

การดูดซับสเตรียคูลโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การดูดซับสเตอริกกุลโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เกี่ยวข้องที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

ADSORPTION OF STERYL GLUCOSIDES IN BIODIESEL
USING ION-EXCHANGE RESINS



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2013

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ
โดย นางสาวสุทธิรัตน์ คำบุง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



[Handwritten signature]

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)

[Handwritten signature]

.....กรรมการ
(ดร. วลัยรัตน์ จันทอัมพร)

[Handwritten signature]

.....กรรมการ
(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ
โดย	นางสาวสุทธิรัตน์ คำบุง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับของสเตอรินกลูโคไซด์ (SG) ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ 3 ชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน คือ เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรง (SA-R), เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง (SB-R) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน (WB-R) โดยทำการทดลองดูดซับแบบกะในช่วงอุณหภูมิ 65 – 80 °C และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการดูดซับ SG, การศึกษาความสามารถในการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์, การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ SG และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ของเรซินแต่ละชนิด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเรซินทั้งสามชนิดสามารถดูดซับ SG ได้ดี และในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับของ SA-R แต่ไม่มีผลต่อการดูดซับของ SB-R และ WB-R สำหรับการคายซับโดยใช้เมทานอล, เอทานอล, ไอโซโพรพานอล, สารผสมของเฮกเซนกับไอโซโพรพานอล (อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) และอะซิโตน พบว่ากรณี SA-R ตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิดไม่สามารถคายซับ SG ออกได้ แต่ในกรณี SB-R และ WB-R ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้คายซับ SG ออกจากรซิน ในการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ SG ได้นำแบบจำลองแลงเมียร์ ฟรุนดิช และเชิงเส้นมาอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับที่อุณหภูมิต่างกันของเรซินทั้งสามชนิด จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการดูดซับของเรซินทั้งสามชนิดสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้น (linear isotherm) และสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ SG โดยใช้แบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับของเรซินทั้งสามชนิดสามารถอธิบายได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแบบจำลอง pseudo-second-order

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report title	Adsorption of steryl glucosides in biodiesel using ion-exchange resins
By	Suttirat Khambung
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

Abstract

This study focused on adsorption of steryl glucosides in palm oil derived biodiesel using three different ion-exchange resins as adsorbents; strong acid cation exchange resin (SA-R), strong base anion exchange resin (SB-R) and weak base anion exchange resin (WB-R). Batch adsorption experiment was performed in range of 65 – 80 °C. The experimental results were divided to 4 parts; effects of temperature on adsorption efficiency, desorption by using organic solvents, adsorption isotherm and adsorption kinetics. The results showed that in the tested range temperature influenced only on efficiency of SA-R. Desorption experiment by using methanol, ethanol, isopropanol, a mixture of hexane and isopropanol (1:1 vol) and acetone as solvents showed that none of solvent could desorb SG from SA-R while isopropanol was the best solvent for desorption of SG from SB-R and WB-R. Investigation of adsorption isotherm of each resin based on Langmuir, Freundlich and Linear type models revealed that the experimental data were fitted well with linear type model. In addition, adsorption of SG on these three adsorbents based on pseudo-first-order and pseudo-second-order type models agreed well with pseudo-second-order kinetics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ขอขอบคุณ รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา
นิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาในการทำปริญญาานิพนธ์นี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยประเภท
ทุนงบประมาณแผ่นดิน

ขอขอบคุณ คุณภัทริน เหลืองเถลิงพงษ์ที่ช่วยเหลือในทุกๆ ด้านในการทำปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณทฤษฎ์ ไทยกรรม และคุณอินทรา ลัดลอย ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการ
ทดลองบางส่วนในปริญญาานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา แนะนำและสั่ง
สอนตลอดมา

สุทธิรัตน์ คำบุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
รายการสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตการศึกษา	2
1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. ไบโอดีเซล (biodiesel)	3
2.2. คุณสมบัติของไบโอดีเซล	3
2.3. สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล	3
2.4. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)	4
2.5. การดูดซับ (adsorption)	4
2.5.1. กลไกการดูดซับ	5
2.5.2. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ	5
2.6. แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับ	6
2.6.1. แบบจำลองไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (langmuir isotherm)	6
2.6.2. แบบจำลองไอโซเทอร์มฟรุนดิช (freundlich isotherm)	7
2.6.3. แบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น (linear isotherm)	7
2.7. จลนพลศาสตร์การดูดซับ	7
2.7.1. แบบจำลอง pseudo-first-order	7
2.7.2. แบบจำลอง pseudo-second-order	8
2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.7.1. แบบจำลอง pseudo-first-order ยาท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 2.7.2. แบบจำลอง pseudo-second-order ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 8 ใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1. สารเคมี	9
3.2. อุปกรณ์	9
3.3. สภาพะที่ใช้ในการดำเนินงาน	10
3.4. วิธีวิเคราะห์ผล	11
3.4.1. การวิเคราะห์ผลสำหรับการดูดซับ	11
3.4.2. การวิเคราะห์ผลสำหรับการคายซับ	11
3.4.3. การวิเคราะห์ผลสำหรับการศึกษาไอโซเทอร์ม	12
3.4.4. การวิเคราะห์ผลสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์	13
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1. สมบัติของไบโอดีเซล	14
4.2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ	14
4.3. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ	16
4.4. การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ	17
4.4.1. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R	17
4.4.2. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R	26
4.4.3. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R	35
4.5. การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ	44
4.5.1. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R	44
4.5.2. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R	57
4.5.3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R	66
4.6. ตารางสรุปผลการศึกษา	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
สรุปผลการทดลอง	76
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	
ภาคผนวก ก.	79
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
ภาคผนวก ข.	80

