตัวทำละลายดังกล่าว มาระเหย IPA ออกด้วยเครื่องระเหยสารจะเหลือ SGs ติดอยู่ที่ก้นขวด จากนั้นเติม Pyridine เพื่อละลาย SGs แล้วนำตัวอย่างสารละลาย Pyridine มาวิเคราะห์ผลด้วย GC-FID เราจะทราบปริมาณความเข้มข้นของ SGs ในตัวทำละลาย IPA ($C_{\text{SG,t (de)}}$) จากนั้นเราจะสามารถคำนวณหาปริมาณ SGs ที่คายซับออกมาในตัวทำละลายต่อปริมาณตัวดูดซับ (q_{de}) ได้จากสมการที่ (2-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ และคายซับ SGs

3.4.1 การทดลอง

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปต
2. เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator)
3. เครื่องระเหยสาร (Rotary Vacuum Evaporator)
4. Gas Chromatography – Flame Ionized Detection (GC-FID)

วิธีการทดลอง

นำตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดมาทำการดูดซับแบบกะที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด [4] จากนั้นนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับแบบกะมาทำการคายซับด้วยไอโซโพรพานอลที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดดัง ตารางที่ 3.4-1

ตารางที่ 3.4-1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองการการหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ และคายซับ SGs ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

สภาวะในการดำเนินงาน	การหาร้อยละผลได้	
	การดูดซับ	การคายซับ
ความเข้มข้นของ SGs ที่เวลาเริ่มต้น (mg/kg)	142	-
ปริมาณ B100 (g)	15	-
ปริมาณตัวดูดซับ (%wt)	2	-
สัดส่วน $W_{\text{solvent}}:W_{\text{adsorbent}}$ (g:g)	-	50:1*
อุณหภูมิ (°C)	SB-R : 65 WB-R : 65 SA-R : 75	SB-R : 60,70 WB-R : 50,60 SA-R : 70
ความเร็วรอบ (rpm)	230	230
เวลาในการทดลอง (h)	10	2

*หมายเหตุ: สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับ 1:50 คือตัวทำละลาย 12 กรัม ต่อตัวดูดซับ 0.24 กรัม

3.4.2 การวิเคราะห์ผล

3.4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการดูดซับ

เก็บตัวอย่างไบโอดีเซล 0.1 g ที่ผ่านการดูดซับมาวิเคราะห์ผลด้วย GC-FID เราจะทราบปริมาณความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลทั้งก่อน ($C_{SG,0(ad)}$) และหลังการดูดซับ ($C_{SG,t(ad)}$) ทำให้สามารถคำนวณหาการร้อยละการลดลง และปริมาณการดูดซับได้จากสมการที่ (2-1) และสมการที่ (2-2) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) จากการคายซึบ

การวิเคราะห์ผลเหมือนวิธีการในข้อ 3.1.2.1 และสามารถนำข้อมูลจากการดูดซึบและการคายซึบมาหาปริมาณการคายซึบ ปริมาณตัวถูกดูดซึบที่เหลืออยู่ในตัวดูดซึบ (q_s) ร้อยละการคายซึบ (%reduction) และร้อยละผลได้ของ SGs (Y_{SG}) ได้จากสมการที่ (2-3) ถึงสมการที่ (2-6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ซึ่งได้แก่ (1) สมบัติของไบโอดีเซล (2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R) (3) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R) (4) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R)

4.1 สมบัติของไบโอดีเซล

เมื่อนำไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไปทำปริมาณวิเคราะห์ด้วย GC-FID พบว่าในตัวอย่างไบโอดีเซลนั้นจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก คือ FAMEs (Fatty Acid Methyl Ester) และสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น สารประกอบของกลีเซอรไรด์และสเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) ซึ่งผลการทำปริมาณวิเคราะห์ปริมาณ SGs ได้ผลดังตารางที่ 4.1-1

ตารางที่ 4.1-1 แสดงสมบัติของไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

การดำเนินการ	การดูดซับแบบต่อเนื่อง			การดูดซับเพื่อหาร้อยละผลได้
	SB-R	WB-R	SA-R	
ความเข้มข้นของ SGs เริ่มต้น (mg/kg)	108	108	165	142

4.2 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R)

4.2.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของหอดูดซับการทดลองการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C เป็นเวลา 60 ชั่วโมง อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 750 ml/h space time เท่ากับ 9.7 นาที ความเข้มข้นของ SGs ในสารป้อนเป็น 108 mg/kg และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ SGs ที่เวลาต่างๆ ก็สามารถพลอตกราฟเบรคทรู ($C_{SG,t}/C_{SG,0}$ กับ เวลา) ของการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลแสดงตามรูปที่ 4.2.1-1

จากรูปที่ 4.2.1-1 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C สามารถดูดซับปริมาณ SGs ซึ่งได้ลดลงประมาณ 75% จากนั้นประสิทธิภาพของหอดูดซับงานการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการดูดซับ SGs จะค่อยๆ ลดลง การดูดซับของหอดูดซับที่อุณหภูมิทั้ง 3 ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกัน และหอดูดซับสามารถดูดซับ SGs ได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60 °C และจาก

เมื่อนำตัวอย่างไบโอดีเซลไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ซึ่งตามมาตรฐานไบโอดีเซลเกรดการค้าต้องมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 0.5 mg KOH/g ผลการวิเคราะห์พบว่า สารป้อนมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.241 mg KOH/g ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน และเมื่อนำค่าความเป็นกรดของตัวอย่างไบโอดีเซลที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับ ของหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C ไปพลอตกราฟเปรียบเทียบกัน ได้ผลแสดงตามรูปที่ 4.2.1-2

จากรูปที่ 4.2.1-2 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่าทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ตัวอย่างไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ นั้นมีค่าความเป็นกรดต่ำมาก ต่ำกว่าค่าความเป็นกรดในสารป้อน และค่าความเป็นกรดในน้ำมันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่ที่เวลา 45 ชั่วโมง และค่าความเป็นกรดมีค่าใกล้เคียงกับสารป้อนซึ่งไม่เกินมาตรฐาน จากสมมติฐานของผู้ทำงานวิจัย อาจมีความเป็นไปได้ว่า เกิดกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ OH^- ซึ่งเป็นเบส กับ SGs ในน้ำมันไบโอดีเซลดังสมการที่ (4.1)

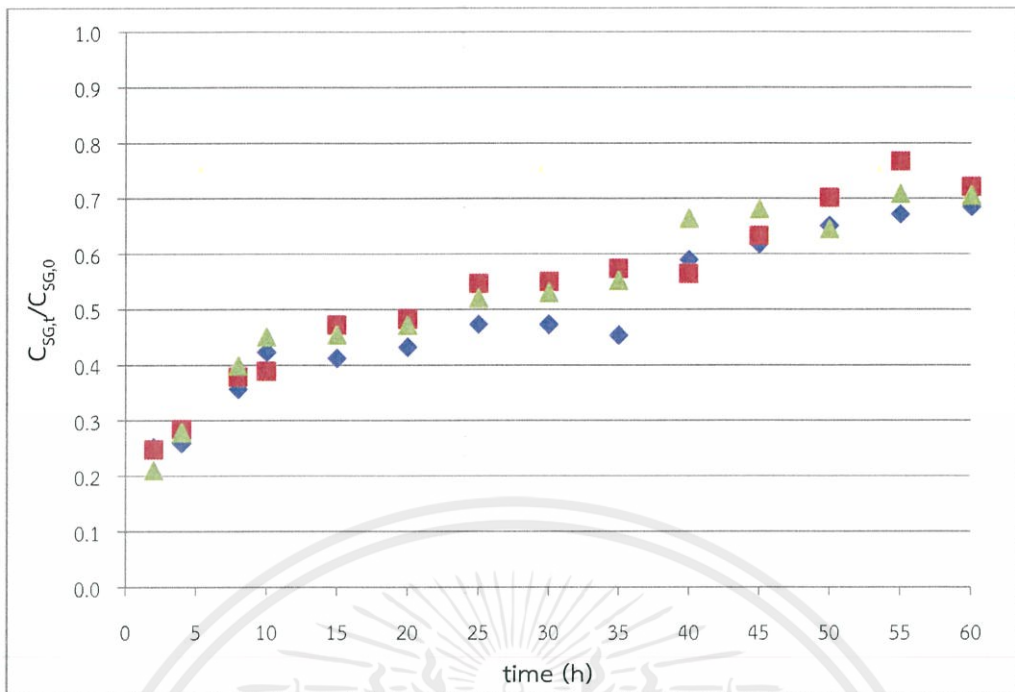


ในช่วงแรกของการดูดซับตัวดูดซับจะดูดซับ SGs ได้ดีมากดังนั้น การแลกเปลี่ยนประจุ OH^- กับ SGs จึงค่อนข้างดีมาก น้ำมันไบโอดีเซลจึงมีความเป็นเบสสูง ค่าความเป็นกรดจึงมีค่าน้อย และจากกราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของการหอดูดซับทั้ง 3 อุณหภูมินั้น จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดของแต่ละอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่เกินมาตรฐาน

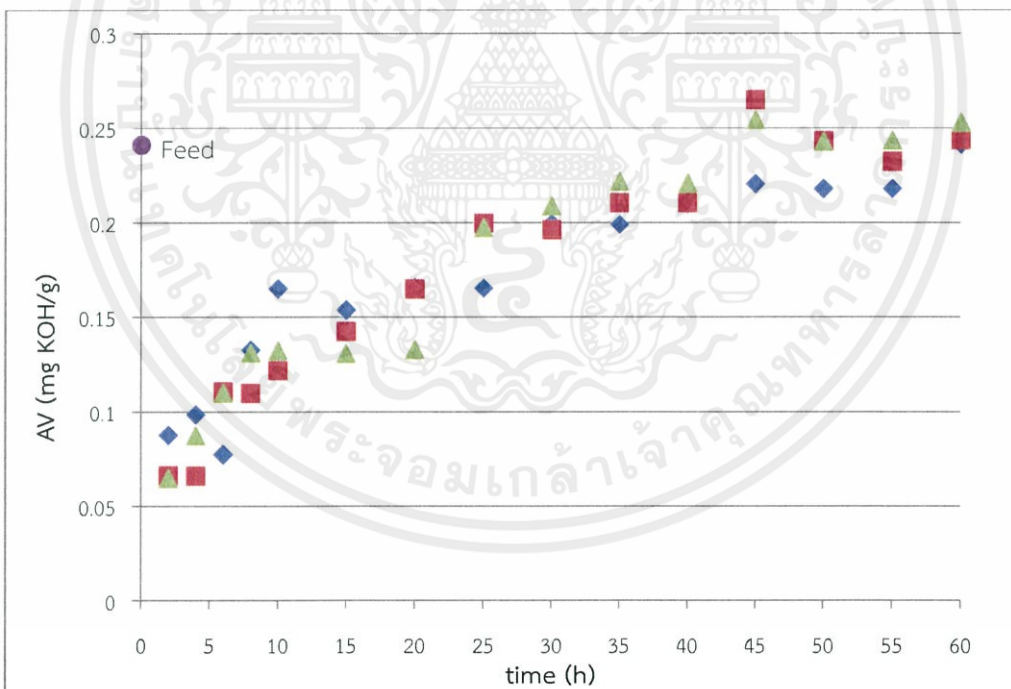
เมื่อพลอตกราฟเทียบกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรด ของแต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง แสดงผลดังรูปที่ 4.2.1-3 ถึงรูปที่ 4.2.1-5

จากรูปที่ 4.2.1-3 ถึงรูปที่ 4.2.1-5 แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่เกิดการดูดซับได้ดี ก็จะมีการแลกเปลี่ยนประจุ OH^- กับ SGs ได้ดีเช่นกัน ไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับจากหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R จึงมีค่าความเป็นกรดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

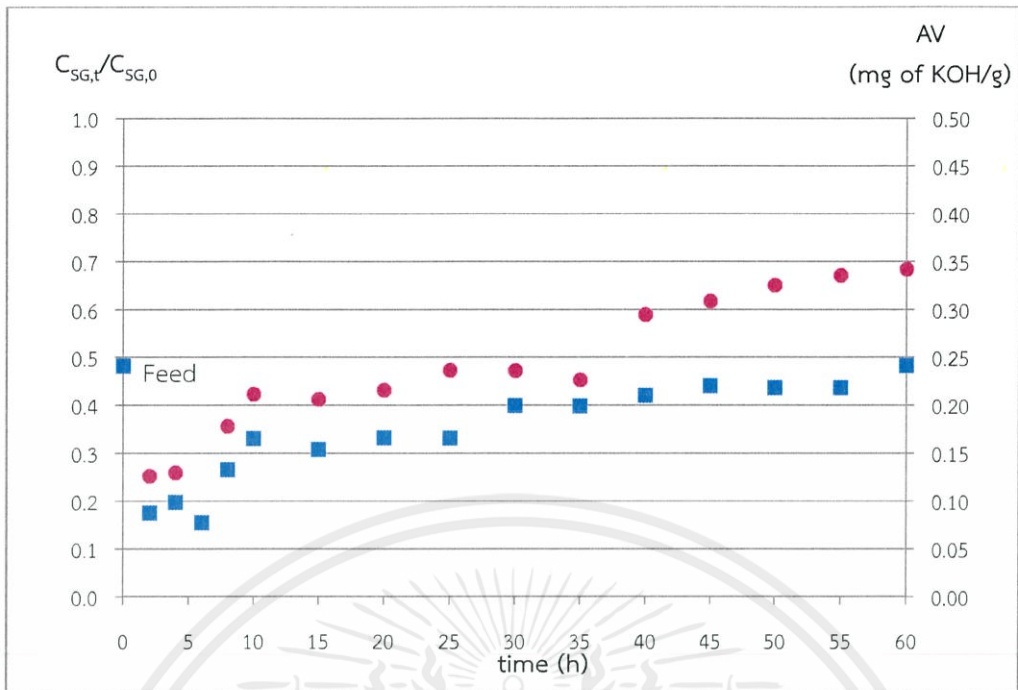


รูปที่ 4.2.1-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเบรคทรูการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ (◆) 60 °C (■) 65 °C (▲) 70 °C

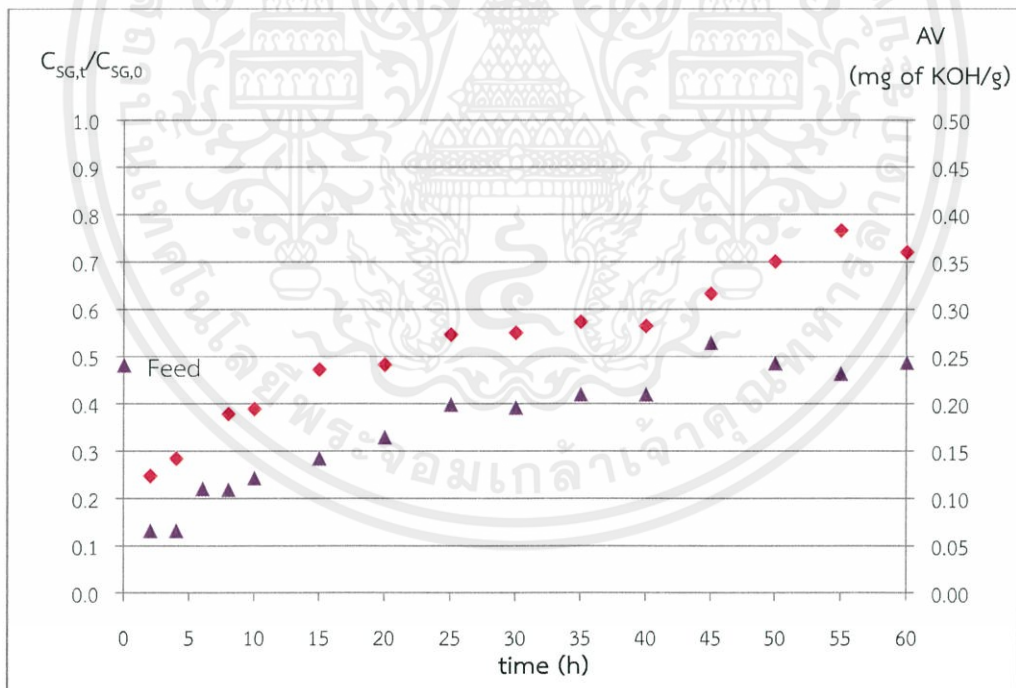


รูปที่ 4.2.1-2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ (◆) 60 °C (■) 65 °C (▲) 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

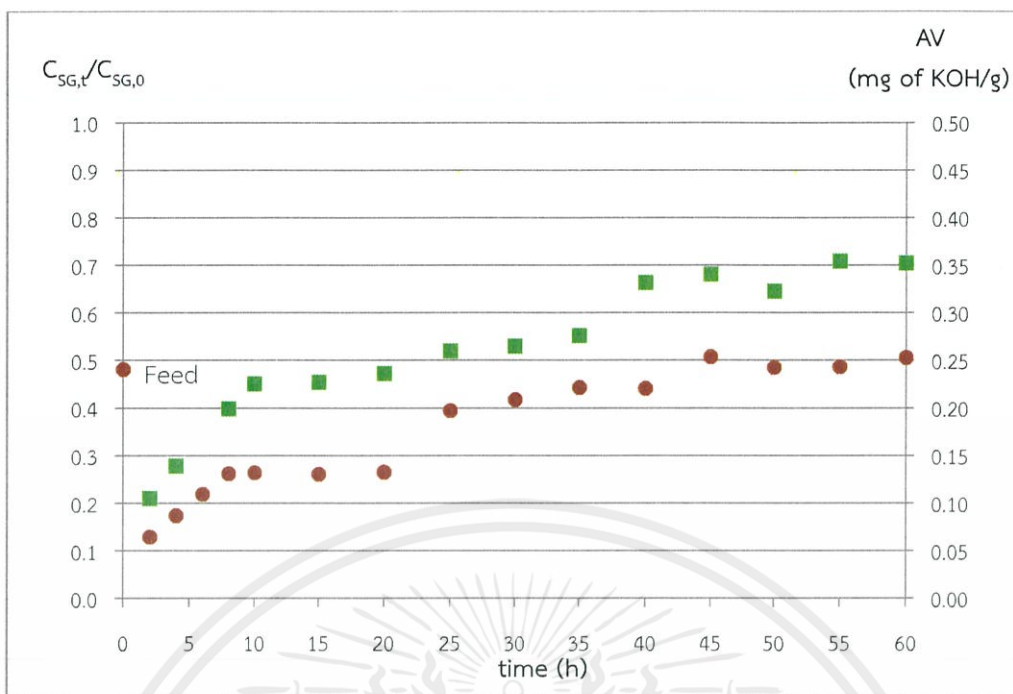


รูปที่ 4.2.1-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C (●) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (■) AV



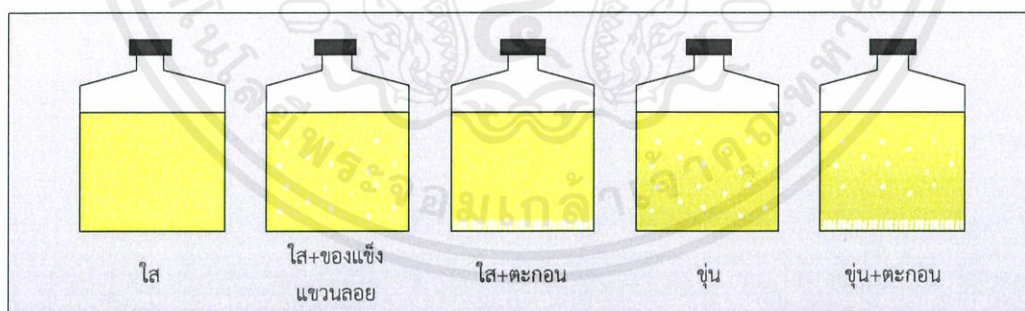
รูปที่ 4.2.1-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 65 °C (◆) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (▲) AV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.1-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของโปโอติเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 70 °C (■) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (●) AV

ในขณะที่ทำการทดลองการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องนั้น ได้มีการสังเกตการตกตะกอน ของ SGs ในตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งลักษณะของน้ำมันที่ออกมาจากหอดูดซับมีลักษณะดังรูปที่ 4.2.1-6



รูปที่ 4.2.1-6 ลักษณะของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยหอดูดซับ

เมื่อสังเกตลักษณะของตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับในช่วงเวลาต่างๆ ของการทดลอง หลังตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการสังเกตตะกอนเป็นดังนี้

1. ใส
 2. ใส --> ใส + ตะกอน
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้ว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