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1. ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	3
รูปที่ 2.2. ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลเตทสเตอร์ิลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล	4
รูปที่ 4.2.-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ	15
รูปที่ 4.3.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาณ SG จากการคายซับในตัวทำละลายต่างๆกับ	16
รูปที่ 4.4.1.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)	17
รูปที่ 4.4.1.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ SG ของตัวดูดซับกับความเข้มข้นที่สมดุล	18
รูปที่ 4.4.1.-3 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	19
รูปที่ 4.4.1.-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	20
รูปที่ 4.4.1.-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C	21
รูปที่ 4.4.1.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C	23
รูปที่ 4.4.1.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C	24
รูปที่ 4.4.1.-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C	25
รูปที่ 4.4.2.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)	26
รูปที่ 4.4.2.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ SG ของตัวดูดซับกับความเข้มข้นที่สมดุล	27
รูปที่ 4.4.2.-3 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	28
รูปที่ 4.4.2.-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	29
รูปที่ 4.4.2.-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C	30
รูปที่ 4.4.2.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C	32
รูปที่ 4.4.2.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C	33
รูปที่ 4.4.2.-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C	34
รูปที่ 4.4.3.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)	35
รูปที่ 4.4.3.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ SG ของตัวดูดซับกับความเข้มข้นที่สมดุล	36
รูปที่ 4.4.3.-3 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	37
รูปที่ 4.4.3.-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามนำไปตีพิมพ์ลงในสื่อสิ่งพิมพ์หรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4.3.-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C	39
รูปที่ 4.4.3.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C	41
รูปที่ 4.4.3.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C	42
รูปที่ 4.4.3.-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C	43
รูปที่ 4.5.1.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 65°C	44
รูปที่ 4.5.1.-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 70°C	45
รูปที่ 4.5.1.-3 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 75°C	46
รูปที่ 4.5.1.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	47
รูปที่ 4.5.1.-5 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	48
รูปที่ 4.5.1.-6 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C	49
รูปที่ 4.5.1.-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	51
รูปที่ 4.5.1.-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	52
รูปที่ 4.5.1.-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C	53
รูปที่ 4.5.1.-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C	54
รูปที่ 4.5.1.-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C	55
รูปที่ 4.5.1.-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C	56
รูปที่ 4.5.2.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R ที่อุณหภูมิ 65°C	57
รูปที่ 4.5.2.-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R ที่อุณหภูมิ 70°C	58
รูปที่ 4.5.2.-3 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	59
รูปที่ 4.5.2.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	60
รูปที่ 4.5.2.-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	62
รูปที่ 4.5.2.-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	63
รูปที่ 4.5.2.-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ที่อุณหภูมิ 70°C	64
รูปที่ 4.5.2.-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	65
รูปที่ 4.5.3.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R ที่อุณหภูมิ 65°C	66
รูปที่ 4.5.3.-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R ที่อุณหภูมิ 70°C	67
รูปที่ 4.5.3.-3 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C	68
รูปที่ 4.5.3.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C	69
รูปที่ 4.5.3.-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	71
รูปที่ 4.5.3.-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ทางบริษัทที่มีการดำเนินงานเพื่อใช้ในการดำเนินงานที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามหากพบว่ามีข้อมูลหรือข้อมูลที่ผิดเพี้ยนหรือข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนหรือข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.5.3.-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C	73
รูปที่ 4.5.3.-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C	74
รูปที่ ก.	แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1.	การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	5
ตารางที่ 3.1.	แสดงสภาวะในการดำเนินงานสำหรับการดำเนินการในแต่ละส่วน	10
ตารางที่ 4.1.	แสดงสมบัติของไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้	14
ตารางที่ 4.4.1.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดง ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น	22
ตารางที่ 4.4.2.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดง ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น	31
ตารางที่ 4.4.3.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดง ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น	40
ตารางที่ 4.5.1.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง	50
ตารางที่ 4.5.2.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง	61
ตารางที่ 4.5.3.-1	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง	70
ตารางที่ 4.6.-1	ตารางสรุปผลการศึกษา	75
ตารางที่ ข.1.	แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพตัวดูดซับ	80
ตารางที่ ข.2.1.-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 65 °C	80
ตารางที่ ข.2.1.-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 65 °C	81
ตารางที่ ข.2.1.-3	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 65 °C	81
ตารางที่ ข.2.2.-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 70 °C	82
ตารางที่ ข.2.2.-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 70 °C	82
ตารางที่ ข.2.2.-3	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 70 °C	83
ตารางที่ ข.2.3.-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 75 °C	83
ตารางที่ ข.2.3.-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 75 °C	84
ตารางที่ ข.2.3.-3	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 75 °C	84
ตารางที่ ข.3.1.-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 65 °C	85
ตารางที่ ข.3.1.-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 65 °C	85
ตารางที่ ข.3.1.-3	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 65 °C	86
ตารางที่ ข.3.2.-1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 70 °C	86
ตารางที่ ข.3.2.-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 70 °C	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.3.2.-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 70 °C	87
ตารางที่ ข.3.3.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 75 °C	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

C_0	ความเข้มข้นเริ่มต้น	ppm
C_e	ความเข้มข้นที่สมดุล	ppm
C_{SG}	ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์	ppm
k_1	ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 1	min^{-1}
k_2	ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 2	g/mg.min
K	ค่าคงที่การดูดซับของไอโซเทอร์มเชิงเส้น	$\text{m}^3/\text{kg adsorbent}$
K_F	ค่าคงที่การดูดซับของไอโซเทอร์มฟรุนดิช	mg/g
K_L	ค่าคงที่การดูดซับของไอโซเทอร์มแลงเมียร์	ppm^{-1}
n	adsorption intensity	l/g
q_e	ความสามารถในการดูดซับที่สมดุล	mg/g
q_m	ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับ	mg/g
q_t	ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ	mg/g
W_{ad}	น้ำหนักของตัวดูดซับ	g
W_{oil}	น้ำหนักของน้ำมัน	g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถลดการใช้ น้ำมันจากปิโตรเลียมด้วยการนำมาผสมกับ น้ำมันดีเซลแต่ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลยังคงถูกจำกัดอยู่ เพราะที่ผ่านมามีการพบตะกอนขาวเกิดขึ้น แม้ในไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมคุณภาพของไบโอดีเซลตาม ประกาศของกระทรวงพลังงาน [1] ซึ่งตะกอนขาวอาจเกิดขึ้นได้แม้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและส่งผล เสียต่อระบบเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งาน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจาก น้ำมันปาล์มจะเกิดตะกอนขาวดังกล่าวขึ้นเมื่อไบโอดีเซลมีสารกลุ่มสเตอรอลกลูโคไซด์ เจือปนเป็นปริมาณมากกว่า 20 ppm ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม คือ ดำเนินการง่าย ต้นทุนต่ำ มาใช้ในการลดปริมาณของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพสูง ไม่ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ และผู้บริโภคมีความมั่นใจในการใช้ไบโอดีเซลสูงขึ้น

การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เมื่อต้องการกำจัดสิ่งปนเปื้อนปริมาณน้อยในของเหลว ซึ่งต้นทุนในการดำเนินงานขึ้นกับประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ การกำหนดสภาวะในกระบวนการ ดำเนินงาน และการนำตัวดูดซับที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่อีก ปัจจุบันมีการนำเรซินแลกเปลี่ยนประจุมา ใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอุตสาหกรรมต่างๆมากขึ้น ทั้งนี้เพราะเรซินแลกเปลี่ยนประจุเป็นวัสดุ สิ่งเคราะห์ที่มีความพรุนสูง มีความจุในการดูดซับสารต่างๆ สูง และมีขนาดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ใน หอดูดซับแบบเบดบรรจุที่ปฏิบัติงานง่าย

งานวิจัยนี้เลือกเรซินแลกเปลี่ยนประจุกรดการค้ำที่มีสมบัติต่างกัน คือ เรซินแลกเปลี่ยนประจุ บวกชนิดกรดอย่างแรง (strong acid cation exchange resin; SA-R), เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบ ชนิดเบสอย่างแรง (strong base anion exchange resin; SB-R) และ เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบ ชนิดเบสอย่างอ่อน (weak base anion exchange resin; WB-R) มาทดสอบความสามารถในการ ดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและ จลนพลศาสตร์การดูดซับของเรซินแต่ละชนิด ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญใน การออกแบบกระบวนการดูดซับเพื่อใช้ลดปริมาณของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาการดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุและการคายซับของ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ
- 1.2.2. เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา
- 1.2.3. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุที่อุณหภูมิต่างๆ

1.3. ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. ศึกษาการดูดซับของสเตอริกกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวดูดซับที่เป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนประจุวกชนิดกรดอย่างแรง เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างแรง และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบชนิดเบสอย่างอ่อน ทำการดูดซับแบบกะที่อุณหภูมิช่วง 65 – 80°C
- 1.3.2. ศึกษาการคายซับที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ methanol, ethanol, isopropanol, hexane+isopropanol และ acetone
- 1.3.3. ศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแลงเมียร์ ฟรุนดลิช และเชิงเส้น
- 1.3.4. ศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับ pseudo-first-order และ pseudo-second-order

1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1. ลดปัญหาตัวกรองของเครื่องยนต์อุดตันเนื่องจากการเกิดตะกอนขาวขุ่นของสเตอริกกลูโคไซด์
- 1.4.2. เพื่อลดต้นทุนจากค่าใช้จ่ายในการซื้อตัวดูดซับ
- 1.4.3. สามารถนำค่าคงที่ที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ SG และค่าคงที่จากจลนพลศาสตร์การดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุที่อุณหภูมิต่างๆ ไปใช้ในการออกแบบหอดูดซับได้

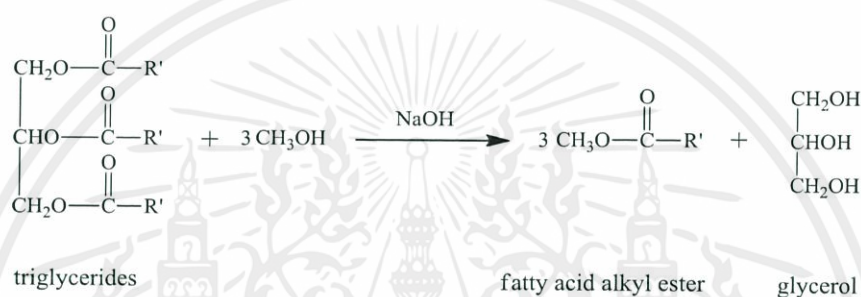
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ไบโอดีเซล (biodiesel)

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากทั้งน้ำมันพืชและไขมันสัตว์โดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (transesterification) โดยทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลกอฮอล์ และมีสารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นสารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester) และมีกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลพลอยได้