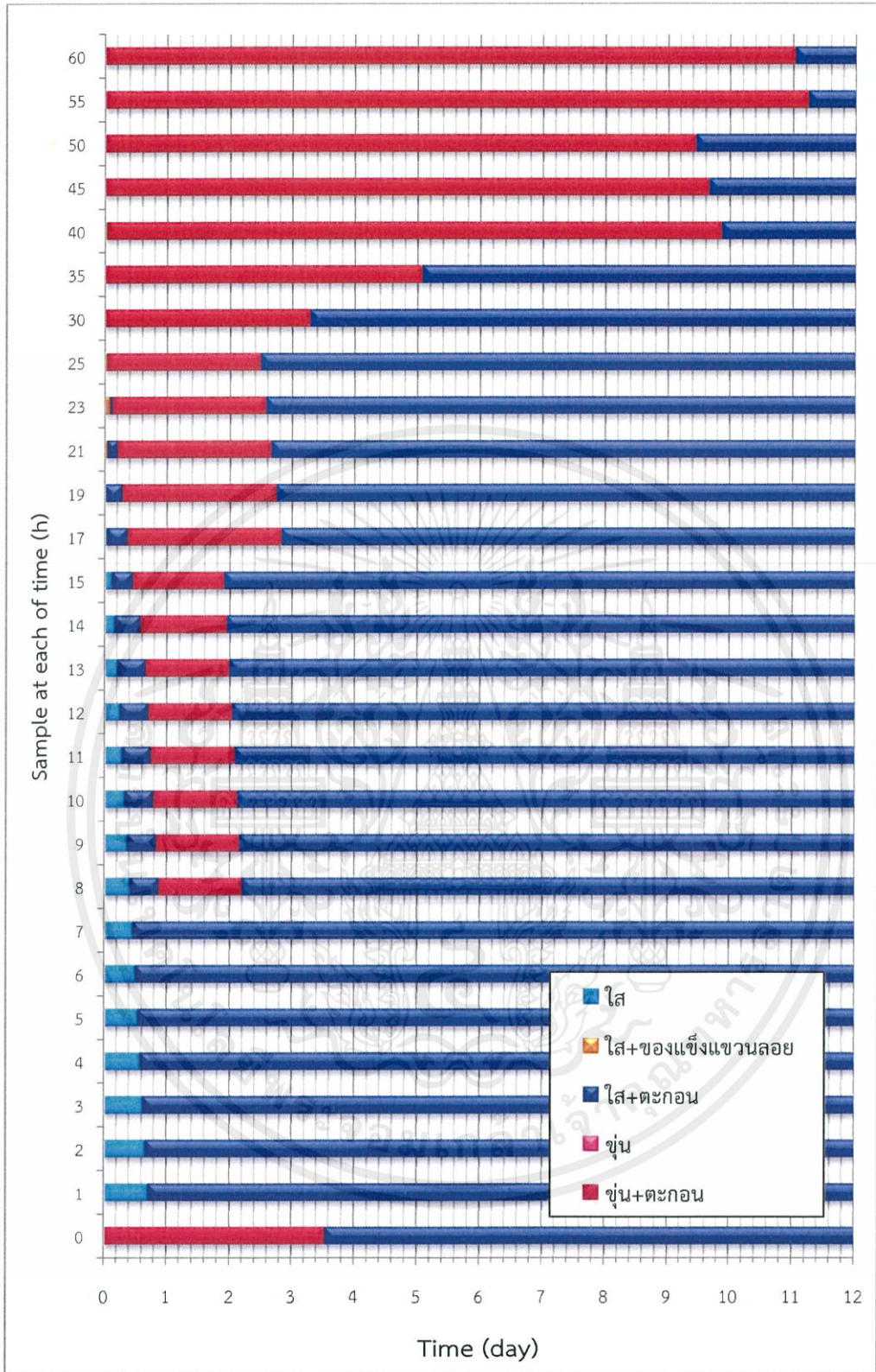
3. ใส + ของแข็งแขวนลอย -->ใส + ตะกอน
4. ใส + ของแข็งแขวนลอย -->ขุ่น + ตะกอน -->ใส + ตะกอน
5. ใส + ของแข็งแขวนลอย -->ขุ่น -->ขุ่น + ตะกอน -->ใส + ตะกอน
6. ขุ่น + ตะกอน -->ใส + ตะกอน
7. ขุ่น -->ขุ่น + ตะกอน -->ใส + ตะกอน

ผลการสังเกตตะกอนจากตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R แสดงผล ดังรูปที่ 4.2.1-7 ถึงรูปที่ 4.2.1-9

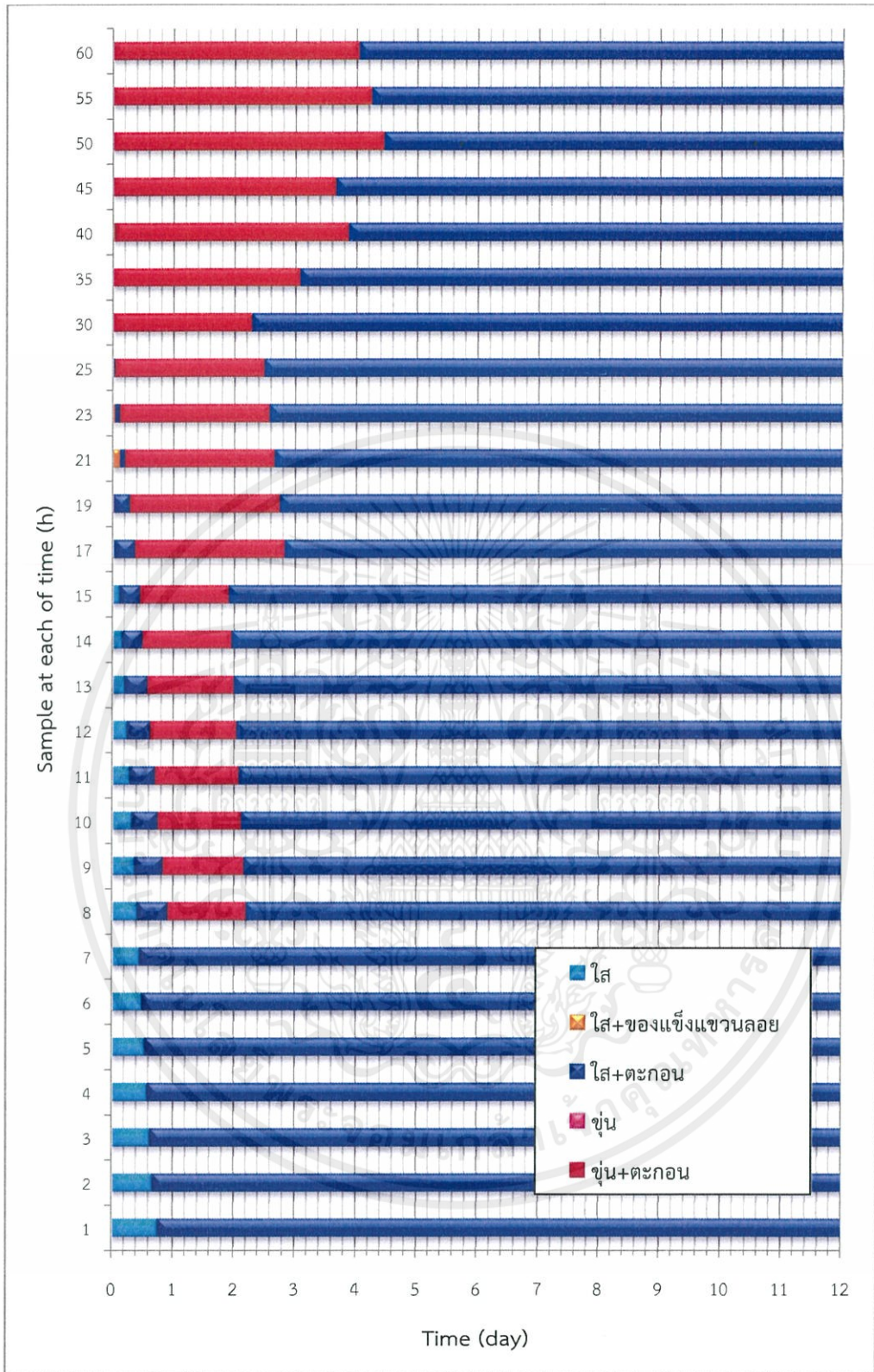
จากรูปที่ 4.2.1-7 ถึงรูปที่ 4.2.1-9แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการดูดซับ ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับจะมีความใส ไม่มีตะกอนของ SGs และเมื่อเวลาผ่านไป ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ จะเริ่มมีตะกอนของSGs แขวนลอยอยู่ แต่ไบโอดีเซลก็ยังคงใสอยู่ และเมื่อเวลาในการดูดซับผ่านไปนานขึ้นประสิทธิภาพของการดูดซับลดลง ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับก็จะเริ่มขุ่น และน้ำมันที่มีความขุ่นจากการฟอร์มตะกอนของ SGs จะค่อยๆ เริ่มใส เนื่องจาก SGs ที่อยู่ในไบโอดีเซลจะค่อยๆ ตกลงไปอยู่ที่ก้นขวด

จากการสังเกตตะกอน เทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs จะเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจนเลยว่า ช่วงที่มีการดูดซับได้ดีความเข้มข้นของ SGs จะลดลงมาก ไบโอดีเซลก็จะมีค่าความใสเช่นกัน และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น SGs และความเป็นกรด พบว่าหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60°C นั้นเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้งานเนื่องจากค่าความเป็นกรดไม่เกินมาตรฐาน และยังสามารถดูดซับ SGs ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

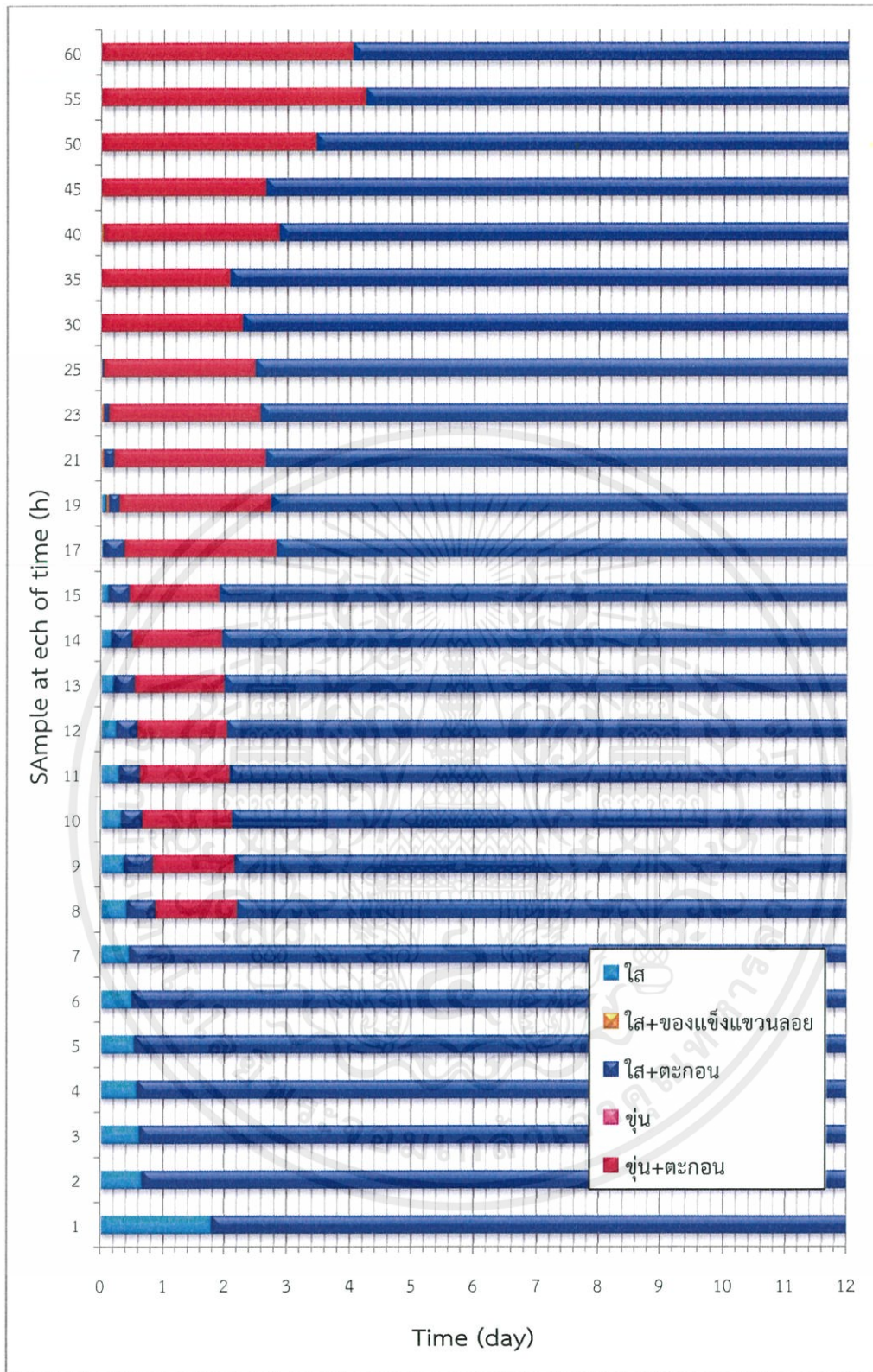


รูปที่ 4.2.1-7 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับ
 เอกสารนี้
 ด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.1-8 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดซัฟด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 65°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการทบทวนเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.1-9 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับ
 เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 70 °C
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ นั้นทำการทดลองโดยการใช้ไอโซโพรพานอล (IPA) เป็นตัวทำละลาย และใช้ตัวดูดซับ SB-R ซึ่งผ่านการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60 °C ในการทดลองการคายซับแบบกะ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ

การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้นทำการศึกษาที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1, 100:1 และ 200:1 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2.2-1

จากรูปที่ 4.2.2-1 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ SGs ใน IPA ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C นั้นผลที่ได้คือยิ่งใส่ตัวทำละลายมาก ยิ่งทำให้ความเข้มข้นของ SGs ที่คายซับออกมานั้นเจือจางลง และพบว่าปริมาณ SGs ที่คายออกมาต่อปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ ของแต่ละสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้น มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ให้ปริมาณ SGs ที่คายออกมาประมาณ 13 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายไม่มีผลต่อการคายซับ ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ 50:1 เนื่องจากเป็นการใช้ตัวทำละลายที่น้อยที่สุด และเกิดประสิทธิภาพในการคายซับที่ดี



รูปที่ 4.2.2-1 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับ ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับต่างๆ

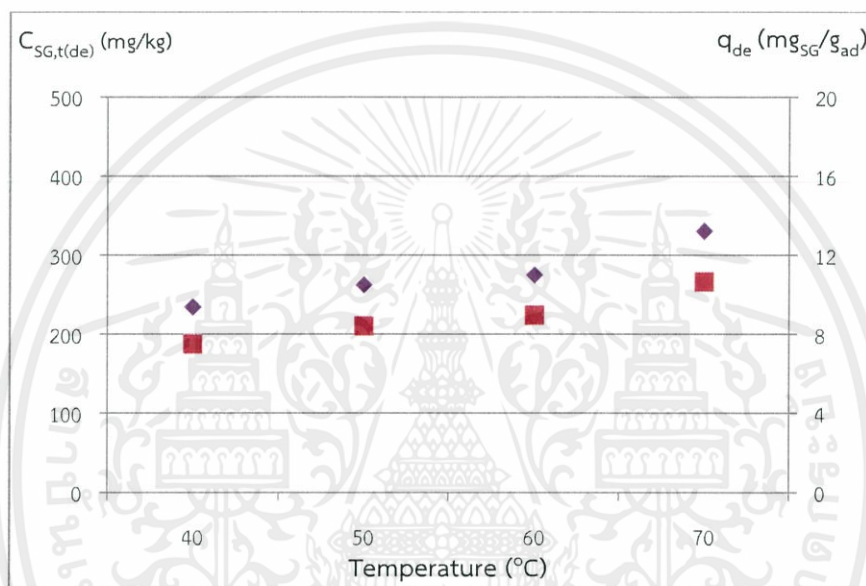
(■) C_{SG,t(de)} (◆) q_{de}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซั้บ

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมินั้นทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซั้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2.2-2

จากรูปที่ 4.2.2-2 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซั้บออกมาจากตัวดูดซับชนิด SB-R นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิ 70 °C นั้นสามารถคายซั้บ SGs ออกมาได้ถึง 13 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งสรุปได้ว่าการคายซั้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการคายซั้บได้ดีขึ้น และอุณหภูมิ 70 °C เหมาะสำหรับการนำไปใช้คายซั้บ



รูปที่ 4.2.2-2 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซั้บออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิต่างๆ (■) $C_{SG,t(de)}$ (◆) q_{de}

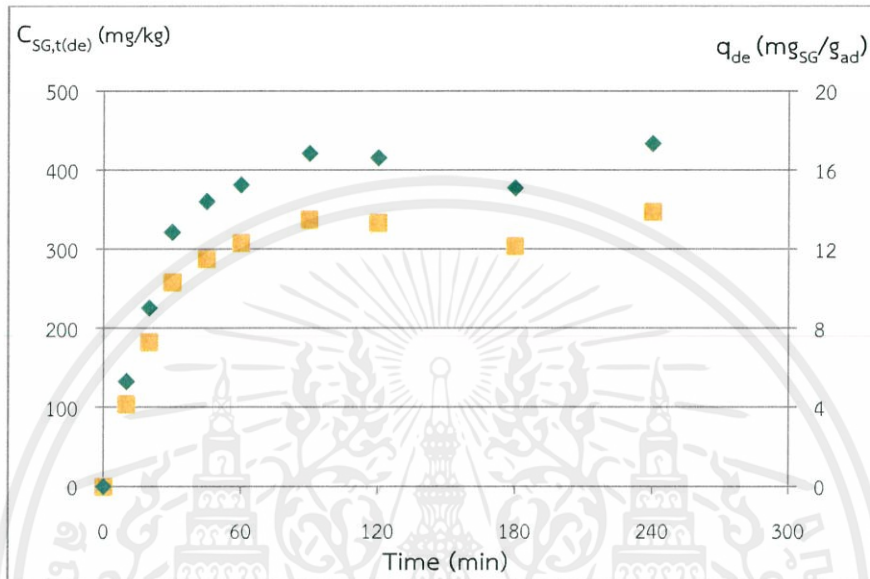
3) การศึกษาอัตราการคายซั้บ

การศึกษาอัตราการคายซั้บของนั้นทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 อุณหภูมิ 60 และ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซั้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2.2-3 และรูปที่ 4.2.2-4

จากรูปที่ 4.2.2-3 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซั้บออกมาจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C นั้นมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น อัตราการคายซั้บในช่วงเวลา 30 นาทีแรกเท่ากับ 0.42 mg/g ของตัวดูดซับ หลังจากนั้นอัตราการคายซั้บจะค่อยๆ ลดลง และเมื่อการคายซั้บผ่านไป 90 นาที เริ่มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SGs ที่คายซั้บออกมา ดังนั้นการคายซั้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

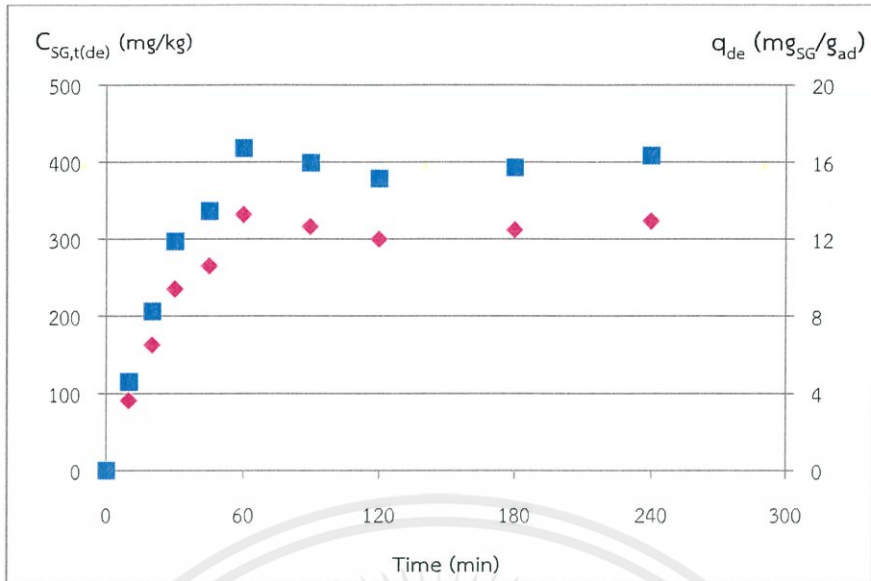
จากรูปที่ 4.2.2-4 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C นั้นมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น อัตราการคายซับในช่วงเวลา 30 นาทีแรกเท่ากับ 0.39 mg/g ของตัวดูดซับ หลังจากนั้นอัตราการคายซับจะค่อยๆ ลดลง และเมื่อการคายซับผ่านไป 60 นาที เริ่มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SGs ที่คายซับออกมา ดังนั้นการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที



รูปที่ 4.2.2-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C

(■) $C_{SG,t(de)}$ (◆) q_{de}

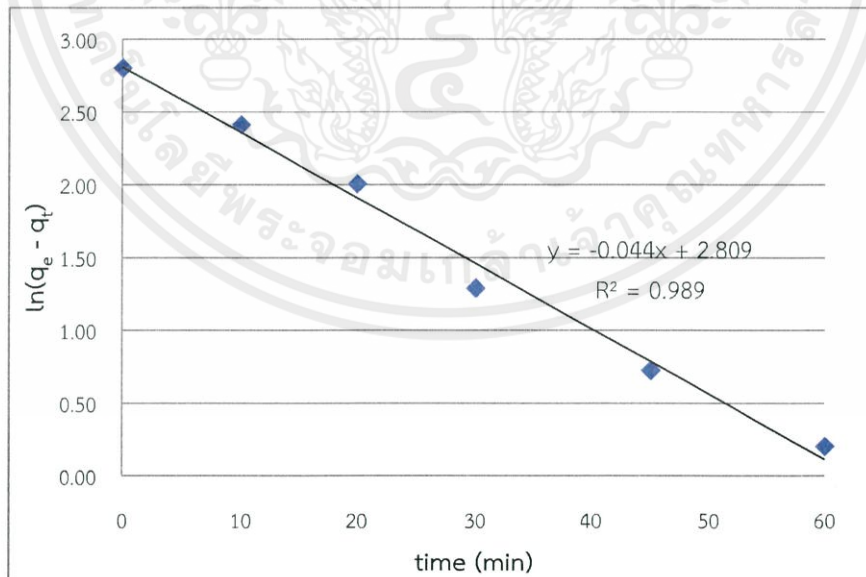
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C

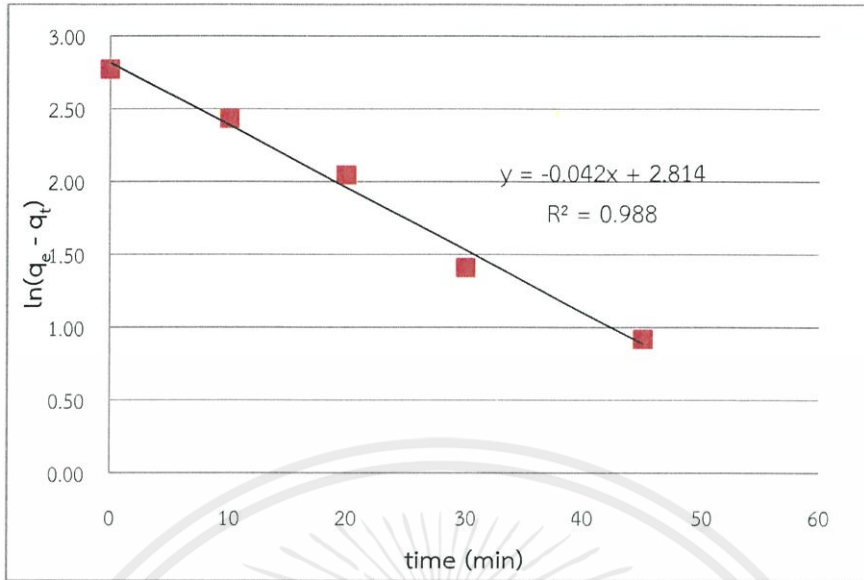
(■) $C_{SG,t(de)}$ (◆) q_{de}

เมื่อนำข้อมูลการคายซับที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ โดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และแบบจำลอง pseudo second order โดยใช้สมมติฐาน คือ ในการคายซับ SGs ออกจากเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น ไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือไม่เกิดการดูดซับนั่นเอง ได้ผลดังรูปที่ 4.2.2-5 ถึงรูปที่ 4.2.2-8

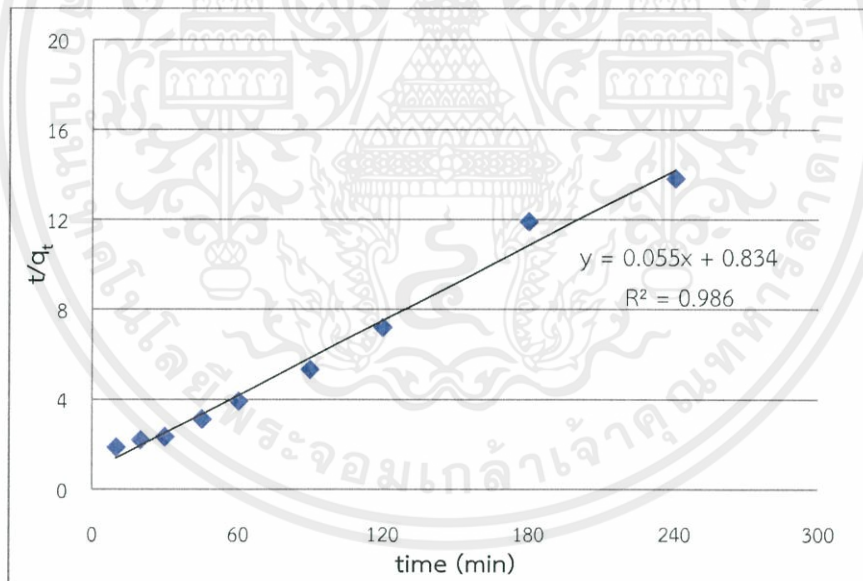


รูปที่ 4.2.2-5 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

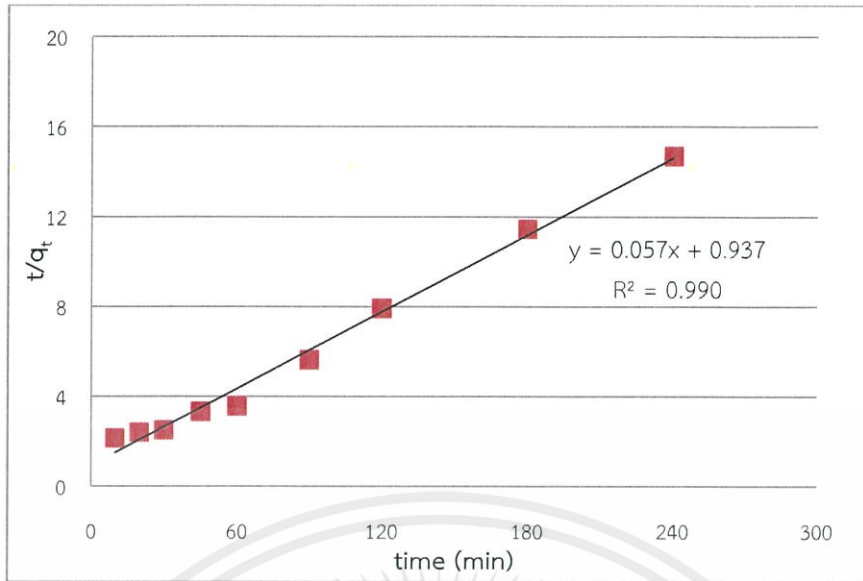


รูปที่ 4.2.2-6 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C



รูปที่ 4.2.2-7 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2-8 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 70 °C

จากรูปที่ 4.2.2-5 ถึงรูปที่ 4.2.2-8 สามารถสรุปข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ได้ดังตารางที่ 4.2-1

ตารางที่ 4.2-1 ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R

kinetic model		pseudo-first order				pseudo-second order			
Temp (°C)	q _e (exp)	q _e	k ₁	R ²	%error of q _e	q _e	k ₂	R ²	%error of q _e
60	16.48	16.59	0.0449	0.9894	0.71%	17.95	0.003718	0.9868	8.2%
70	15.98	16.68	0.0428	0.9880	4.17%	17.54	0.003465	0.9909	8.9%

จากตารางที่ 4.2-1พบว่า เราสามารถเขียนสมการอัตราการคายซับโดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และpseudo second order ได้ดังตารางที่ 4.2-2

ตารางที่ 4.2-2 สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R

Temp (°C)	pseudo-first order	pseudo-second order
60	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.0449(16.59 - q_{de})$	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.003718(17.95 - q_{de})^2$
70	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.0428(16.68 - q_{de})$	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.003465(17.54 - q_{de})^2$

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C พบว่าการคายซับในช่วงเวลาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด SB-R เราสามารถที่จะใช้อุณหภูมิ 60 หรือ 70 °C ก็ได้ในการคายซับ

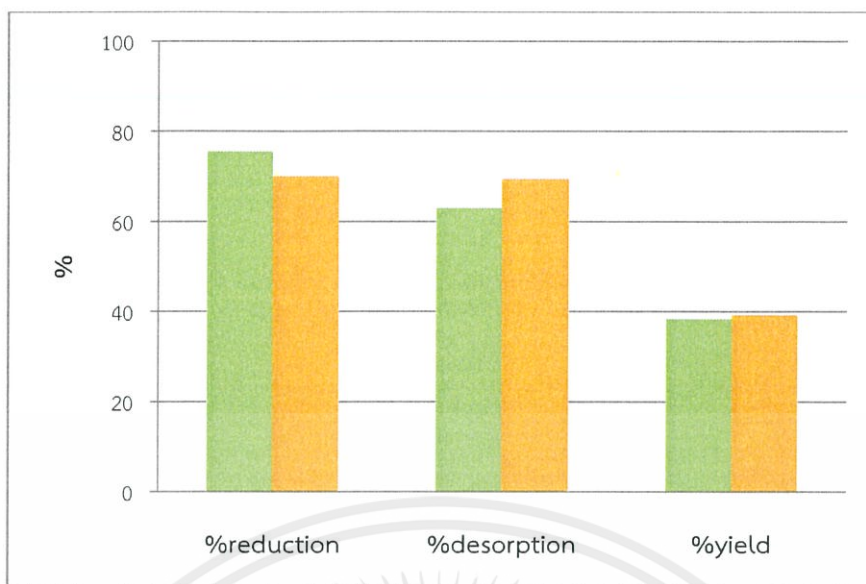
4.2.3 การหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ในการศึกษาการหาร้อยละผลได้ตัวดูดซับ นั้นทำการทดลองโดยทำการดูดซับ SGs ใน ไบโอดีเซลแบบกะโดยใช้ ตัวดูดซับ SB-R เป็นตัวดูดซับโดยใช้สัดส่วนของตัวดูดซับเป็น 2%wt ของ น้ำมัน ซึ่งการดูดซับนั้นเราทำการทดลองที่อุณหภูมิในการดูดซับแบบกะที่ดีที่สุดของตัวดูดซับ จะทดลองที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยที่ความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลนั้นเท่ากับ 142 mg/kg จากนั้นจึงนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ SGs มาทำการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับด้วย IPA โดยใช้สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 ทำการคายซับที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.2.3-1 ถึงรูปที่ 4.2.3-2



รูปที่ 4.2.3-1 ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ SB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ (■) 60 °C (■) 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.3-2 ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของตัวดูดซับ SB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ (■) 60 °C (■) 70 °C

จากรูปที่ 4.2.3-1 และรูปที่ 4.2.3-2 พบว่าตัวดูดซับชนิด SB-R นั้นมีความสามารถในการดูดซับ SGs ได้ประมาณ 70 – 75 % เมื่อนำไปตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ ไปคายซับด้วย IPA พบว่าความสามารถในการคายซับที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 70 °C ให้ผลการคายซับที่ดีกว่า แม้ว่า จะทำการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับไปแล้ว แต่ก็ยังคงมีปริมาณ SGs ที่เหลืออยู่ในตัวดูดซับ โดยการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับนั้นมี SGs เหลืออยู่ในตัวดูดซับประมาณ 1.5 - 2 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดการคายซับออกมาได้ถึง 63 – 69 % และเมื่อพิจารณาทั้งการดูดซับ และการคายซับ จะพบว่าในการฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SB-R ให้ร้อยละผลได้อยู่ที่ 39 %

จากผลการทดลอง ทั้ง 3 ส่วนจะพบว่าหากนำตัวดูดซับชนิด SB-R ไปใช้งานตัวดูดซับชนิดนี้ สามารถดูดซับ SGs และคายซับได้ได้ค่อนข้างดีควรทำการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60 °C คายซับที่อุณหภูมิ 70 °C

4.3 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R)

4.3.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

การทดลองการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด WB-R ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C เป็นเวลา 60 ชั่วโมง อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 750 mL/h space time เท่ากับ 9.7 นาที ความเข้มข้นของ SGs ในสารป้อนเป็น 108 mg/kg และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ SGs ที่เวลาต่างๆ ก็สามารถพลอตกราฟเบรคทรู ($C_{SG,t}/C_{SG,0}$ กับเวลา)

เอกสารนี้เป็นการคัดลอกเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่มีปรากฏในเอกสารนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

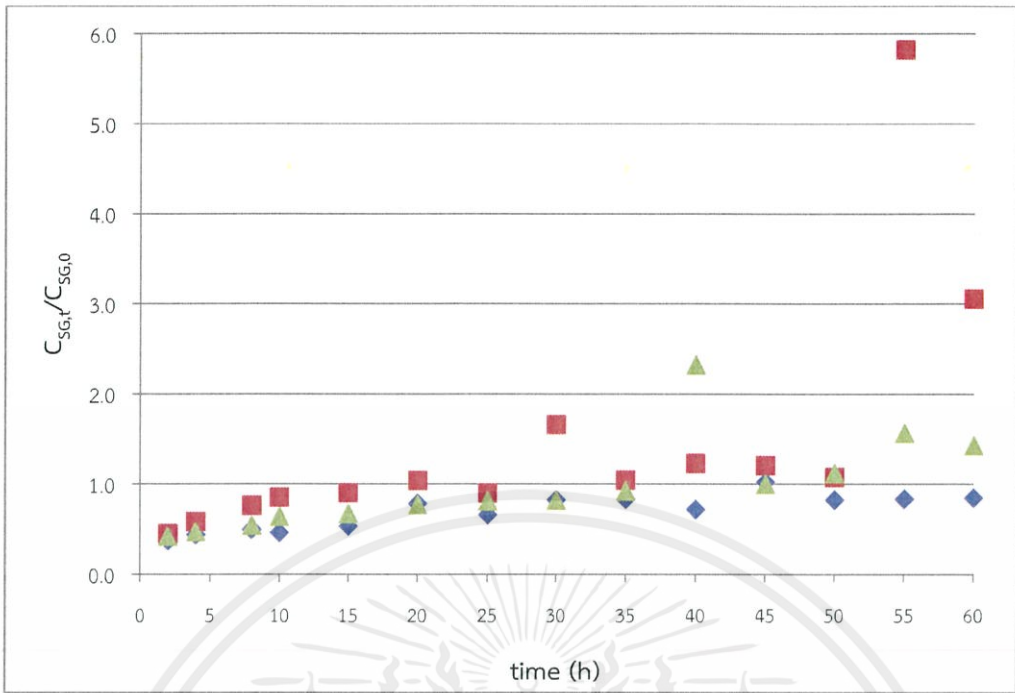
จากรูปที่ 4.3.1-1 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C สามารถดูดซับปริมาณ SGs ได้ลดลงประมาณ 60% จากนั้นประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับ SGs จะค่อยๆ ลดลง การดูดซับของหอดูดซับที่อุณหภูมิทั้ง 3 ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกัน จากกราฟเบรคทูล์ที่ค่า $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ มากกว่า 1 นั้นเป็นไปได้ แต่จากการทดลอง ได้สังเกตเห็นว่าขณะเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ออกมาจากหอดูดซับ พบว่าในน้ำมันมีการพอร์มตะกอนของ SGs เป็นเม็ดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ เมื่อนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ผล ต้องทำการเติมตัวทำละลายไพริดีน(pyridine) เพื่อให้ SGs ในน้ำมันละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ได้ความเข้มข้นของ SGs มีปริมาณที่สูงมาก และหอดูดซับสามารถดูดซับ SGs ได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60 °C จากผลการทดลองสามารถระบุได้ว่าเมื่อการเพิ่มอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของหอดูดซับ

เมื่อนำตัวอย่างไบโอดีเซลไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ซึ่งตามมาตรฐานไบโอดีเซลเกรดการค้าต้องมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 0.5mg KOH/g ผลการวิเคราะห์พบว่า สารป้อนมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.237 mg KOH/g ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน และเมื่อนำค่าความเป็นกรดของตัวอย่างไบโอดีเซลที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับ ของหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C ไปพลอตกราฟเทียบกับ ได้ผลแสดงตามรูปที่ 4.3.1-2

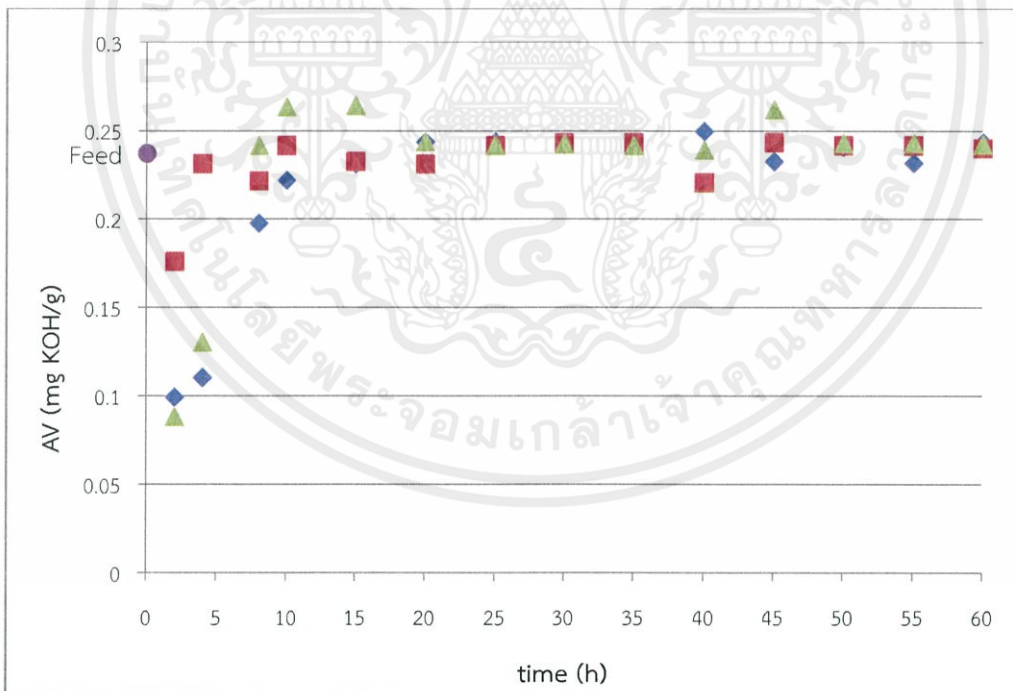
จากรูปที่ 4.3.1-2 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่าทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลองตัวอย่างไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ นั้นมีค่าความเป็นกรดต่ำมาก ต่ำกว่าความเป็นกรดในสารป้อน และค่าความเป็นกรดในน้ำมันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่ที่เวลา 10 ชั่วโมง และค่าความเป็นกรดมีค่าใกล้เคียงกับสารป้อนซึ่งไม่เกินมาตรฐาน อาจมีความเป็นไปได้ว่า เกิดกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ OH ซึ่งเป็นเบส กับ SGs ในน้ำมันไบโอดีเซลดังสมการที่ (4.1) ในช่วงแรกของการดูดซับ ตัวดูดซับจะดูดซับ SGs ได้ดีมากดังนั้น การแลกเปลี่ยนประจุ OH กับ SGs จึงค่อนข้างดีมาก น้ำมันไบโอดีเซลจึงมีความเป็นเบสสูง ค่าความเป็นกรดจึงมีค่าน้อย และจากกราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของการดูดซับของหอดูดซับทั้ง 3 อุณหภูมิ นั้น จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดของแต่ละอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่เกินมาตรฐาน

เมื่อพลอตกราฟเทียบกันระหว่าง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรด ของแต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง แสดงผลดังรูปที่ 4.3.1-3 ถึงรูปที่ 4.3.1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.1-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเบรคทรูการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ (◆) 60 °C (■) 65 °C (▲) 70 °C

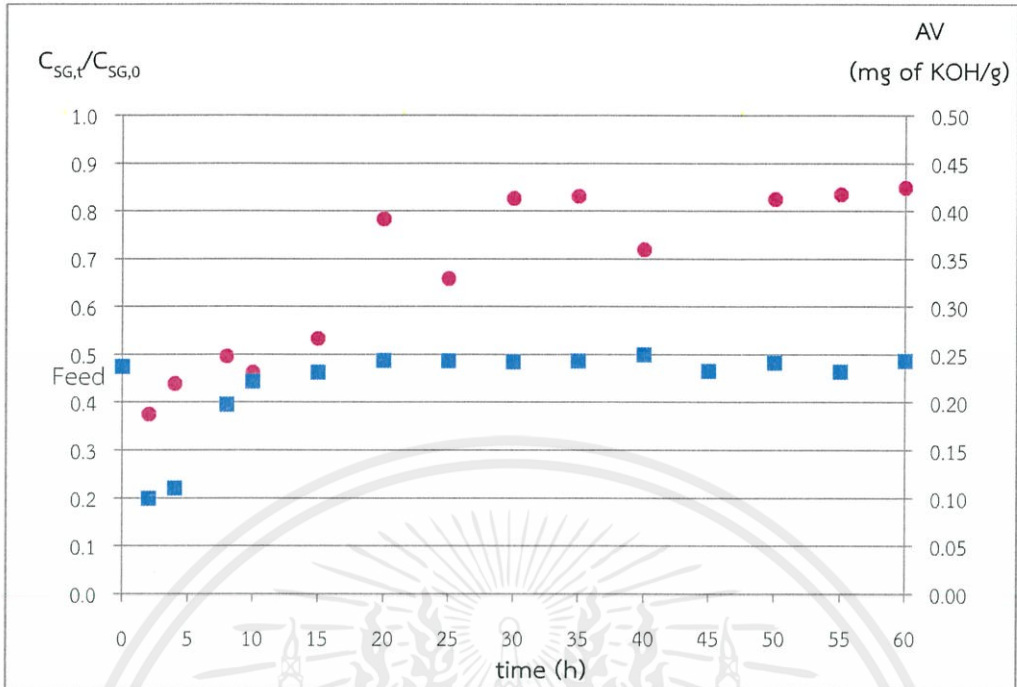


รูปที่ 4.3.1-2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของ

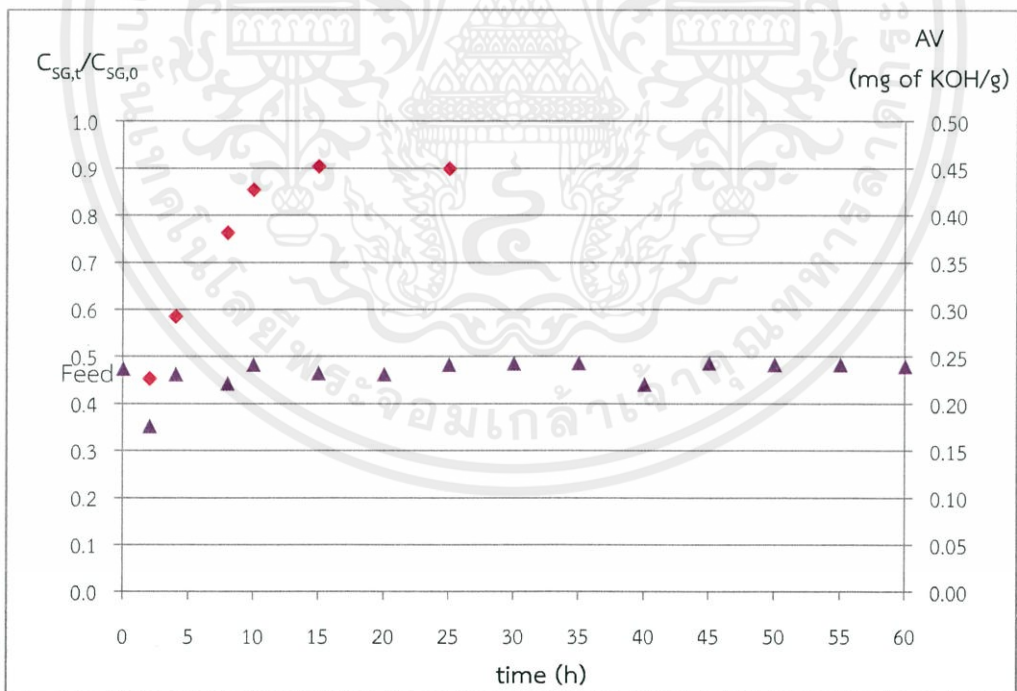
ไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ (◆) 60 °C

(■) 65 °C (▲) 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ข้อมูลเชิงพาณิชย์ใด ๆ ในเรื่องใด ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