รูปที่ 2.1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.2. คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีข้อแตกต่างกันคือ ไบโอดีเซลเป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 °C ส่วนน้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 64 °C นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำและนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้งานกับเครื่องดีเซลรอบสูงได้

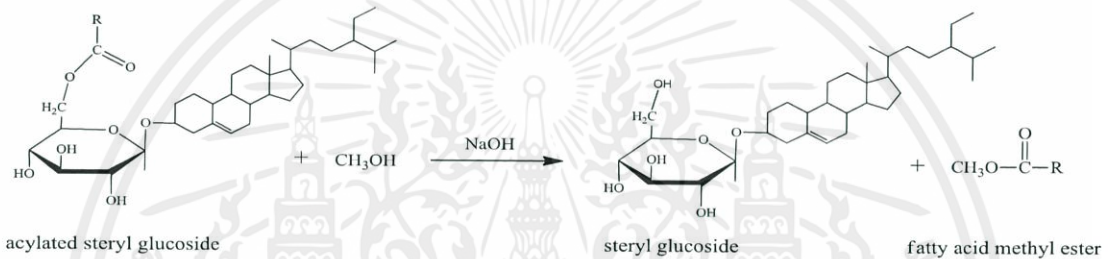
2.3. สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

สิ่งเจือปนในไบโอดีเซลมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาทำไบโอดีเซล และมาจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides) ไดกลีเซอไรด์ (diglycerides) ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)

สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารประกอบระหว่างไฟโตสเตอรอลและกลูโคสซึ่งยึดเกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ในธรรมชาติมักพบสเตอริลกลูโคไซด์ในรูปของเอซิเลเตสเตริลกลูโคไซด์ (acylated steryl glucosides; ASG) ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถละลายในไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วเช่นเดียวกันได้ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนอกจากน้ำมันจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้ว สารประกอบเอซิเลเตสเตริลกลูโคไซด์ยังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยเช่นกัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบสเตอริลกลูโคไซด์ขึ้น และเนื่องจากสารประกอบสเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารที่มีขั้วเล็กน้อย ความสามารถในการละลายในไบโอดีเซลจึงไม่ดีเทียบเท่ากับเอซิเลเตสเตริลกลูโคไซด์ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความสามารถในการละลายของสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลก็ลดลงด้วย ก่อให้เกิดเป็นตะกอนสีขาวขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาตัวกรองของเครื่องยนต์อุดตัน



รูปที่ 2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิเลเตสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

2.5. การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ถูกดึงดูดเข้ามาติดที่ผิวของสารดูดซับ (adsorbent) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิในการดูดซับ เวลาในการดูดซับ การดูดซับสามารถแบ่งตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับออกเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) ดังตารางที่ 2.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	แรงโคเวเลนต์
ค่าความร้อนของการดูดซับ	ต่ำกว่า 20 kJ/mol	50-400 kJ/mol
อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
รูปแบบชั้นของการดูดซับ	monolayer และ multilayer	monolayer
การประยุกต์ใช้	สามารถหาพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดรูพรุนของตัวดูดซับได้	สามารถหาอัตราการดูดซับและคายซับได้

2.5.1. กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากแก๊สหรือของเหลวมายังของเหลวหรือของแข็งมาเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน (intraparticle diffusion หรือ pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 การดูดซับ (adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดของตัวถูกดูดซับบนผิวในรูพรุนของพื้นผิวตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะนี้อาจเกิดการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือแรงทางเคมี หรือเกิดขึ้นทั้งสองชนิดพร้อมกัน

2.5.2. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับพิจารณาได้จากค่าร้อยละการลดลงของการดูดซับ (percentage of reduction) ปริมาณการดูดซับ (adsorption amount) และการเลือกดูดซับ (selectivity)

1. ร้อยละการลดลงของการดูดซับ (percentage of reduction; %reduction)

สมการร้อยละการลดลงเป็นสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารที่ลดลงที่เวลาใดๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น คำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

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

2. ปริมาณการดูดซับ (adsorption amount)

สมการปริมาณการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ คำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

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

3. การเลือกดูดซับ (selectivity)

สมการการเลือกดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของการเลือกดูดซับโดยรวมของสาร A เมื่อเปรียบเทียบกับสารอื่น ยกตัวอย่างกรณีที่มีตัวถูกดูดซับ 2 ชนิด (สาร A และสาร B) ผสมกันอยู่ คำนวณได้จากสมการที่ (2-3)

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

2.6. แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับ

แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่สมดุลกับความสามารถในการดูดซับที่สมดุล ซึ่งสามารถนำค่าคงที่ที่ได้จากไอโซเทอร์มการดูดซับไปใช้ในการออกแบบหอดูดซับได้ แบบจำลองไอโซเทอร์มที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดิช นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองไอโซเทอร์มอื่นๆ มาอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้อีกด้วย คือ แบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น

2.6.1. แบบจำลองไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

แบบจำลองไอโซเทอร์มแลงเมียร์สามารถใช้อธิบายการดูดซับของโมเลกุลแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) ได้

$$q_e = \frac{K_L C_e q_m}{1 + K_L C_e} \quad (2-4)$$

จัดสมการ (2-4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L C_e q_m} + \frac{1}{q_m} \quad (2-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2. แบบจำลองไอโซเทอร์มฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2-6)$$

จากสมการ (2-6) จะเห็นว่า ความสามารถในการดูดซับที่สมดุล (q_e) แปรผันตรงกับความเข้มข้นที่สมดุล (C_e) ยกกำลังค่าคงที่ (n)