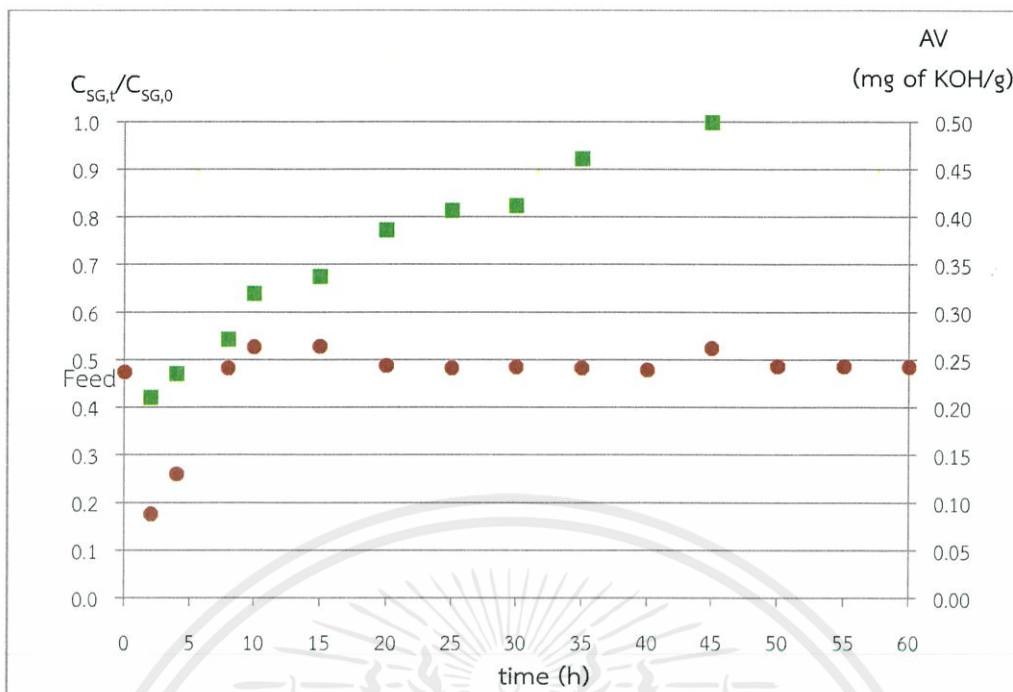


รูปที่ 4.3.1-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C (●) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (■) AV



รูปที่ 4.3.1-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สังวนผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 65 °C (◆) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (▲) AV ด้านการค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



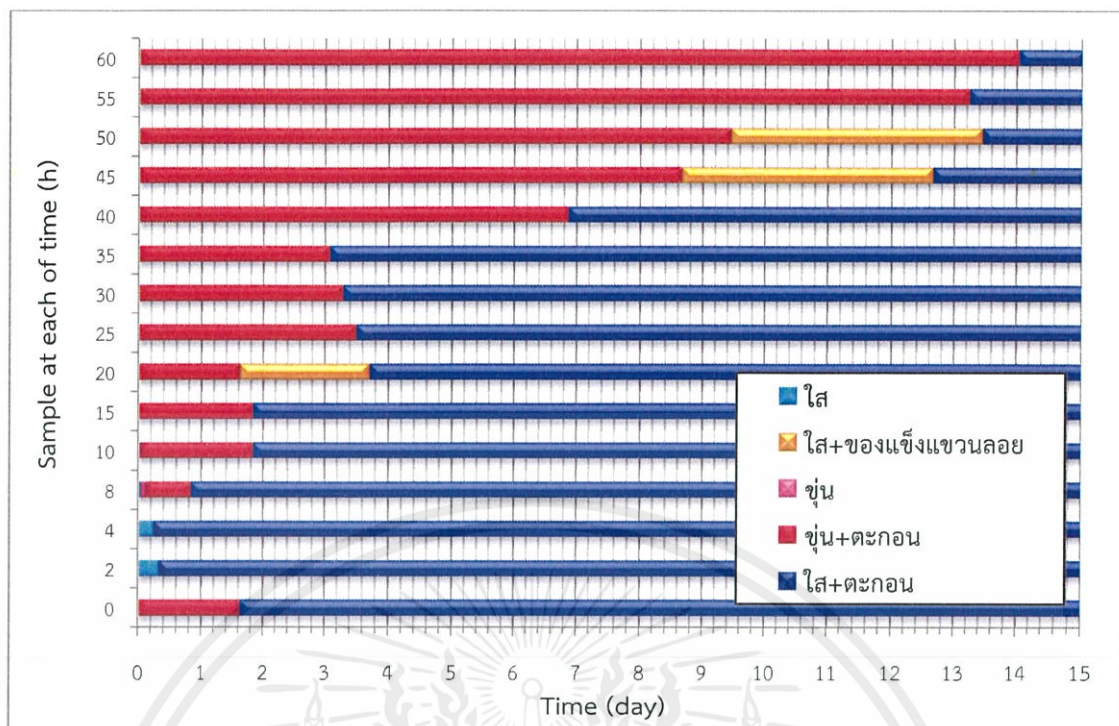
รูปที่ 4.3.1-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 70 °C (■) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (●) AV

จากรูปที่ 4.3.1-3 ถึงรูปที่ 4.3.1-5 แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่เกิดการดูดซับได้ดี ก็จะมีการแลกเปลี่ยนประจุ OH^- กับ SGs ได้ดีเช่นกัน ไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับจากหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R จึงมีความเป็นกรดต่ำ

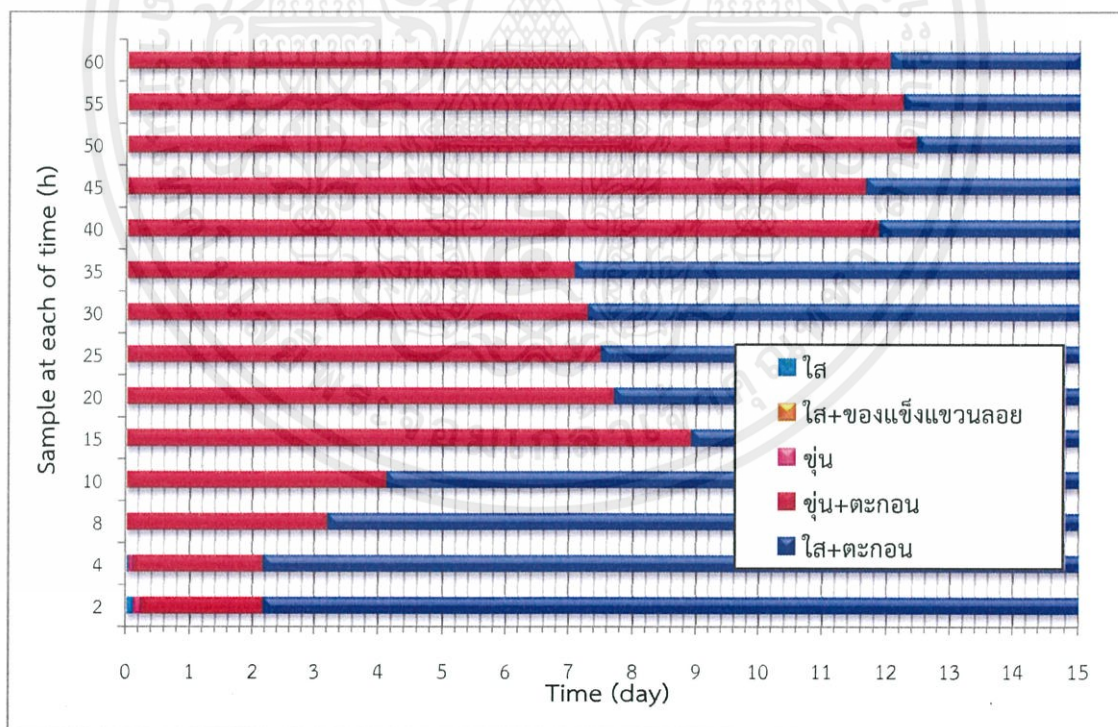
ในขณะที่ทำการทดลองการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องนั้น ได้มีการสังเกตการตกตะกอน ของ SGs ในตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งลักษณะของน้ำมันที่ออกมาจากหอดูดซับมีลักษณะดังรูปที่ 4.2.1-6 และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการสังเกตตะกอนก็มีลักษณะเดียวกับการสังเกตตะกอนของตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R

ผลการสังเกตตะกอนจากตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R แสดงผลดังรูปที่ 4.3.1-6 ถึงรูปที่ 4.3.1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



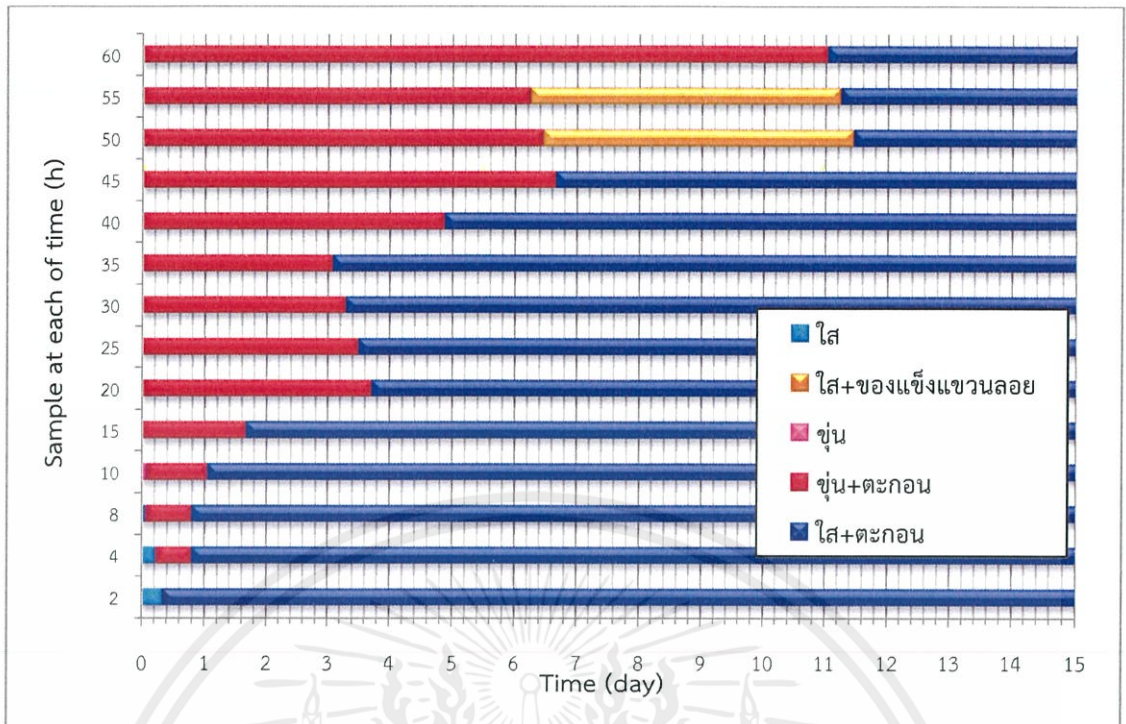
รูปที่ 4.3.1-6 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C



รูปที่ 4.3.1-7 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับ

ชนิด WB-R อุณหภูมิ 65 °C

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.1-8 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 70 °C

จากรูปที่ 4.3.1-6 ถึงรูปที่ 4.3.1-8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการดูดซับ ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับจะมีความใส ไม่มีตะกอนของ SGs และเมื่อเวลาผ่านไป ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ จะเริ่มมีตะกอนของ SGs แขนวนลอยอยู่ แต่ไบโอดีเซลก็ยังคงใสดุ และเมื่อเวลาในการดูดซับผ่านไปนานขึ้นประสิทธิภาพของการดูดซับลดลง ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับก็จะเริ่มขุ่น และน้ำมันที่มีความขุ่นจากการฟอร์มตะกอนของ SGs จะค่อยๆ เริ่มใส เนื่องจาก SGs ที่อยู่ในไบโอดีเซลจะค่อยๆ ตกอยู่ที่ก้นขวดจากรูปที่ 4.2.2-7 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่อุณหภูมิ 65 °C นั้นไม่มีประสิทธิภาพมากนักเนื่องจากน้ำมันที่ออกมาจากหอดูดซับนั้นขุ่นเร็ว และขุ่นนาน ในขณะที่การดูดซับที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ให้ผลการสังเกตตะกอนที่ใกล้เคียงกัน

จากการสังเกตตะกอน เทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs จะเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจนเลยว่า ช่วงที่มีการดูดซับได้ดีความเข้มข้นของ SGs จะลดลงมาก ไบโอดีเซลก็จะมีค่าความใสเช่นกัน และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น SGs และความเป็นกรดพบว่าหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60 °C นั้นเหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานมากที่สุดเนื่องจากค่าความเป็นกรดไม่เกินมาตรฐาน และยังสามารถดูดซับ SGs ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

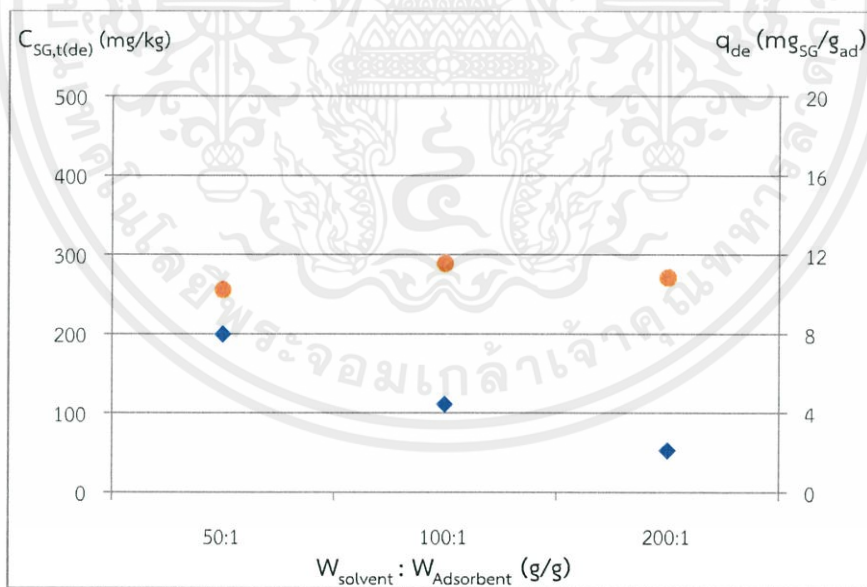
4.3.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ นั้นทำการทดลองโดยการใช้ไอโซโพรพานอล (IPA) เป็นตัวทำละลาย และใช้ตัวดูดซับ WB-R ซึ่งผ่านการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60 °C ในการทดลองการคายซับแบบกะ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ

การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้นทำการศึกษาที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1, 100:1 และ 200:1 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3.2-1

จากรูปที่ 4.3.2-1 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ SGs ใน IPA ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C นั้นให้ผลที่ว่ายิ่งใส่ตัวทำละลายมาก ยิ่งทำให้ความเข้มข้นของ SGs ที่คายซับออกมานั้นเจือจางลง และพบว่าปริมาณ SGs ที่คายออกมาต่อปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ ของแต่ละสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้น มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ให้ปริมาณ SGs ที่คายออกมาประมาณ 11 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายไม่มีผลต่อการคายซับ ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ 50:1 เนื่องจากเป็นการใช้ตัวทำละลายที่น้อยที่สุด และเกิดประสิทธิภาพในการคายซับที่ดี



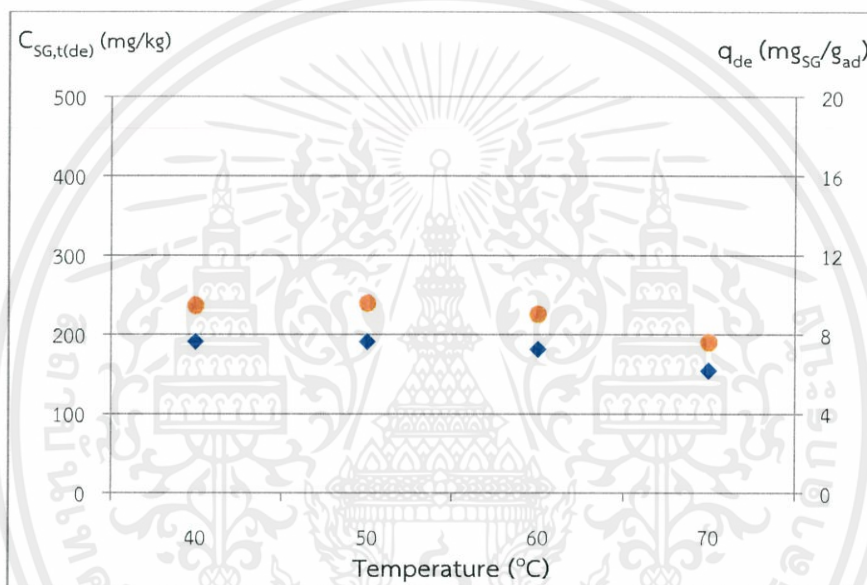
รูปที่ 4.3.2-1 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับ ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซ้บ

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมินั้นทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซ้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3.2-2

จากรูปที่ 4.3.2-2 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซ้บออกมาจากตัวดูดซับชนิด WB-R นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C นั้นสามารถคายซ้บ SGs ออกมาได้ใกล้เคียงกันประมาณ 11 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งสรุปได้ว่าการคายซ้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการคายซ้บได้ดีขึ้น และอุณหภูมิ 50 °C เหมาะสำหรับการนำไปใช้คายซ้บ



รูปที่ 4.3.2-2 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซ้บออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิต่างๆ (◆) $C_{SG,t(de)}$ (●) q_{de}

3) การศึกษาอัตราการคายซ้บ

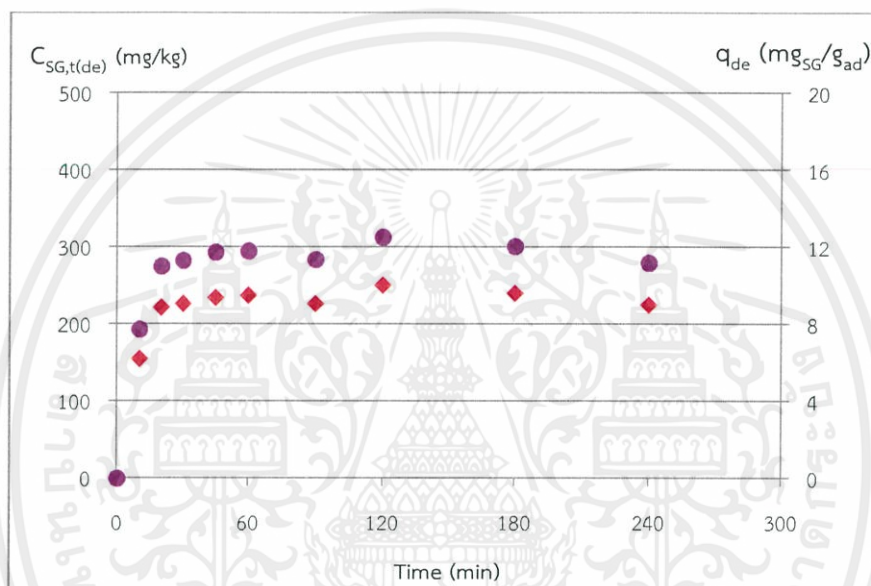
การศึกษาอัตราการคายซ้บของนั้นทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 อุณหภูมิ 50 และ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซ้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3.2-3 และรูปที่ 4.3.2-4

จากรูปที่ 4.3.2-3 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซ้บออกมาจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการคายซ้บในช่วง 10 นาทีแรก คือ 0.55 mg/g ของตัวดูดซับ หลังจากนั้นอัตราการคายซ้บจะลดลงอย่างมากและเมื่อการคายซ้บผ่านไป 45 นาที เริ่มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SGs ที่คายซ้บออกมา ดังนั้นการคายซ้บ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลไปยังเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

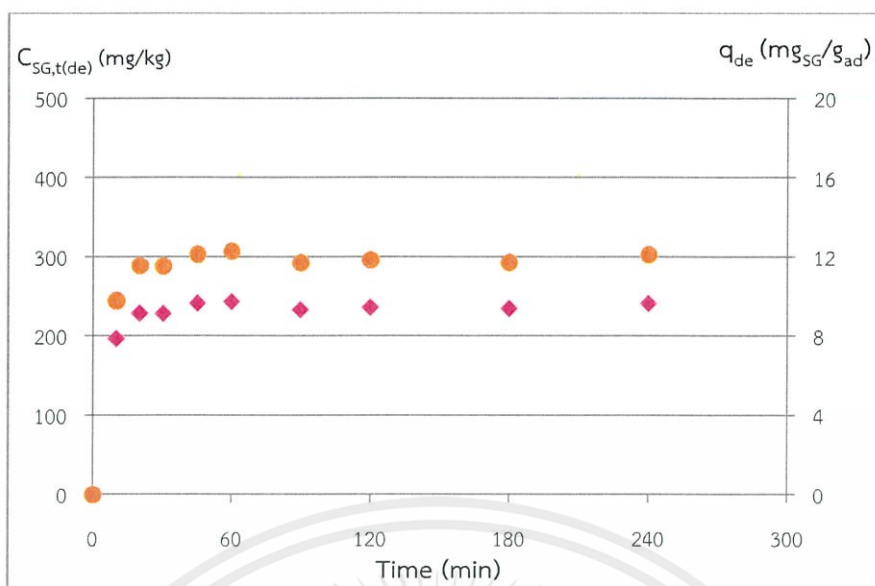
จากรูปที่ 4.3.2-4 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการคายซับในช่วง 10 นาทีแรก คือ 0.98 mg/g ของตัวดูดซับ หลังจากนั้นอัตราการคายซับจะลดลงอย่างมากและเมื่อการคายซับผ่านไป 20 นาที เริ่มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SGs ที่คายซับออกมา ดังนั้นการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 20 นาที

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C พบว่าการคายซับในช่วงเวลาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด WB-R เราสามารถที่จะใช้อุณหภูมิ 50 หรือ 60 °C ก็ได้ในการคายซับ



รูปที่ 4.3.2-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C
 (◆) $C_{SG,t(de)}$ (●) q_{de}

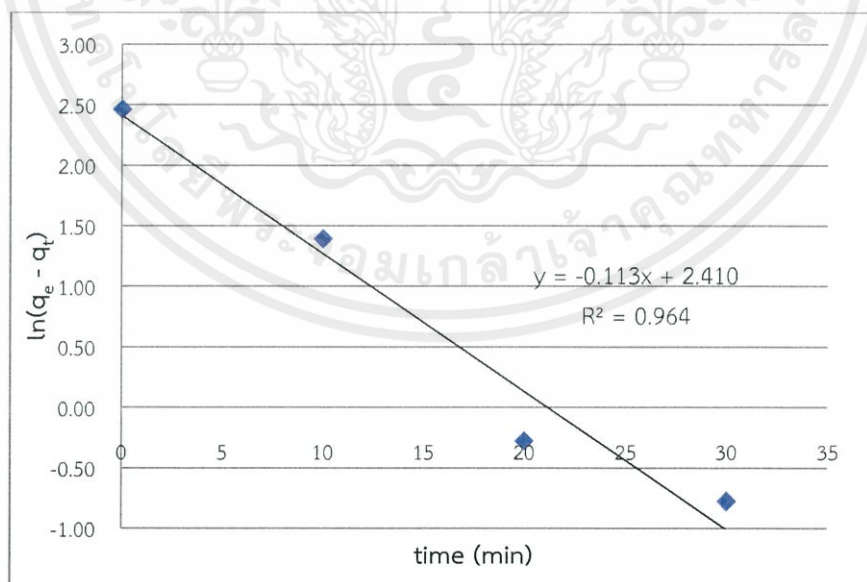
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.2-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C

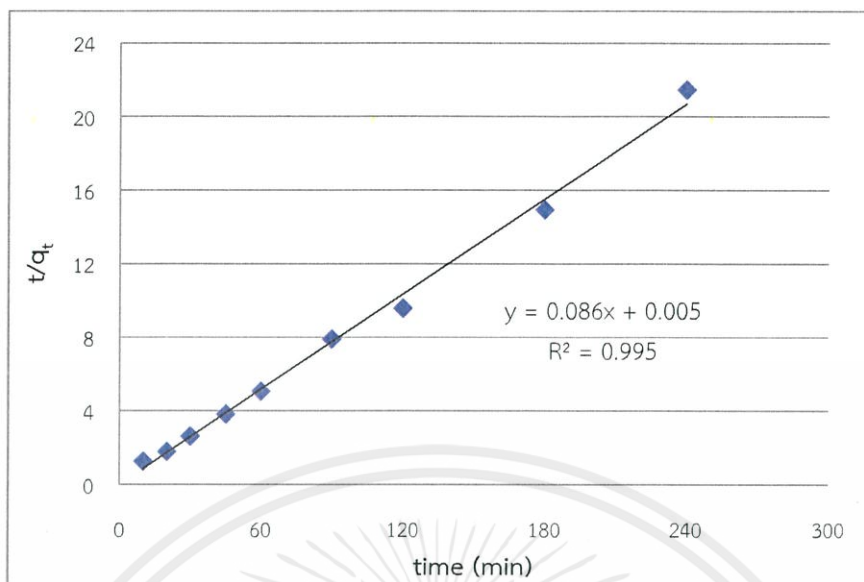
(♦) $C_{SG,t(de)}$ (●) q_{de}

เมื่อนำข้อมูลการคายซับที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ โดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และแบบจำลอง pseudo second order โดยใช้สมมติฐาน คือ ในการคายซับ SGs ออกจากเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น ไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือไม่เกิดการดูดซับนั่นเอง ได้ผลดังรูปที่ 4.3.2-5 ถึงรูปที่ 4.3.2-7

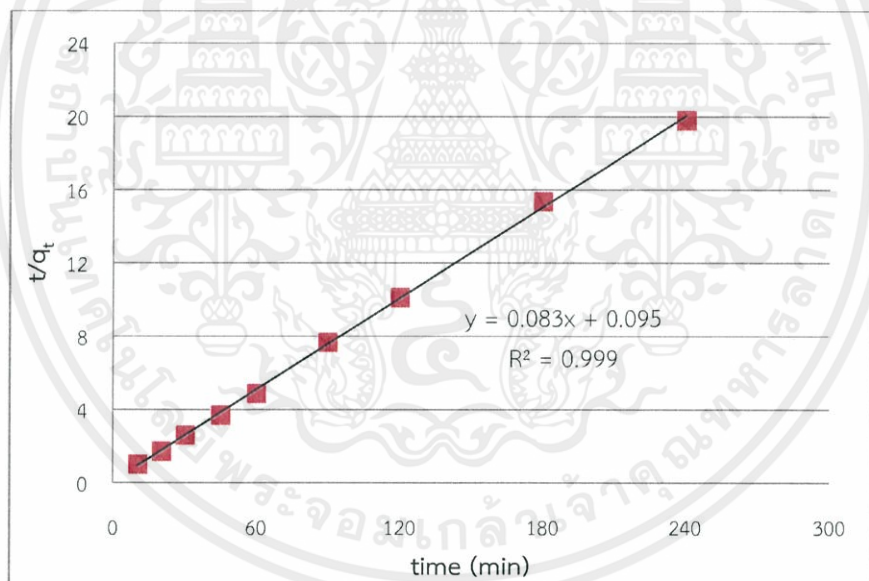


รูปที่ 4.3.2-5 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำข้อมูลข้างต้นไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.2-6 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C



รูปที่ 4.3.2-7 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 60 °C เกิดการคายซับเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วจึงทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลทางจลนพลศาสตร์โดยใช้สมการ pseudo first order ได้ และจากรูปที่ 4.3.2-5 ถึงรูปที่ 4.3.2-7 สามารถสรุปข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ได้ดังตารางที่ 4.3-1

ตารางที่ 4.3-1 ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R

kinetic model		pseudo-first order				pseudo-second order			
Temp (°C)	q _e (exp)	q _e	k ₁	R ²	%error of q _e	q _e	k ₂	R ²	%error of q _e
50	11.77	11.14	0.1139	0.9646	-5.61%	11.60	1.350989	0.9953	-1.5%
60	11.86					12.03	0.072234	0.9993	1.4%

จากตารางที่ 4.3-1 พบว่า เราสามารถเขียนสมการอัตราการคายซับโดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และpseudo second order ได้ดังตารางที่ 4.3-2

ตารางที่ 4.3-2 สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R

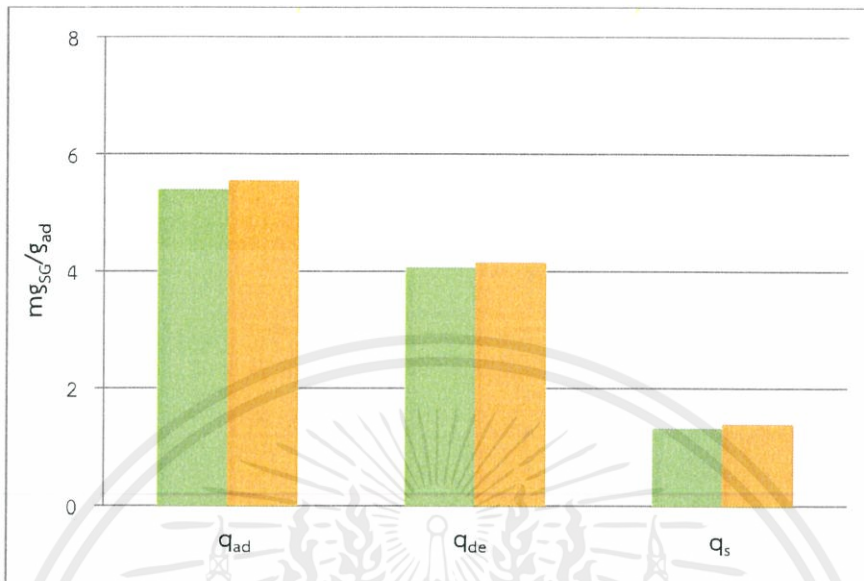
Temp (°C)	pseudo-first order	pseudo-second order
50	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.1139(11.14 - q_{de})$	$\frac{dq_{de}}{dt} = 1.350989(11.60 - q_{de})^2$
60	-	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.072234(12.03 - q_{de})^2$

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C พบว่าการคายซับในช่วงเวลาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการคายซับ SGs ออกจาก ตัวดูดซับชนิด WB-R เราสามารถที่จะใช้อุณหภูมิ 50 หรือ 60 °C ก็ได้ในการคายซับ

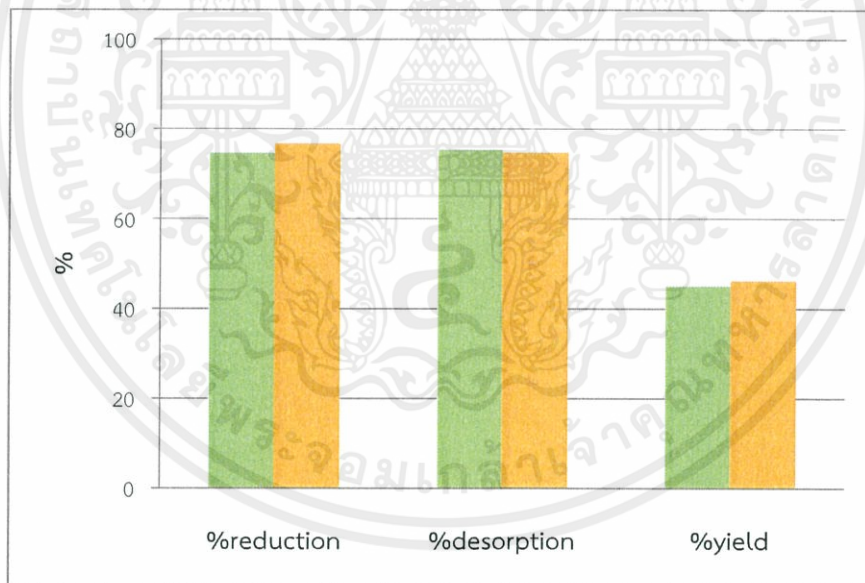
4.3.3 การหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ในการศึกษาการหาร้อยละผลได้ตัวดูดซับ นั้นทำการทดลองโดยทำการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบกะโดยใช้ ตัวดูดซับ WB-R เป็นตัวดูดซับโดยใช้สัดส่วนของตัวดูดซับเป็น 2%wt ของน้ำมัน ซึ่งการดูดซับนั้นเราทำการทดลองที่อุณหภูมิในการดูดซับแบบกะที่ดีที่สุดของตัวดูดซับ จะทดลองที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยที่ความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลนั้นเท่ากับ 142 mg/kg จากนั้นจึงนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ SGs มาทำการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IPA โดยใช้สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 ทำการคายซับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.3.3-1 ถึงรูปที่ 4.3.3-2



รูปที่ 4.3.3-1 ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ WB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ (■) 50 °C (■) 60 °C



รูปที่ 4.3.3-2 ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของตัวดูดซับ WB-R ที่อุณหภูมิการคายซับ (■) 50 °C (■) 60 °C

จากรูปที่ 4.3.3-1 และรูปที่ 4.3.3-2 พบว่าตัวดูดซับชนิด WB-R นั้นมีความสามารถในการดูดซับ SGs ได้ประมาณ 75% เมื่อนำไปตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ ไปคายซับด้วย IPA พบว่าความสามารถในการคายซับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าจะทำการคายซับ

SGs ออกจากตัวดูดซับไปแล้ว แต่ก็ยังคงมีปริมาณ SGs ที่เหลืออยู่ในตัวดูดซับ โดยการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับนั้นมี SGs เหลืออยู่ในตัวดูดซับประมาณ 1.4 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดการคายซับออกมาได้ถึง 75% และเมื่อพิจารณาทั้งการดูดซับ และการคายซับ จะพบว่าในการฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SB-R ให้ร้อยละผลได้อยู่ที่ 46%

จากผลการทดลอง ทั้ง 3 ส่วนจะพบว่าหากนำตัวดูดซับชนิด WB-R ไปใช้งานตัวดูดซับชนิดนี้สามารถดูดซับ SGs ได้ไม่ค่อนัก แต่คายซับได้ดีสมควรทำการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60 °C คายซับที่อุณหภูมิ 50 °C

4.4 เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R)

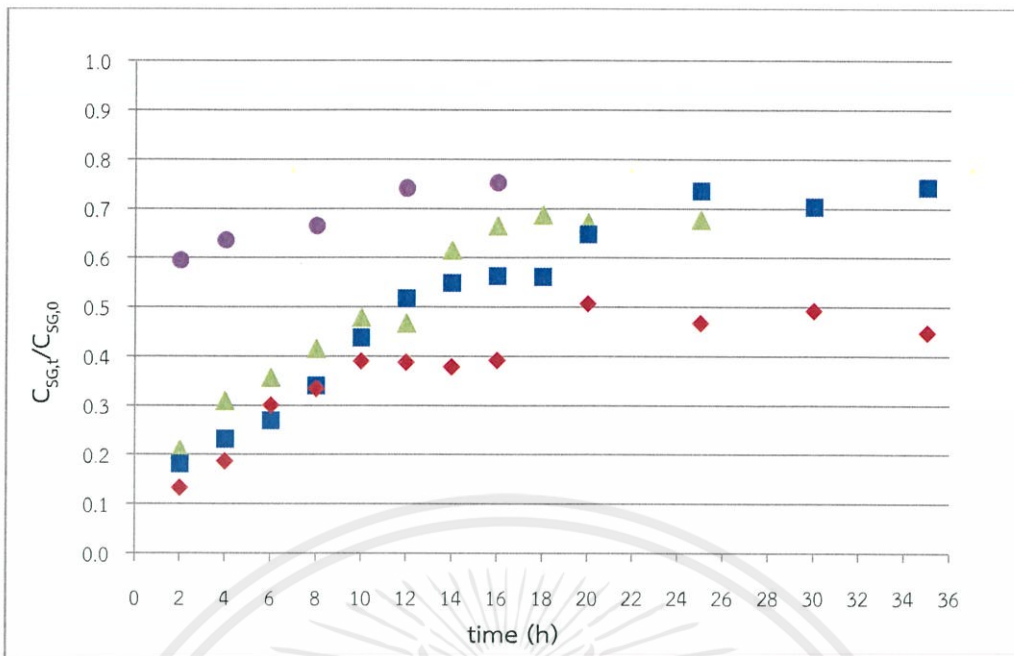
4.4.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

การทดลองการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 70, 75, 80 °C เป็นเวลา 35 ชั่วโมง อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 1,000 mL/h space time เท่ากับ 6.7 นาที ความเข้มข้นของ SGs ในสารป้อนเป็น 165 mg/kg และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ SGs ที่เวลาต่างๆ ก็สามารถพลอตกราฟเบรคทรู(C/C₀กับเวลา) ของการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลแสดงตามรูปที่ 4.4.1-1

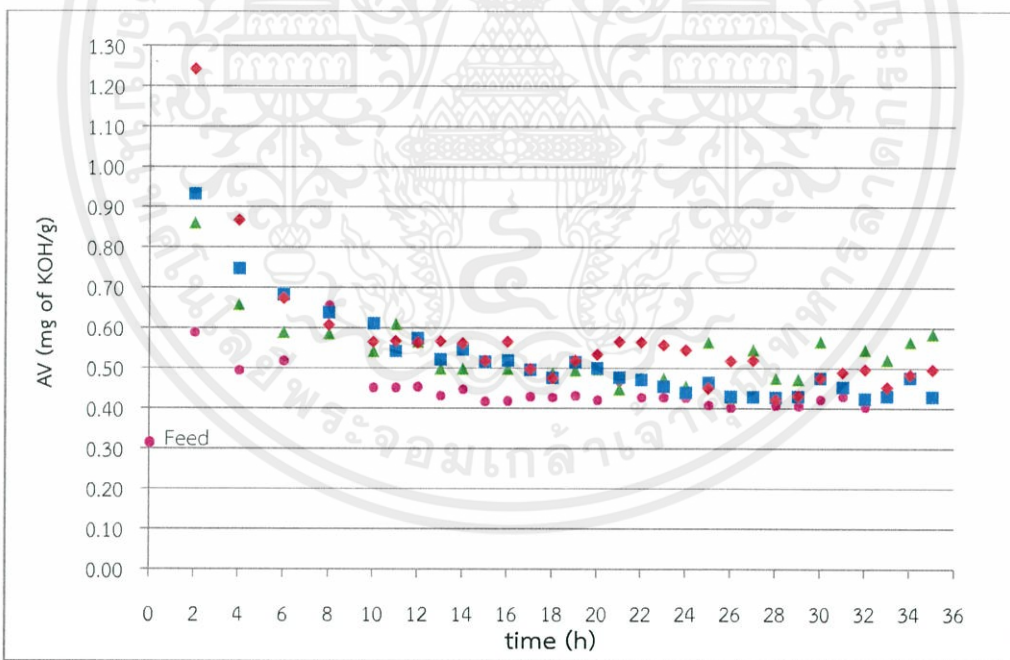
จากรูปที่ 4.4.1-1 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่า ที่อุณหภูมิ 70, 75 และ 80 °C สามารถดูดซับปริมาณ SGs ได้ลดลงประมาณ 80 ถึง 85% จากนั้นประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับ SGs จะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ที่เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 °C การดูดซับของหอดูดซับให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 70 และ 75 °C การดูดซับของหอดูดซับให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C และการดูดซับที่อุณหภูมิ 60 °C การดูดซับของหอดูดซับให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ต่ำที่สุด โดยในช่วงแรกของการดูดซับนั้นหอดูดซับที่อุณหภูมินี้สามารถดูดซับปริมาณ SGs ให้ลดลงได้เพียง 40% ของปริมาณเริ่มต้น จากผลการทดลองระบุได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่หอดูดซับจะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการดูดซับที่มากขึ้น

เมื่อนำตัวอย่างไบโอดีเซลไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ซึ่งตามมาตรฐานไบโอดีเซลเกรดการค้าต้องมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 0.5 mg KOH/g ผลการวิเคราะห์พบว่าสารป้อนมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.317 mg KOH/g ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน และเมื่อนำค่าความเป็นกรดของตัวอย่างไบโอดีเซลที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับ ของหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60, 70, 75 และ 80 °C ไปพลอตกราฟเทียบกัน ได้ผลแสดงตามรูปที่ 4.4.1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



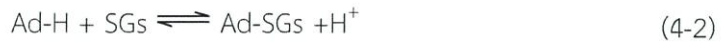
รูปที่ 4.4.1-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกราฟเปอร์เซ็นต์การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ (●) 60 °C (▲) 70 °C (■) 75 °C (◆) 80 °C



รูปที่ 4.4.1-2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ (●) 60 °C (▲) 70 °C (■) 75 °C (◆) 80 °C

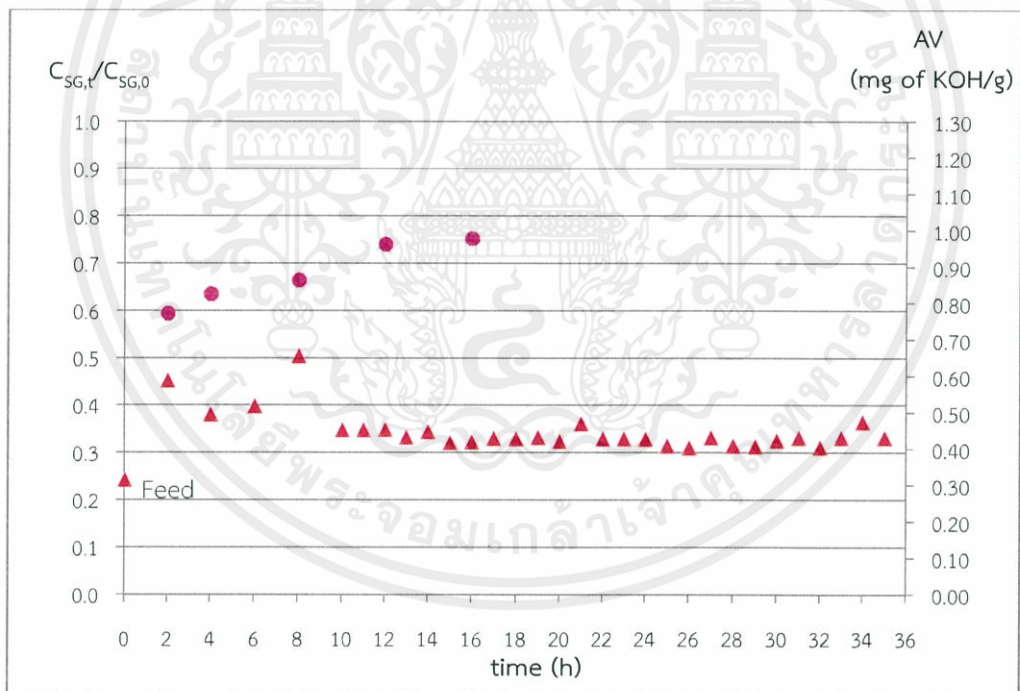
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4.1-2 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับนั้นพบว่าทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ตัวอย่างไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ นั้นมีค่าความเป็นกรดสูงเกินมาตรฐาน และค่าความเป็นกรดในน้ำมันจะค่อยๆ ลดลง และเริ่มคงที่ที่เวลา 20 ชั่วโมง จากสมมติฐานอาจมีความเป็นไปได้ว่า เกิดกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ H^+ ซึ่งเป็นกรด กับ SGs ในน้ำมันไบโอดีเซลดังสมการที่ (4-2)