จัดสมการ (2-6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2-7)$$

2.6.3. แบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น (linear isotherm)

แบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นสามารถใช้อธิบายการดูดซับในระบบที่มีสารถูกดูดซับน้อย ซึ่งความสามารถในการดูดซับขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ

$$q_e = K C_e \quad (2-8)$$

2.7. จลนพลศาสตร์การดูดซับ

จลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ กับเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวแปรในการนำมาออกแบบหอดูดซับได้ แบบจำลองทางจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นิยมใช้กัน ได้แก่ แบบจำลอง pseudo-first-order และแบบจำลอง pseudo-second-order

2.7.1. แบบจำลอง pseudo-first-order

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่นิยมใช้กัน

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (2-9)$$

อินทิเกรตสมการ (2-9) โดยขอบเขต $t=0$ ถึง $t=t$ และ $q_t=0$ ถึง $q_t=q_t$

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)} = k_1 \int_0^t dt \quad (2-10)$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2-11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2. แบบจำลอง pseudo-second-order

แบบจำลองนี้สามารถอธิบายการดูดซับทางเคมีโดยตัวถูกดูดซับสามารถเกิดแรงทางเคมีกับ active site ของตัวดูดซับได้เกิดเป็นการดูดซับของโมเลกุลแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2-12)$$

อินทิเกรตสมการ (2-12) โดยขอบเขต $t=0$ ถึง $t=t$ และ $q_t=0$ ถึง $q_t=q_t$

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)^2} = k_2 \int_0^t dt \quad (2-13)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2-14)$$

2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tang และคณะ [2] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บสารผสมระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อปริมาณของตะกอนในสารผสม โดย 8 ชั่วโมงแรกไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณตะกอนระหว่าง B20 กับ B100 แต่จะเห็นความแตกต่างเมื่อ 24 ชั่วโมงเป็นต้นไป และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นในสารผสมโดยใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า องค์ประกอบหลักเป็นสเตอรอลกลูโคไซด์

Tang และคณะ [3] ได้ศึกษากระบวนการต่างๆ ได้แก่ การกรองที่อุณหภูมิต่ำ (cold soak filtration) การดูดซับ (adsorption) การเหวี่ยงแยก (centrifugation) และการกลั่นสุญญากาศ (vacuum distillation) เพื่อลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล พบว่ากระบวนการกลั่นสุญญากาศสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองได้มากที่สุด จาก 161 ppm ถึงปริมาณที่ไม่สามารถตรวจพบได้ ส่วนการกรองที่อุณหภูมิต่ำ การดูดซับ และการเหวี่ยงแยกสามารถลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ได้ถึง 15-19 ppm แต่เนื่องด้วยกระบวนการกลั่นสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าการดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ย่อยต่อการดำเนินการและต้นทุนต่ำ เนื่องจากสามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

Na-Ranong และคณะ [4] ได้ศึกษาการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวดูดซับเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ความสามารถในการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ $128 \text{ mg}_{\text{SSGs}}/\text{g}_{\text{resin}}$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1. สารเคมี

ไบโอดีเซล

- B100 เกรดการค้า เป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม มีสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) ร้อยละ 96.5 โดยมวล
- B100 เตรียมในห้องปฏิบัติการเป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มมี FAME ร้อยละ 97.5 โดยมวล

ตัวดูดซับ

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

3.2. อุปกรณ์

3.2.1. เครื่องเขย่าสาร

3.2.2. ไมโครปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. สภาวะที่ใช้ในการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1. แสดงสภาวะในการดำเนินงานสำหรับการดำเนินการในแต่ละส่วน

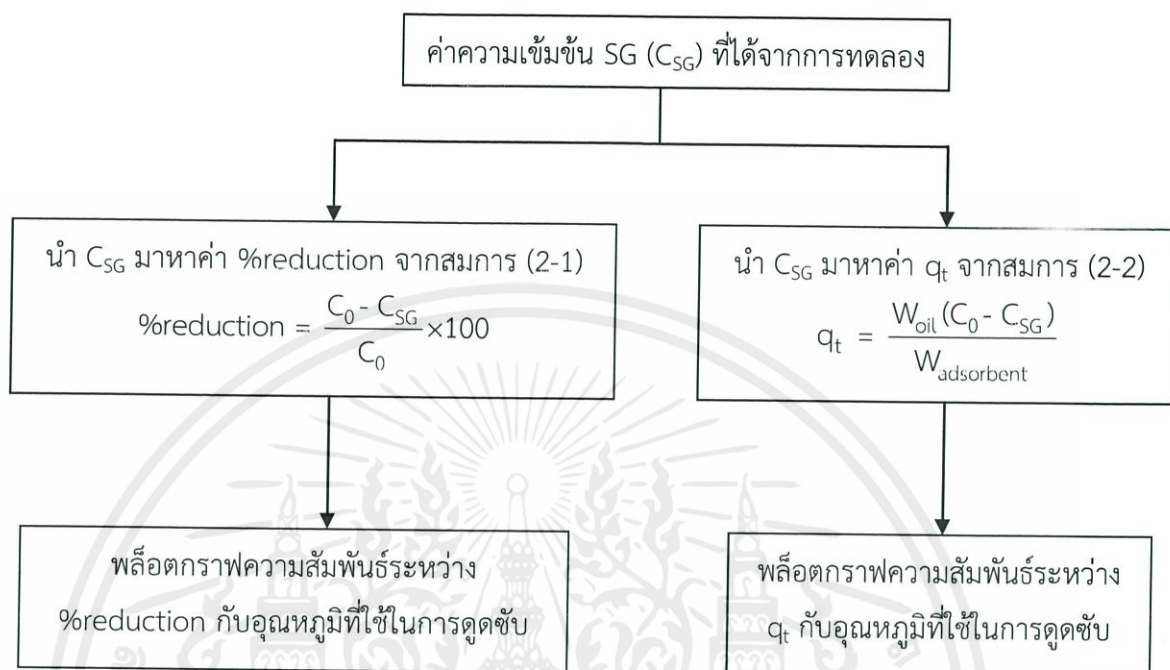
สภาวะในการดำเนินงาน	การดำเนินงาน			
	การดูดซับ	การคายซับ	ไอโซเทอร์มการดูดซับ	จลนพลศาสตร์การดูดซับ
เกรดของ B100	การค้า	การค้า	ห้องปฏิบัติการ	ห้องปฏิบัติการ
ความเข้มข้น SG เริ่มต้น (ppm)	97	97	79	73
ปริมาณเรซิน (%wt)	2	0.5	0.05-4	0.75, 1.5
อุณหภูมิ (°C)	65-80	60	65-75	65-75
ปริมาตร (ml)	10	50	10	65
ชนิดตัวทำละลาย	-	methanol, ethanol, IPA, hexane+IPA และ acetone	-	-
ความเร็วรอบ (rpm)	230	230	230	230
เวลาในการดูดซับ (hr)	2	2	10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