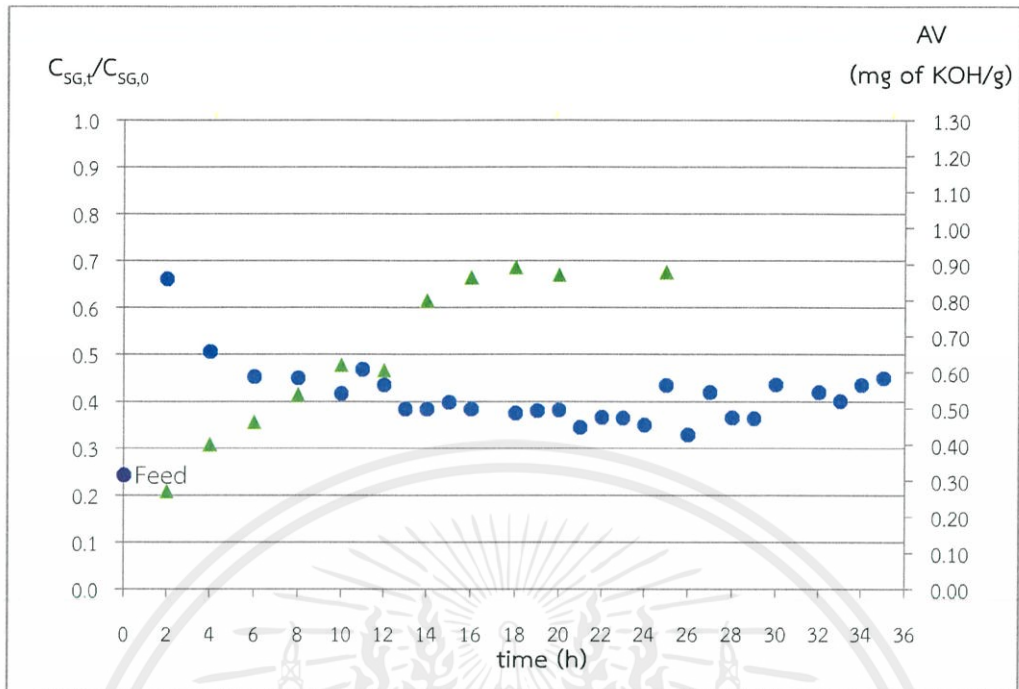
ในช่วงแรกของการดูดซับตัวดูดซับจะดูดซับ SGs ได้ดีมาก ดังนั้น การแลกเปลี่ยนประจุ H^+ กับ SGs จึงค่อนข้างดีมากไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับจึงมีความเป็นกรดสูง และจากกราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของการทดลองทั้ง 4 อุณหภูมินั้น จะเห็นได้ว่า ที่การทดลองการดูดซับที่อุณหภูมิ $80^\circ C$ มีค่า Acid Value เกินมาตรฐาน และที่อุณหภูมิต่ำๆ ค่า Acid Value ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน นั้นหมายความว่า หากต้องทำการดูดซับ SGs ด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R ก็ควรมีหน่วยปฏิบัติการสำหรับการลดค่าความเป็นกรดของน้ำมัน B100 ลง

เมื่อพลอตกราฟเทียบกันระหว่าง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรด ของแต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง แสดงผลดังรูปที่ 4.4.1-3 ถึงรูปที่ 4.4.1-6

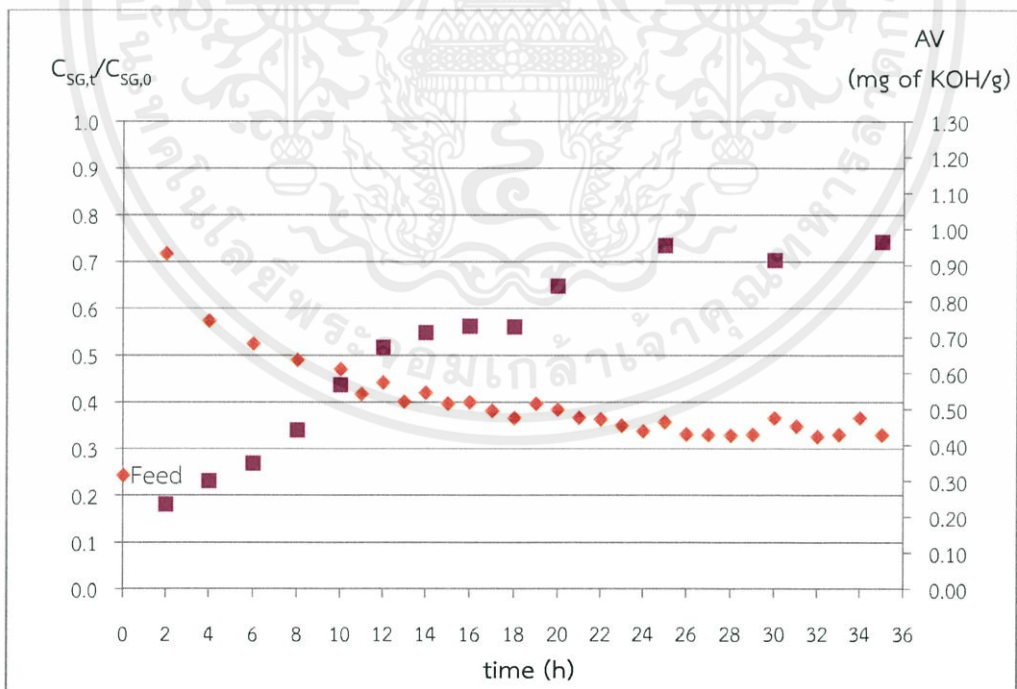


รูปที่ 4.4.1-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ $60^\circ C$ (●) $C_{SG,t} / C_{SG,0}$ (▲) AV

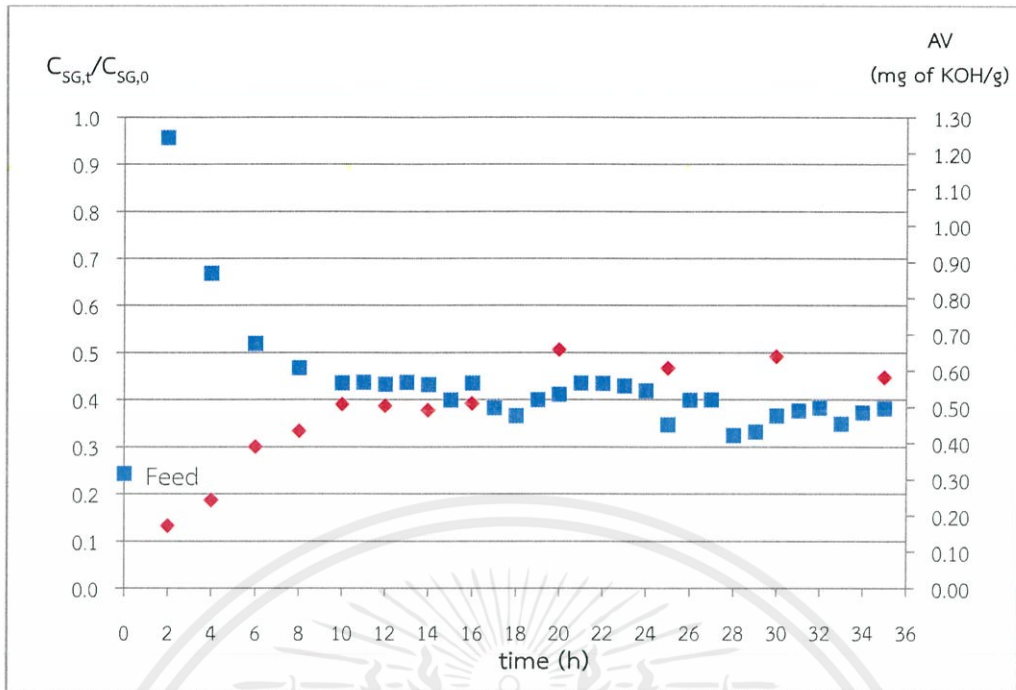
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C (▲) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (●) AV



รูปที่ 4.4.1-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหลอดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 75 °C (■) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (◆) AV



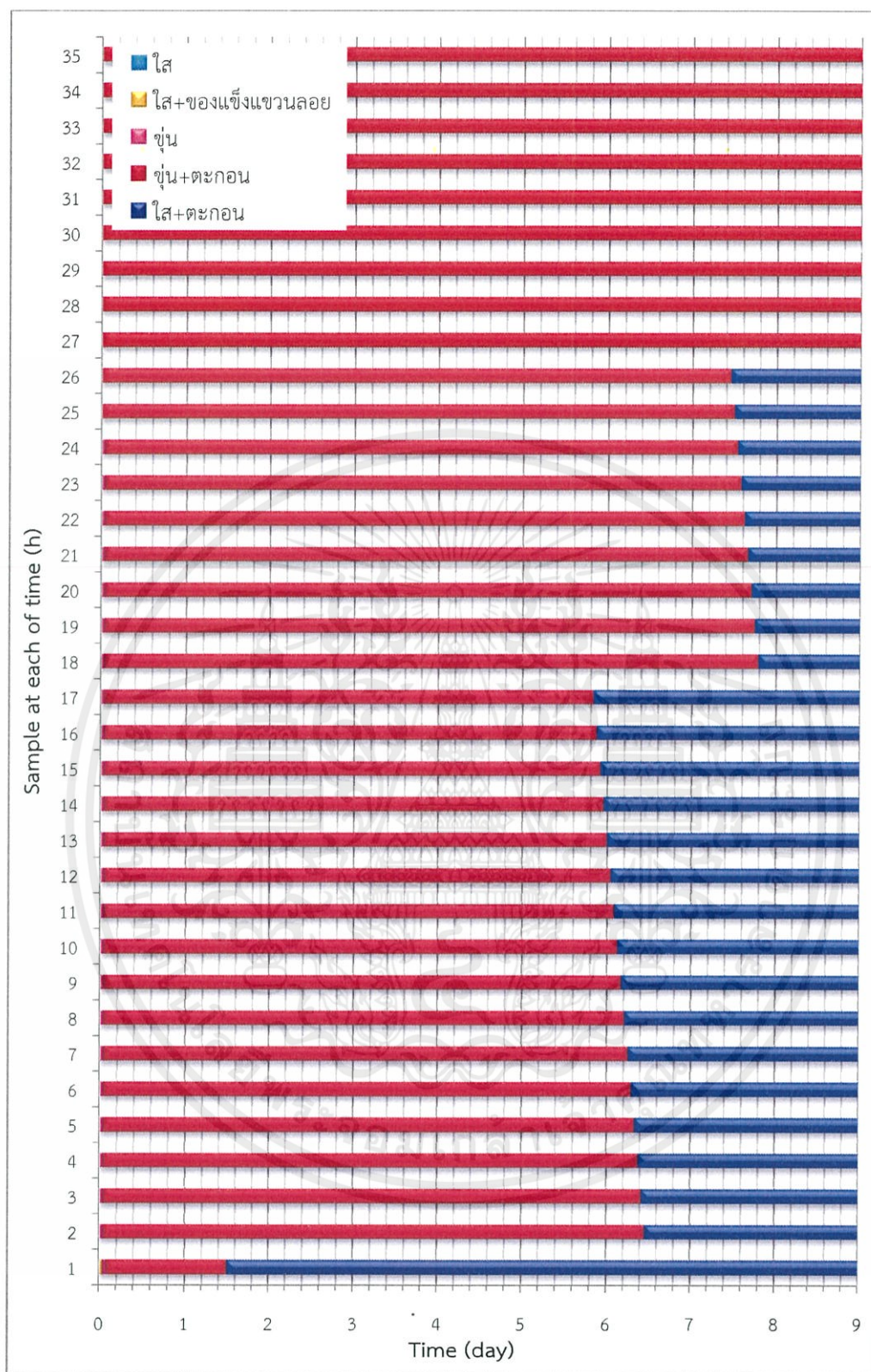
รูปที่ 4.4.1-6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 80 °C (◆) $C_{SG,t}/C_{SG,0}$ (■) AV

จากรูปที่ 4.4.1-4 ถึงรูปที่ 4.4.1-6 แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่เกิดการดูดซับได้ดี ก็จะมีการแลกเปลี่ยนประจุ H^+ กับ SGs ได้ดีเช่นกัน ไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับจากหอดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิด SA-R จึงมีความเป็นกรดสูง ส่วนในรูปที่ 4.4.1-3 แสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลที่ออกจากหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60 °C นั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับ SGs ต่ำ ค่าความเป็นกรดจึงต่ำลงเช่นกัน

ในขณะที่ทำการทดลองการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องนั้น ได้มีการสังเกตการตกตะกอน ของ SGs ในตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งลักษณะของน้ำมันที่ออกมาจากหอดูดซับมีลักษณะดังรูปที่ 4.2.1-6 และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการสังเกตตะกอนก็มีลักษณะเดียวกับการสังเกตตะกอนของตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดซับชนิด SB-R และ WB-R

ผลการสังเกตตะกอนจากตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านหอดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R แสดงผลดังรูปที่ 4.4.1-7 ถึงรูปที่ 4.4.1-10

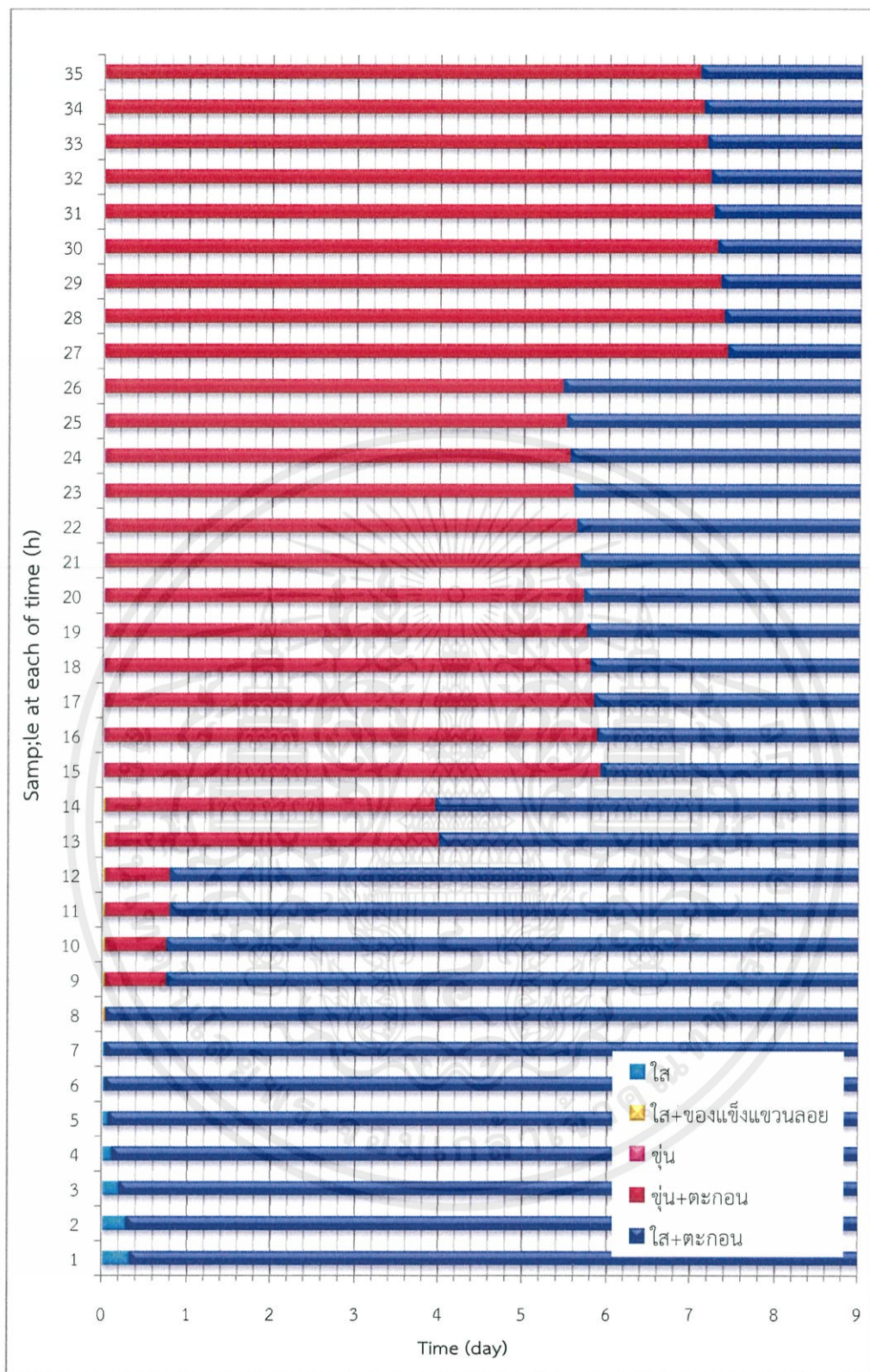
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1-7 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในโพลีเอทิลีนที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

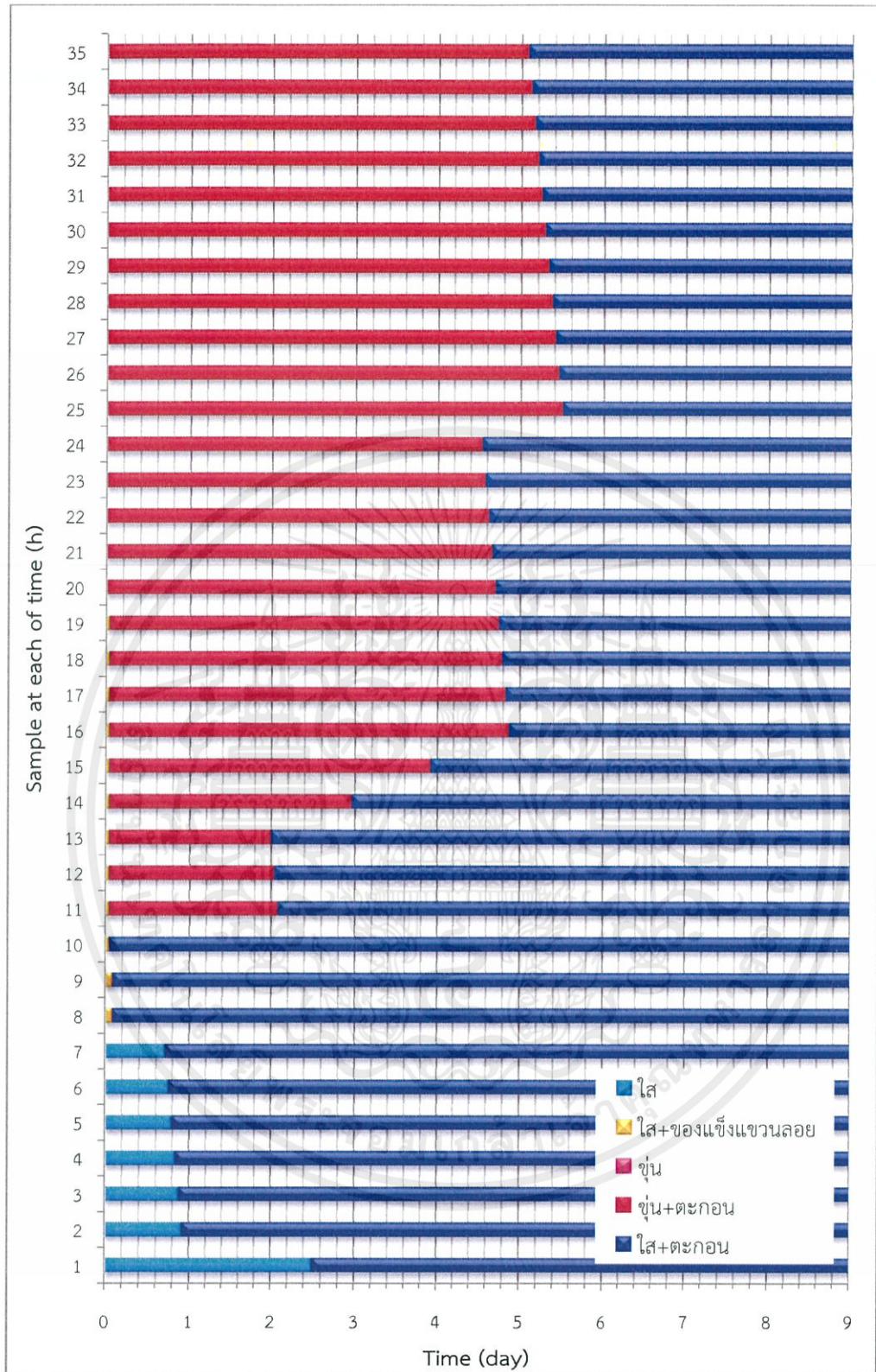
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



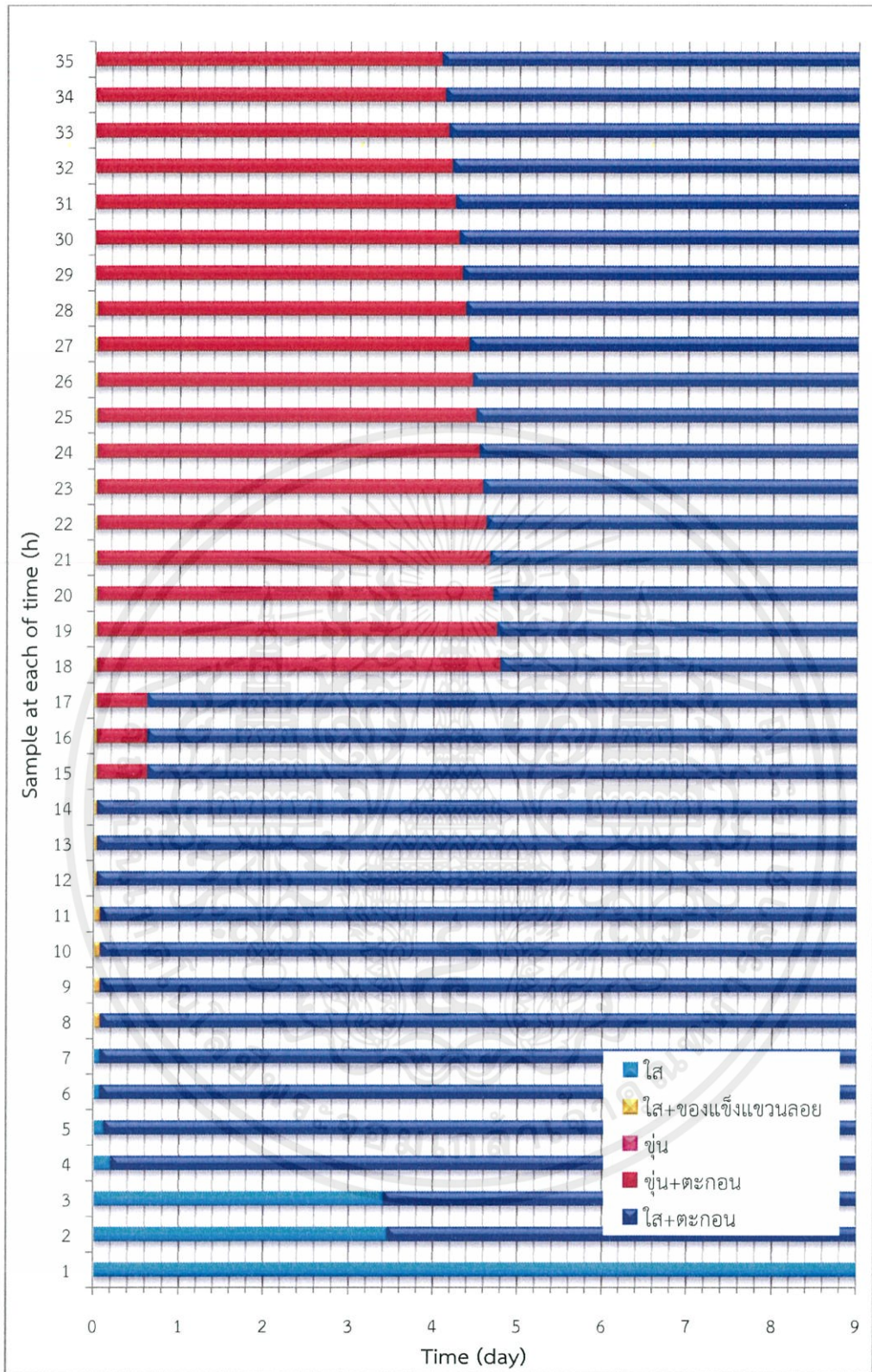
รูปที่ 4.4.1-8 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในโพลีเอทิลีนที่ผ่านหลอดซ้ำด้วยตัวดูดซับ

ชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1-9 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในโพลีเอทิลีนที่ผ่านหอดูดซับด้วยตัวดูดซับ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ชนิด SA-R อุณหภูมิ 75 °C
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1-10 ผลการสังเกตการตกตะกอนของ SGs ในโพลีเอทิลีนที่ผ่านหลอดซัดด้วยตัวดูดซับ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ชนิด SA-R อุณหภูมิ 80 °C
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4.1-7 พบว่าไบโอดีเซลที่ออกจากหอดูดซับที่อุณหภูมิ 60 °C นั้นมีความชุ่มเนื่องจากตะกอนของ SGs แขนงลอยอยู่จากรูปที่ 4.4.1-8 ถึงรูปที่ 4.4.1-10 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการดูดซับ ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับจะมีความใส ไม่มีตะกอนของ SGs และเมื่อเวลาผ่านไป ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับ จะเริ่มมีตะกอนของ SGs แขนงลอยอยู่ แต่ไบโอดีเซลก็ยังคงใสอยู่ และเมื่อเวลาในการดูดซับผ่านไปนานขึ้นประสิทธิภาพของการดูดซับลดลง ไบโอดีเซลที่ออกมาจากหอดูดซับก็จะเริ่มขุ่น และน้ำมันที่มีความชุ่มจากการฟอร์มตะกอนของ SGs จะค่อยๆ เริ่มใส เนื่องจาก SGs ที่อยู่ในไบโอดีเซลจะค่อยๆ ตกลงไปอยู่ที่ก้นขวด

จากการสังเกตตะกอน เทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs จะเห็นแนวโน้มได้ อย่างชัดเจนเลยว่า ช่วงที่มีการดูดซับได้ดีความเข้มข้นของ SGs จะลดลงมาก ไบโอดีเซลก็จะมี ความใส เช่นกัน และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น SGs และความเป็นกรด พบว่าหอดูดซับที่อุณหภูมิ 75 °C นั้นเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานที่สุดเนื่องจากค่าความเป็นกรด ไม่เกินมาตรฐาน และยังสามารถดูดซับ SGs ได้ดี

4.4.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

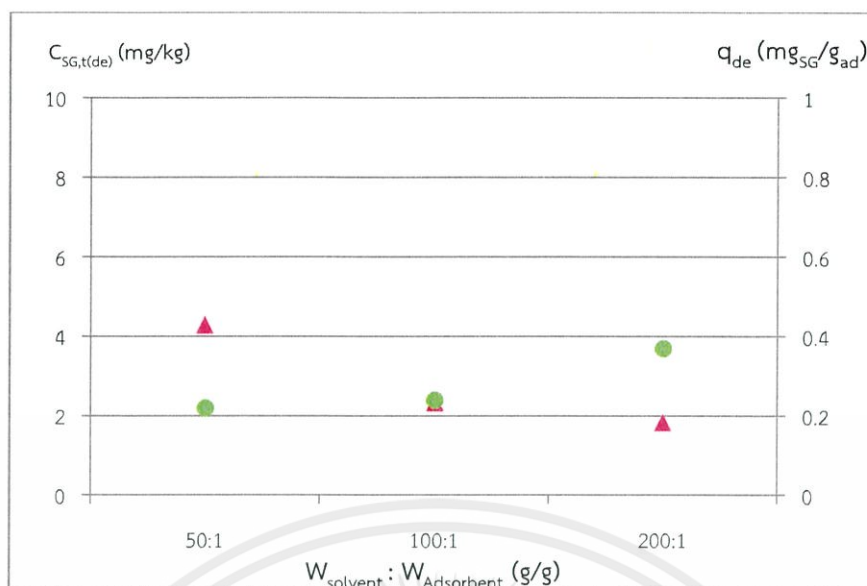
การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ นั้นทำการทดลองโดยการใช้ไอโซโพรพานอล (IPA) เป็นตัวทำละลาย และใช้ตัวดูดซับ SA-R ซึ่งผ่านการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 75 °C ในการทดลองการคายซับแบบกะ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ

การศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้นทำการศึกษาที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1, 100:1 และ 200:1 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4.2-1

จากรูปที่ 4.4.2-1 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ SGs ใน IPA ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 50 °C นั้นให้ผลที่ว่ายิ่งใส่ตัวทำละลายมาก ยิ่งทำให้ความเข้มข้นของ SGs ที่คายซับออกมานั้นเจือจางลง และพบว่าปริมาณ SGs ที่คายออกมาต่อปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ ของแต่ละสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับนั้น มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ให้ปริมาณ SGs ที่คายออกมาประมาณ 0.3 mg/g ของตัวดูดซับ ซึ่งสรุปได้ว่า การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายไม่มีผลต่อการคายซับ ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ 50:1 เนื่องจากเป็นการใช้ตัวทำละลายที่น้อยที่สุด และเกิดประสิทธิภาพในการคายซับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2-1 ความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับต่างๆ
(▲) $C_{\text{SG,t(de)}}$ (●) q_{de}

2) การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ

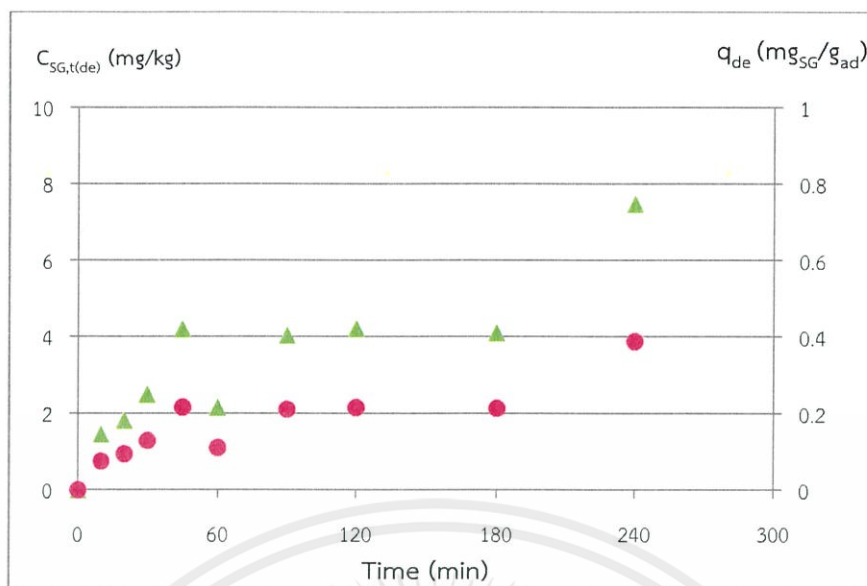
การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมินั้นทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R เกิดการคายซับน้อยมาก จึงทำให้ GC-FID ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณ SGs ที่คายซับออกมาได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลการทำปริมาณวิเคราะห์ของการทดลองหาสัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการคายซับจะพบว่า เครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์นั้นมีความขีดจำกัดในการตรวจวัดสารอยู่ที่ 1.5 µg/g

3) การศึกษาอัตราการคายซับ

การศึกษ้อัตราการคายซับของนั้นทำการทดลองที่สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4.2-2

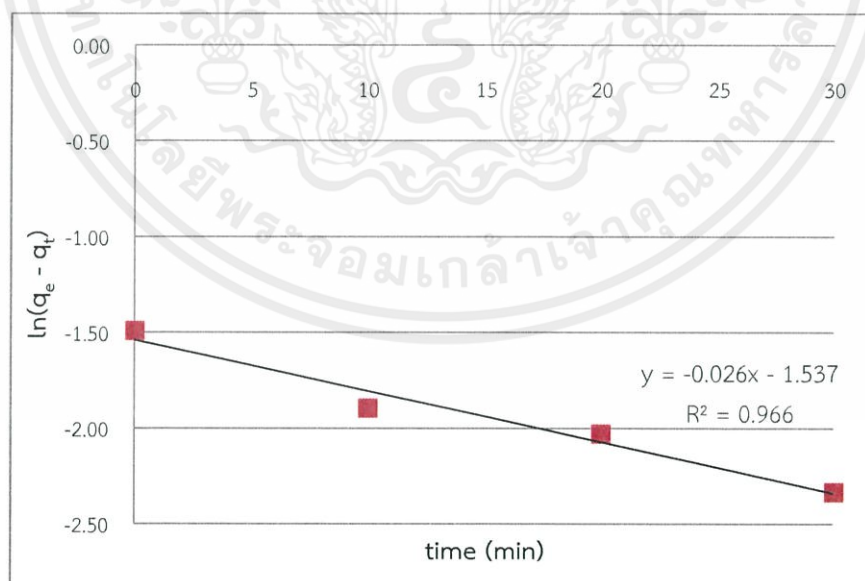
จากรูปที่ 4.4.2-2 พบว่าปริมาณ SGs ที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อัตราการคายซับที่เวลา 45 นาทีแรกเท่ากับ 0.004 mg/g ของตัวดูดซับ และเมื่อการคายซับผ่านไป 45 นาที เริ่มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SGs ที่คายซับออกมา ดังนั้นการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



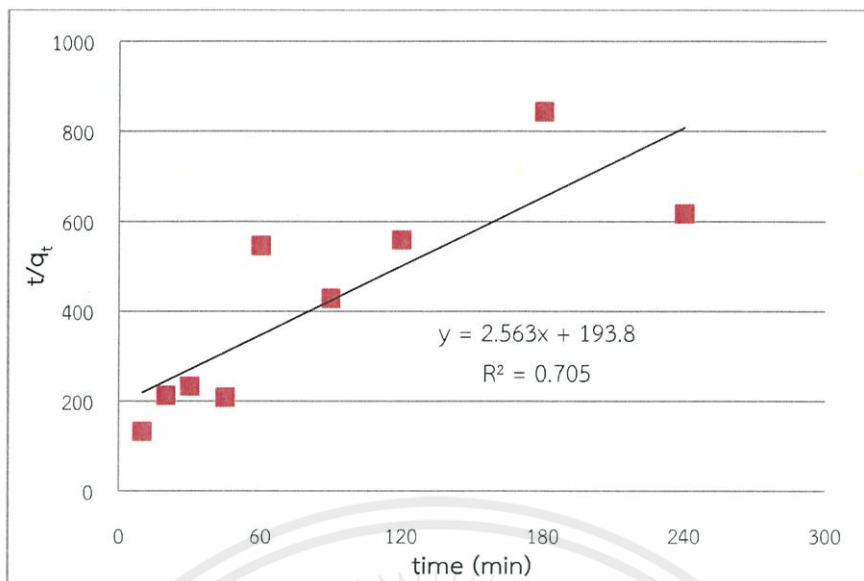
รูปที่ 4.4.2-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs และปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ ใน IPA ที่คายซับออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C
(▲) $C_{SG,t(de)}$ (●) q_{de}

เมื่อนำข้อมูลการคายซับที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการคายซับ โดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และแบบจำลอง pseudo second order โดยใช้สมมติฐาน คือ ในการคายซับ SGs ออกจากเรซินแลกเปลี่ยนประจุ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น ไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือไม่เกิดการดูดซับนั่นเอง ได้ผลดังรูปที่ 4.4.2-3 ถึงรูปที่ 4.4.2-4



รูปที่ 4.4.2-3 แบบจำลอง pseudo first order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2-4 แบบจำลอง pseudo second order ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C

จากรูปที่ 4.4.2-3 ถึงรูปที่ 4.4.2-4 สามารถสรุปข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ได้ดังตารางที่ 4.4-1

ตารางที่ 4.4-1 ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ของการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R

kinetic model		pseudo-first order				pseudo-second order			
Temp (°C)	q _e (exp)	q _e	k ₁	R ²	%error of q _e	q _e	k ₂	R ²	%error of q _e
70	0.23	0.21	0.0267	0.9664	-4.86%	0.39	0.033884	0.7059	42.2%

จากตารางที่ 4.4-1 พบว่า เราสามารถเขียนสมการอัตราการคายซับโดยใช้แบบจำลอง pseudo first order และ pseudo second order ได้ดังตารางที่ 4.4-2

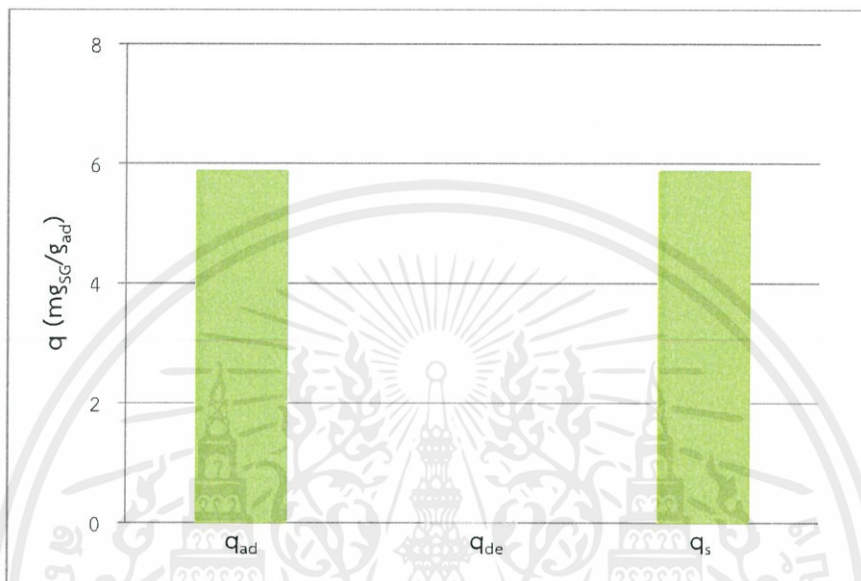
ตารางที่ 4.4-2 สมการอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R

Temp (°C)	pseudo-first order	pseudo-second order
70	$\frac{dq_{de}}{dt} = 0.0267(0.21 - q_{de})$	$\frac{Dq_{de}}{dt} = 0.033884(0.39 - q_{de})^2$

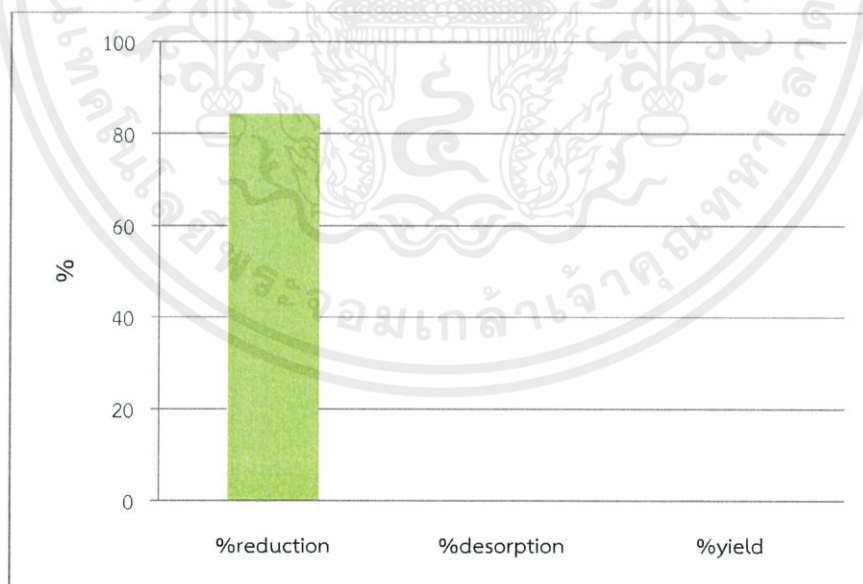
4.4.3 การหาละเอียดผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ในการศึกษาการหาละเอียดผลได้ตัวดูดซับ นั้นทำการทดลองโดยทำการดูดซับ SGs ขใน านการค้ำ ไปโอดีเซลแบบกะโดยใช้ ตัวดูดซับ SA-R เป็นตัวดูดซับโดยใช้สัดส่วนของตัวดูดซับเป็น 2%wt ของ

น้ำมัน ซึ่งการดูดซับนั้นเราทำการทดลองที่อุณหภูมิในการดูดซับแบบกะที่ดีที่สุดของตัวดูดซับ จะทดลองที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยที่ความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลนั้นเท่ากับ 142 mg/kg จากนั้นจึงนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ SGs มาทำการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับด้วย IPA โดยใช้สัดส่วนตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1 ทำการคายซับที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.4.3-1 ถึงรูปที่ 4.4.3-2



รูปที่ 4.4.3-1 ปริมาณ SGs ต่อปริมาณตัวดูดซับ SA-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 70 °C



รูปที่ 4.4.3-2 ร้อยละของการลดลง ร้อยละของการคายซับ และร้อยละของผลได้ของ

ตัวดูดซับ SA-R ที่อุณหภูมิการคายซับ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4.3-1 และรูปที่ 4.4.3-2 พบว่าตัวดูดซับชนิด SA-R นั้นมีความสามารถในการดูดซับ SGs ได้ดีมาก โดยสามารถดูดซับ SGs ได้ประมาณ 85 % เมื่อนำไปตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ ไปคายซับด้วย IPA พบว่า ความสามารถในการคายซับที่อุณหภูมิ 70 °C นั้นมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถที่จะทำปริมาณวิเคราะห์ได้ แสดงว่าเกิดการคายซับออกมาได้ถึง 0 % และเมื่อพิจารณาทั้งการดูดซับ และการคายซับ จะพบว่าในการฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SB-R ให้ร้อยละผลได้อยู่ที่ 0 %

จากผลการทดลอง ทั้ง 3 ส่วนจะพบว่าหากนำตัวดูดซับชนิด SA-R ไปใช้งานตัวดูดซับชนิดนี้สามารถดูดซับ SGs ได้ดีมาก แต่คายซับได้น้อยมากๆ ควรทำการดูดซับ SGs แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 75°C ไม่ควรคายซับเนื่องจากเกิดการคายซับในปริมาณที่น้อย มากๆ การคายซับจะเป็นการเพิ่มต้นทุนไปโดยเปล่าประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (IE-R) ในการดูดซับ สเตอรอลกลูโคไซด์ (SGs) ในไบโอดีเซลโดยใช้หอดูดซับแบบเบดบรรจุเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต และนำ IE-R ที่ผ่านการใช้งานมาศึกษาการคายซับ SGs ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล(IPA) ด้วยชุดทดลองแบบกะเพื่อเป็นแนวทางในการนำ IE-R กลับมาใช้ใหม่ และทำการทดลองดูดซับคายซับแบบกะเพื่อหาร้อยละผลได้ของ SGs (Y_{SG}) ที่คายซับออกมาได้ใน IPA เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพของ IE-R การทดลองโดยใช้หอดูดซับแบบเบดบรรจุที่มี space time เท่ากับ 9.7 นาที แสดงให้เห็นว่า SB-R ดูดซับ SGs ได้ดีที่อุณหภูมิ 60 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 75% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่อยๆลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาผ่านไป 50 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 30% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น เมื่อนำมาทดสอบการคายซับพบว่าสามารถคายซับได้ดีที่อุณหภูมิ 60-70 °C การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายมีผลน้อยต่อการคายซับจึงใช้สัดส่วนระหว่างตัวทำละลายและตัวดูดซับที่เหมาะสมคือ 50:1 และมีค่า Y_{SG} เท่ากับ 39% เรซินWB-R มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60 °C สามารถลดปริมาณ SGs ได้ถึง 60% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่อยๆลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาผ่านไป 30 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 20% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น สามารถคายซับได้ดีที่อุณหภูมิ 50-60 °C สัดส่วนระหว่างตัวทำละลายและตัวดูดซับที่เหมาะสมคือ 50:1 และมี Y_{SG} เท่ากับ 46% เรซินSA-R ทดลองกับหอดูดซับแบบเบดบรรจุที่มี space time เท่ากับ 6.7 นาที พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการใช้ดูดซับ SGs คือ 75 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 85% ในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่อยๆลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาผ่านไป 20 ชั่วโมงคงเหลือประสิทธิภาพการดูดซับประมาณ 25% ของปริมาณที่มีอยู่เริ่มต้น เมื่อทำการคายซับพบว่าปริมาณSGs ที่สามารถคายซับออกมาได้คือ 1.5 μ g/g ซึ่งมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบด้วย GC-FID เรซิน SA-R จึงเป็นตัวดูดซับที่ไม่เหมาะสมจะนำกลับมาใช้ใหม่ เพราะการนำมาคายซับ SGs ออกจะเป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนโดยเปล่าประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Inmok Lee, Lisa M. Pfalzgraf, George B. Poppe, Erica Powers, Troy Haines. “The Role of Sterol Glucosides on Filter Plugging”. [online]. Available : <http://www.biodieselmagazine.com/articles/1566/the-role-of-sterol-glucosides-on-filterplugging/>. (Accessed : October 23, 2014).
- [2] Duangkamol Na-Ranong, PrakobKitchaiya. “Precipitation above cloud point in palm oil based biodiesel during production and storage”. *Fuel*, Vol.122, pp.287–293, 2014.
- [3] Haiying Tang, Rhet De Guzman, Steven Salley, K. Y. Simon Ng. “Comparing Process Efficiency in Reducing SterylGlucosides in Biodiesel”. *J Am Oil ChemSoc*, vol.87, pp.337–345, 2010.
- [4] สุทธิรัตน์ คำบุง. “การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [5] โครงการ เค-ยู ไบโอดีเซล. “ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12 (สืบค้นข้อมูลวันที่ : 15 สิงหาคม 2557)
- [6] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน, “กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/158/15.PDF. (สืบค้นข้อมูลวันที่ : 10 พฤศจิกายน 2557)
- [7] Christie John Geankoplis. “Transport Processes and Separation Processes Principle”. Fourth Edition, Prentice Hall Books, 2005.
- [8] “กระบวนการดูดซับ”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ : 23 สิงหาคม 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] กรณ์มนัส เพชรดี, โฆษิต พันธุ์จินดาวรรณ. “การลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วยวิธีดูดซับแบบกะ”.ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.
- [10] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott. “Unit Operations of Chemical Engineering”.Seventh Edition, McGraw-Hill Books, 2005.
- [11] T. Suttknot and Kenneth J. Hlmmelstel.“Desorption of Phenol from Activated Carbon by Solvent Regeneration”. Ind. Eng. Chem. Fundam., vol.22, pp.420-425, 1983.
- [12] Lisa Pfalzgraf, Inmok Lee, James Foster, George Poppe. “The Effect of Minor Components on Cloud Point and Filterability”.[online].Available : <http://www.biodieselmagazine.com/articles/1566/the-role-of-sterol-glucosides-on-filter-plugging/>. (Accessed : October 23, 2014).
- [13] รัตนากร ยวงสวัสดิ์, กษมาวรรณ เตารัตน์, ดวงกมล ณ ระนอง. “การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก”.วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 31, ฉบับที่ 1, หน้า 37-42 , 2557.
- [14] ASTM D974 – 11:“Standard Test Method forAcid and Base Number by Color-Indicator Titration”