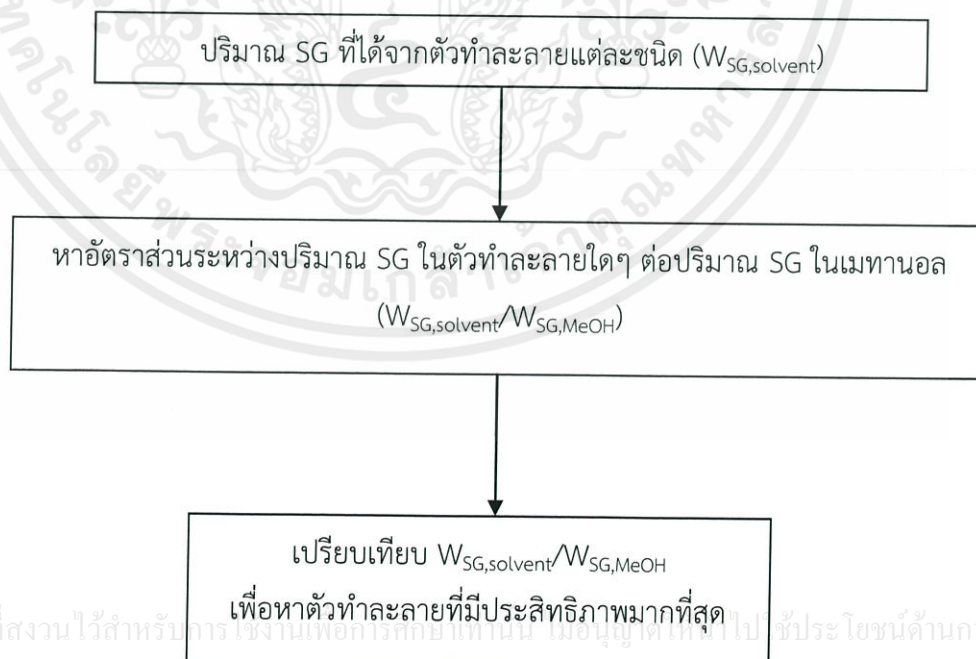
3.4. วิธีวิเคราะห์ผล

วิธีวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามการดำเนินงานในตารางที่ 3.1. ดังนี้

3.4.1. การวิเคราะห์ผลสำหรับการดูดซับ มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