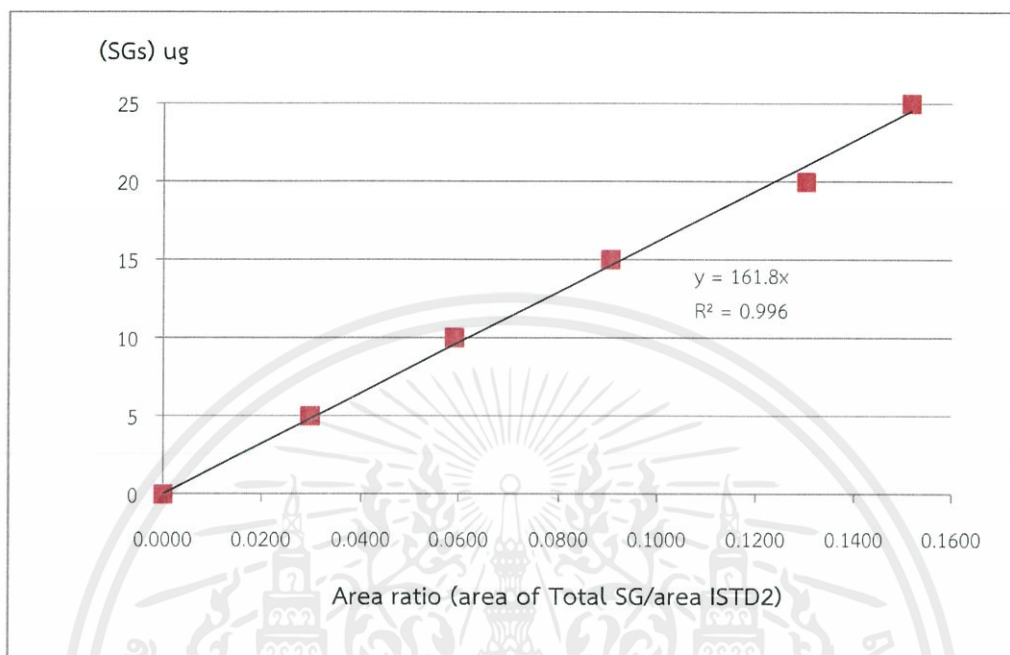
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



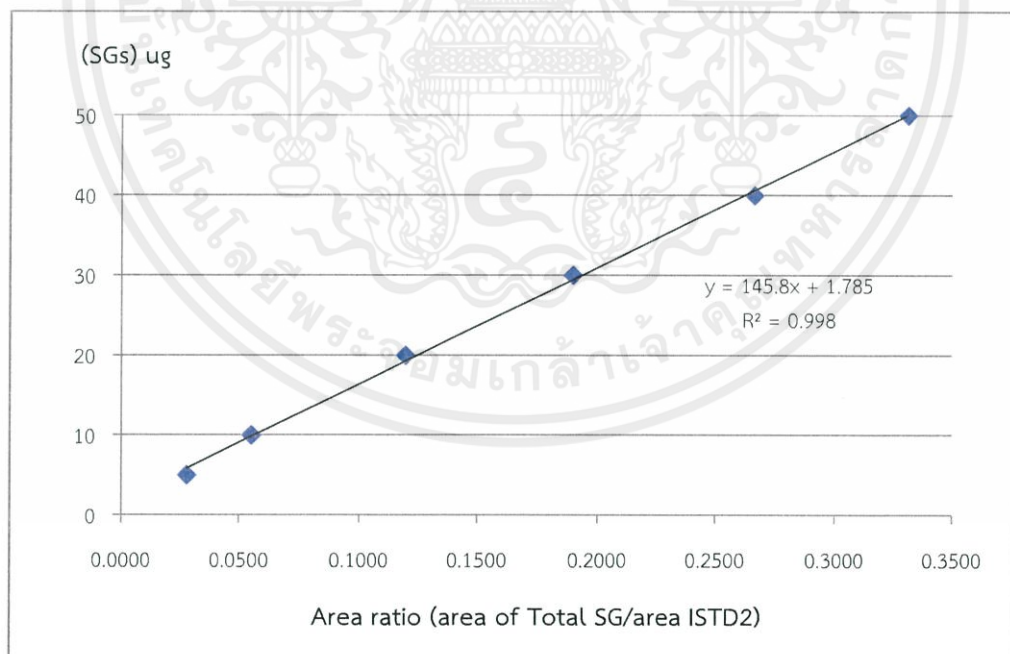
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์(Standard calibration curve)



รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์SGs จากการดูดซับ



รูปที่ ข. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์SGs จากการคายซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการทดลอง

1. เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R)

1.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	108	mg/kg
อัตราการไหลของสารป้อน	=	750	ml/h
ค่าความเป็นกรด	=	0.241	mg KOH/g
ความเข้มข้นของ KOH (C_{KOH})	=	0.0792	mol/L
ปริมาตรของสารละลายแบลนด์ (V_{blank})	=	0.1	ml

ตารางที่ ข.1.1-1 ปริมาณตัวดูดซับ SB-R ในแต่ละคอลัมน์

Columns	Temperature (°C)	$W_{adsorbent}$ (g)
1	60	53.54
2	65	53.70
3	70	52.59

ตารางที่ ข.1.1-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SB-R

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 65 °C		Column 3 : 70 °C	
	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)
2	27.28	0.088	26.84	0.066	22.77	0.065
4	28.04	0.099	30.78	0.066	30.13	0.088
6		0.077		0.111		0.110
8	38.55	0.133	40.97	0.110	43.10	0.131
10	45.76	0.165	42.10	0.122	48.76	0.132
15	44.56	0.154	51.06	0.143	49.09	0.131
20	46.69	0.166	52.22	0.165	51.01	0.133
25	51.17	0.166	59.10	0.200	56.19	0.197
30	51.10	0.200	59.48	0.196	57.27	0.209
35	49.01	0.199	62.04	0.210	59.64	0.222
40	63.72	0.210	61.03	0.211	71.70	0.221
45	66.77	0.221	68.41	0.265	73.55	0.254

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่ได้ปรากฏ

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 65 °C		Column 3 : 70 °C	
	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)
50	70.37	0.218	75.83	0.243	69.70	0.243
55	72.58	0.218	82.83	0.232	76.54	0.244
60	73.98	0.242	77.89	0.244	76.16	0.253

1.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

ตารางที่ ข.1.2-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C

W _{solvent} :W _{ad}	W _{ad} (g)	W _{solvent} (g)	C _{SG} (mg/kg)	q _{de} (mg _{SG} /g _{ad})
50:1	0.4843	24.42	257.12	12.97
100:1	0.2435	24.39	131.14	13.14
200:1	0.1244	24.47	64.44	12.68

ตารางที่ ข.1.2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

Temp (°C)	W _{ad} (g)	W _{solvent} (g)	C _{SG} (mg/kg)	q _{de} (mg _{SG} /g _{ad})
40	0.4819	24.07	240.81	12.03
50	0.4816	24.05	264.37	13.20
60	0.4820	23.66	286.23	14.05
70	0.4848	24.03	326.50	16.18

ตารางที่ ข.1.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 60 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

time (min)	W _{ad} (g)	W _{solvent} (g)	C _{SG} (mg/kg)	q _{de} (mg _{SG} /g _{ad})	ln(q _e - q _t)	t/q _t
10	0.4811	24.42	104.51	5.30	2.41	1.89
20	0.4807	23.75	182.96	9.04	2.01	2.21
30	0.4813	23.94	258.25	12.85	1.29	2.34

45	0.4812	24.13	287.29	14.41	0.73	3.12
60	0.4811	23.83	307.82	15.25	0.21	3.93
90	0.4797	23.94	337.49	16.84		5.34
120	0.4808	23.99	333.15	16.62		7.22
180	0.4824	23.96	304.05	15.10		11.92
240	0.4817	24.05	347.34	17.34		13.84

ตารางที่ ข.1.2-4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SB-R อุณหภูมิ 70°C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

time (min)	W_{ad} (g)	$W_{solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
10	0.4804	24.28	91.16	4.61	2.43	2.17
20	0.4817	24.33	163.50	8.26	2.04	2.42
30	0.4815	24.29	235.74	11.89	1.41	2.52
45	0.4807	24.33	266.11	13.47	0.92	3.34
60	0.4810	24.25	331.97	16.73		3.59
90	0.4813	24.26	316.81	15.97		5.64
120	0.4804	24.27	299.95	15.15		7.92
180	0.4827	24.35	311.72	15.73		11.45
240	0.4821	24.33	323.65	16.33		14.70

1.3 การหาลักษณะผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0) = 142 mg/kg

1.3.1 การดูดซับ

ตารางที่ ข.1.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับ SGs เพื่อนำตัวดูดซับชนิด SB-R ไปคายซับ

Adsorbent	%wt	W_{ad} (g)	W_{oil} (g)	Real C_0 (mg/kg)	C_{SG} (mg/kg)	q_{ad} (mg _{SG} /g _{ad})	%reduction
SB-R (60 °C)	2	0.3007	15.80	138.72	33.97	5.50	75.51
SB-R (70 °C)	2	0.3009	15.57	138.74	41.58	5.03	70.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 การคายซับ

ตารางที่ ข.1.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซับ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SB-R

Adsorbent	W_{ad} (g)	$W_{solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg_{SG}/g_{ad})	q_s (mg_{SG}/g_{ad})	%desorption	%yield
SB-R (60 °C)	0.2425	12.10	69.49	3.47	2.04	63.02	38.38
SB-R (70 °C)	0.2429	12.00	70.68	3.49	1.54	69.43	39.25

2. เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R)

2.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	108	mg/kg
อัตราการไหลของสารป้อน	=	750	ml/h
ค่าความเป็นกรด	=	0.237	mg KOH/g
ความเข้มข้นของ KOH (C_{KOH})	=	0.0792	mol/l
ปริมาตรของสารละลายเบส (V_{blank})	=	0.1	ml

ตารางที่ ข.2.1-1 ปริมาณตัวดูดซับ WB-R ในแต่ละคอลัมน์

Columns	Temperature (°C)	$W_{adsorbent}$ (g)
1	60	38.12
2	65	37.94
3	70	37.57

ตารางที่ ข.2.1-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด WB-R

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 65 °C		Column 3 : 70 °C	
	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg) KOH/g	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg) KOH/g	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg) KOH/g
2	40.56	0.100	49.06	0.176	45.43	0.088
4	47.49	0.110	63.34	0.231	50.80	0.131
8	53.71	0.198	82.53	0.222	58.56	0.242
10	50.01	0.222	92.42	0.242	69.02	0.264
15	57.72	0.231	97.70	0.233	72.82	0.264

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการค้าหรือเผยแพร่ในที่สาธารณะได้

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 65 °C		Column 3 : 70 °C	
	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)
20	84.62	0.244	112.42	0.231	83.46	0.244
25	71.20	0.244	97.19	0.242	87.83	0.242
30	89.25	0.243	179.19	0.243	88.89	0.243
35	89.75	0.243	112.75	0.243	99.59	0.242
40	77.67	0.250	132.95	0.221	250.55	0.239
45	110.81	0.233	130.49	0.244	107.72	0.262
50	89.10	0.241	116.71	0.242	121.00	0.243
55	90.22	0.232	628.95	0.242	169.48	0.243
60	91.77	0.243	330.52	0.240	154.90	0.243

2.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

ตารางที่ ข.2.2-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่อุณหภูมิ 50 °C

W _{solvent} :W _{ad}	W _{ad} (g)	W _{solvent} (g)	C _{SG} (mg/kg)	q _{de} (mg _{SG} /g _{ad})
50:1	0.4768	24.51	199.63	10.26
100:1	0.2373	24.63	111.62	11.59
200:1	0.1189	24.49	52.80	10.88

ตารางที่ ข.2.2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

Temp (°C)	W _{ad} (g)	W _{solvent} (g)	C _{SG} (mg/kg)	q _{de} (mg _{SG} /g _{ad})
40	0.4827	23.98	246.85	12.26
50	0.4814	24.17	246.26	12.37
60	0.4809	23.96	236.56	11.79
70	0.4833	23.91	206.91	10.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 50 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

time (min)	W_{ad} (g)	$W_{solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
10	0.4823	24.02	155.39	7.74	1.39	1.29
20	0.4822	23.93	221.82	11.01	-0.28	1.82
30	0.4812	24.02	226.58	11.31	-0.78	2.65
45	0.4833	24.16	234.72	11.73		3.84
60	0.4819	23.95	237.29	11.79		5.09
90	0.4814	24.10	226.79	11.35		7.93
120	0.4834	24.13	250.62	12.51		9.59
180	0.4816	24.14	240.28	12.04		14.95
240	0.4820	23.94	225.12	11.18		21.46

ตารางที่ ข.2.2-4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด WB-R อุณหภูมิ 60 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

time (min)	W_{ad} (g)	$W_{solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
10	0.4830	24.02	414.76	9.79	0.73	1.02
20	0.4824	24.37	463.90	11.56		1.73
30	0.4812	24.31	496.42	11.53		2.60
45	0.4822	24.24	552.36	12.13		3.71
60	0.4835	24.42	495.83	12.28		4.88
90	0.4828	24.22	516.52	11.71		7.69
120	0.4837	24.24	552.17	11.85		10.13
180	0.4825	24.11	535.26	11.71		15.37
240	0.4835	24.29	511.05	12.11		19.81

2.3. การหาลอยละผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0) = 142 mg/kg

2.3.1 การดูดซับ

ตารางที่ ข.2.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับ SGs เพื่อนำตัวดูดซับชนิด WB-R ไปคายซับ

Adsorbent	%wt	W_{ad} (g)	W_{oil} (g)	Real C_0 (mg/kg)	C_{SG} (mg/kg)	q_{ad} (mg _{SG} /g _{ad})	%reduction
WB-R (50 °C)	2	0.3006	15.91	136.62	34.61	5.40	74.67
WB-R (60 °C)	2	0.3000	15.95	135.97	31.48	5.55	76.84

2.3.2 การคายซับ

ตารางที่ ข.2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซับ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด WB-R

Adsorbent	W_{ad} (g)	$W_{Solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg_{SG}/g_{ad})	q_s (mg_{SG}/g_{ad})	%desorption	%yield
WB-R (50 °C)	0.2408	11.92	82.20	4.07	1.33	75.38	45.09
WB-R (60 °C)	0.2415	12.20	82.21	4.15	1.40	74.79	46.26

3. เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R)

3.1 การดูดซับ SGs ในไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	165	mg/kg
อัตราการไหลของสารป้อน	=	1,000	ml/h
ค่าความเป็นกรด	=	0.317	mg KOH/g
ความเข้มข้นของ KOH (C_{KOH})	=	0.0812	mol/l
ปริมาตรของสารละลายแบลนค์ (V_{blank})	=	0.05	ml

ตารางที่ ข.3.1-1 ปริมาณตัวดูดซับ SA-R ในแต่ละคอลัมน์

Columns	Temperature (°C)	$W_{adsorbent}$ (g)
1	60	44.03
2	70	44.05
3	75	44.40
4	80	43.83

ตารางที่ ข.3.1-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวดูดซับชนิด SA-R

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 70 °C		Column 3 : 75 °C		Column 4 : 80 °C	
	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C_{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)
2	98.17	0.589	34.52	0.860	29.93	0.933	21.98	1.243
4	104.92	0.496	51.02	0.659	38.20	0.747	30.90	0.868
6		0.519	58.85	0.589	44.41	0.683	49.60	0.675
8	109.75	0.656	68.55	0.586	56.13	0.638	55.15	0.608
10		0.453	78.98	0.542	72.17	0.611	64.45	0.566

time (h)	Column 1 : 60 °C		Column 2 : 70 °C		Column 3 : 75 °C		Column 4 : 80 °C	
	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)	C _{SG} (mg/kg)	AV (mg KOH/g)
11		0.453		0.609		0.543		0.568
12	122.38	0.454	76.98	0.566	85.38	0.575	63.98	0.563
14		0.448	101.58	0.499	90.51	0.546	62.43	0.562
15		0.418		0.518		0.517		0.519
16	124.24	0.419	109.73	0.499	92.85	0.520	64.77	0.567
17		0.430				0.496		0.498
18		0.429	113.32	0.488	92.63	0.476	170.19	0.476
19		0.432		0.495		0.516		0.520
20		0.422	110.62	0.497	106.91	0.500	83.65	0.535
21		0.469		0.448		0.477		0.567
22		0.428		0.476		0.472		0.565
23		0.429		0.475		0.455		0.558
24		0.428		0.456		0.440		0.545
25		0.410	111.67	0.565	121.33	0.465	77.10	0.451
26		0.404		0.428		0.431		0.519
27		0.432		0.546		0.429		0.520
28		0.409		0.476		0.428		0.422
29		0.408		0.473		0.430		0.431
30		0.423		0.567	116.05	0.476	81.16	0.476
31		0.431		0.000		0.453		0.490
32		0.405		0.546		0.425		0.498
33		0.431		0.522		0.431		0.453
34		0.475		0.566		0.476		0.484
35		0.431		0.585	122.55	0.429	73.86	0.497

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับแบบกะ

ตารางที่ ข.3.2-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่อุณหภูมิ 70 °C

$W_{\text{solvent}}:W_{\text{ad}}$	W_{ad} (g)	W_{solvent} (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})
50:1	0.4856	25.14	4.28	0.22
100:1	0.2437	25.21	2.33	0.24
200:1	0.1236	25.15	1.84	0.37

ตารางที่ ข.3.2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R ที่สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

Temp (°C)	W_{ad} (g)	W_{solvent} (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})
40	0.4858	24.32	-	-
50	0.4982	24.56	-	-
60	0.4884	24.26	-	-
70	0.4849	24.88	-	-

ตารางที่ ข.3.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับการศึกษาอัตราการคายซับ SGs ออกจากตัวดูดซับชนิด SA-R อุณหภูมิ 70 °C สัดส่วนของตัวทำละลายต่อตัวดูดซับเป็น 50:1

time (min)	W_{ad} (g)	W_{solvent} (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg _{SG} /g _{ad})	$\ln(q_e - q_t)$	t/q_t
10	0.4802	24.82	1.45	0.08	-1.90	133.00
20	0.4792	24.74	1.82	0.09	-2.03	212.73
30	0.4823	24.77	2.50	0.13	-2.33	233.48
45	0.4898	25.09	4.21	0.22		208.75
60	0.4878	24.85	2.16	0.11		545.94
90	0.4852	25.22	4.04	0.21		428.56
120	0.4875	24.84	4.22	0.21		558.40
180	0.4852	25.18	4.11	0.21		844.18
240	0.4831	25.11	7.48	0.39		19.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. การหาร้อยละผลได้ของการดูดซับ คายซับ SGs

ความเข้มข้นของสเตอรอลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0) = 142 mg/kg

3.3.1 การดูดซับ

ตารางที่ ข.3.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับ SGs เพื่อนำตัวดูดซับชนิด SA-R ไปคายซับ

Adsorbent	%wt	W_{ad} (g)	W_{oil} (g)	Real C_0 (mg/kg)	C_{SG} (mg/kg)	q_{ad} (mg_{SG}/g_{ad})	%reduction
SA-R (70 °C)	2	0.3002	15.21	138.00	21.52	5.90	84.41

3.3.2 การคายซับ

ตารางที่ ข.3.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการคายซับ SGs เพื่อฟื้นฟูตัวดูดซับชนิด SA-R

Adsorbent	W_{ad} (g)	$W_{solvent}$ (g)	C_{SG} (mg/kg)	q_{de} (mg_{SG}/g_{ad})	q_s (mg_{SG}/g_{ad})	%desorption	%yield
SA-R (70 °C)	0.2422	12.25	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้