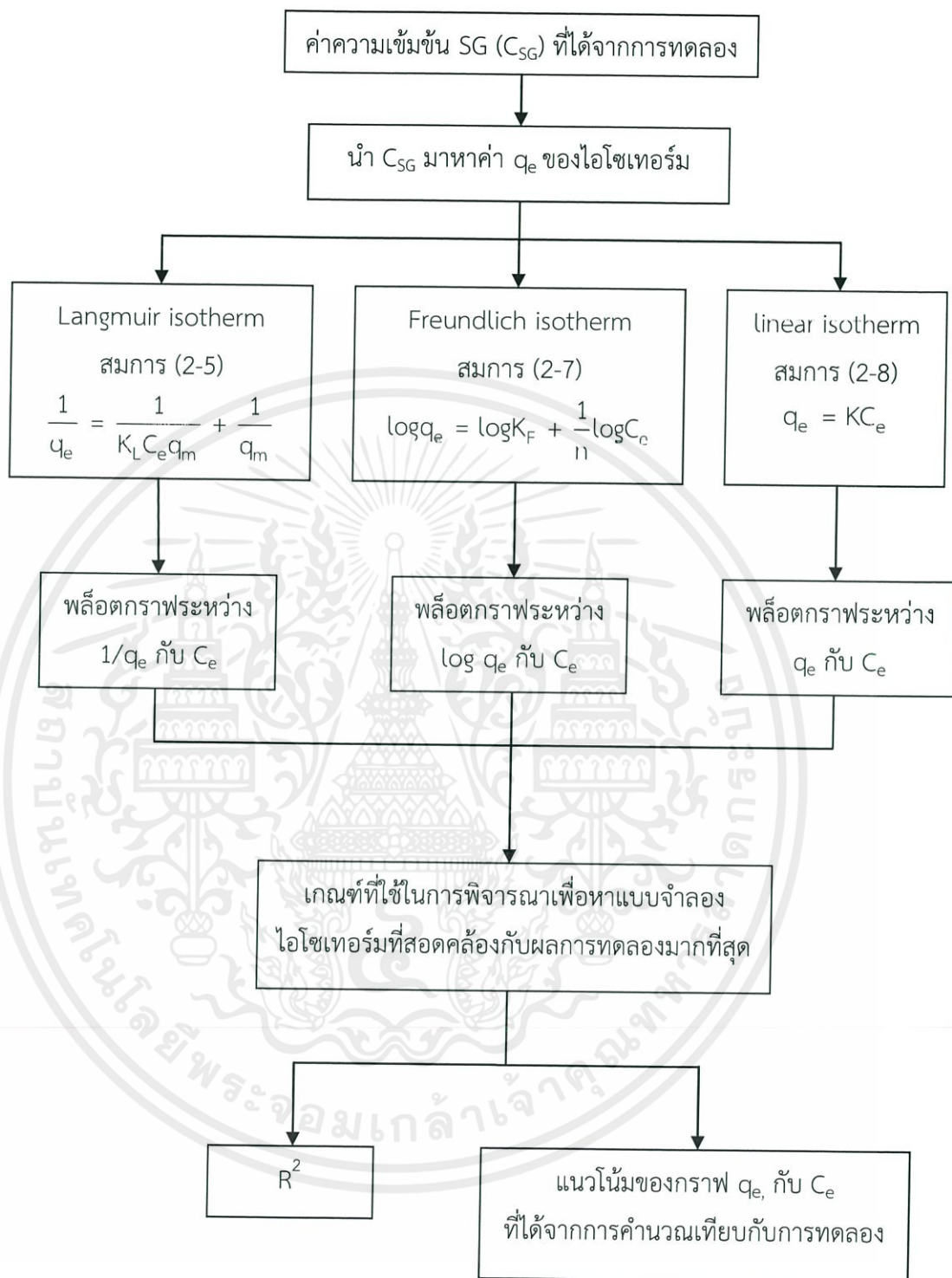


3.4.2. การวิเคราะห์ผลสำหรับการคายซับ มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้



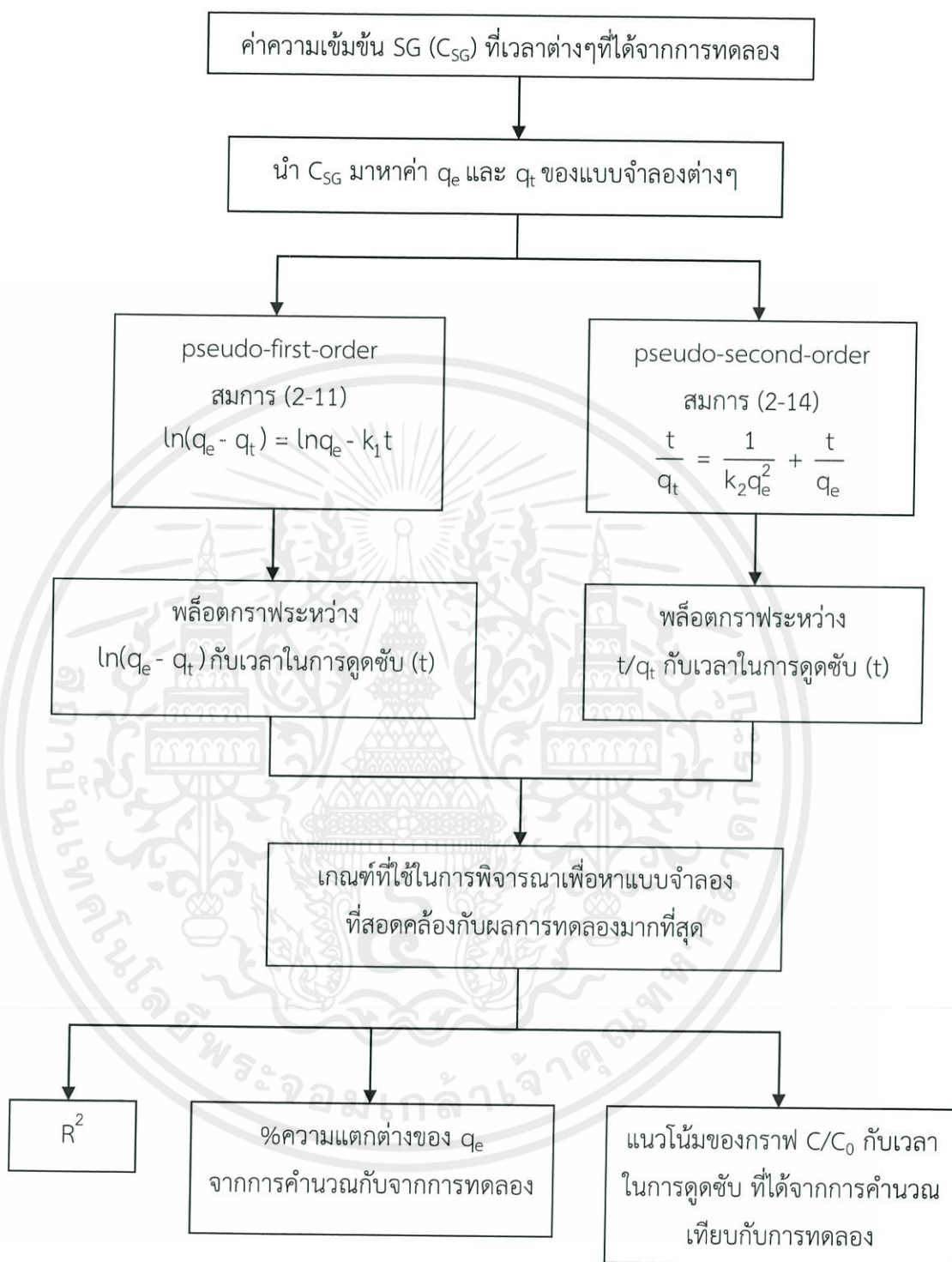
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใจไป ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3. การวิเคราะห์ผลสำหรับการศึกษาไอโซเทอร์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4. การวิเคราะห์ผลสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ สมบัติของไบโอดีเซล ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ ศึกษาการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ และตารางสรุปผลการศึกษา

4.1. สมบัติของไบโอดีเซล

เมื่อนำไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไปทำปริมาณวิเคราะห์ด้วย GC-FID ได้ผลดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1. แสดงสมบัติของไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

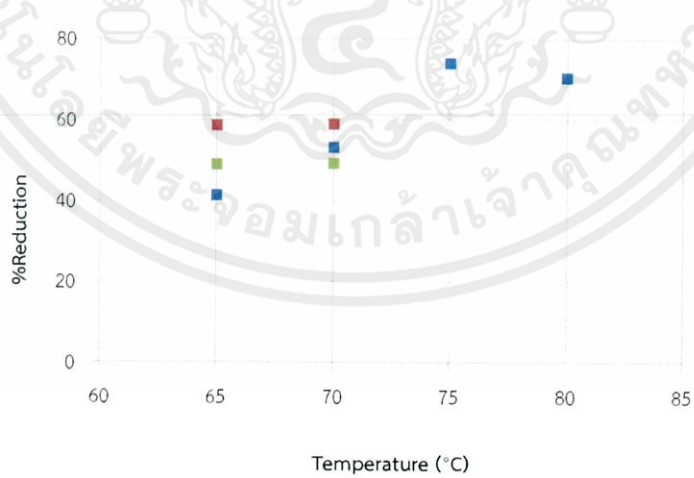
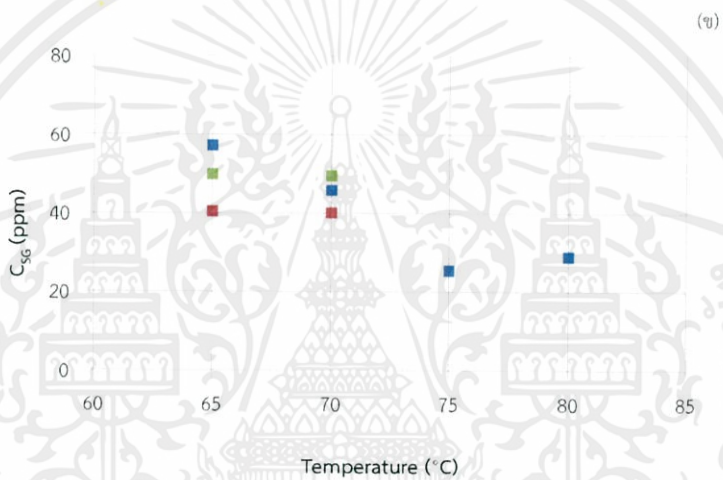
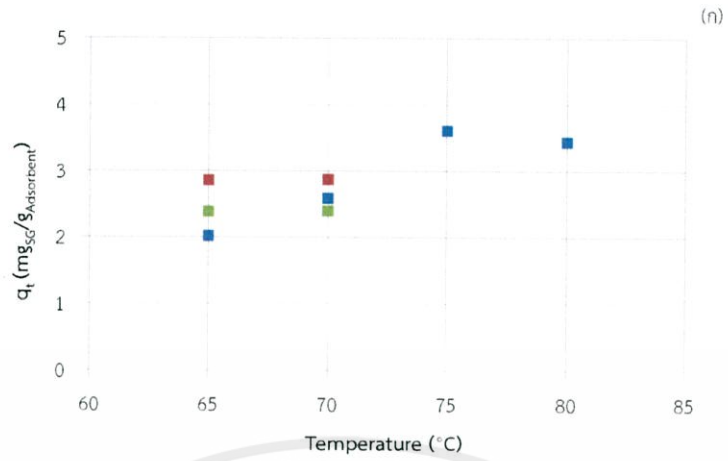
สมบัติของไบโอดีเซล	การดำเนินงาน			
	การดูดซับ	การคายซับ	ไอโซเทอร์มการดูดซับ	จลนพลศาสตร์การดูดซับ
เกรดของ B100	การค้า	การค้า	ห้องปฏิบัติการ	ห้องปฏิบัติการ
ความเข้มข้น SG เริ่มต้น (ppm)	97	97	79	73

4.2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ

การทดลองการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลเกรดการค้าด้วย SA-R, SB-R และ WB-R ที่อุณหภูมิ 65, 70, 75 และ 80 °C ได้ผลแสดงผลตามรูปที่ 4.2.-1

จากรูปที่ 4.2.-1 จะเห็นว่าอุณหภูมิมิอิทธิพลต่อการดูดซับ SG ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา โดยในช่วง 65 ถึง 75°C การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ SA-R สามารถดูดซับ SG ได้มากขึ้นและลดความเข้มข้นของ SG ในไบโอดีเซลได้ดีขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75°C การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ SA-R ดูดซับได้น้อยลง ส่วน SB-R และ WB-R อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

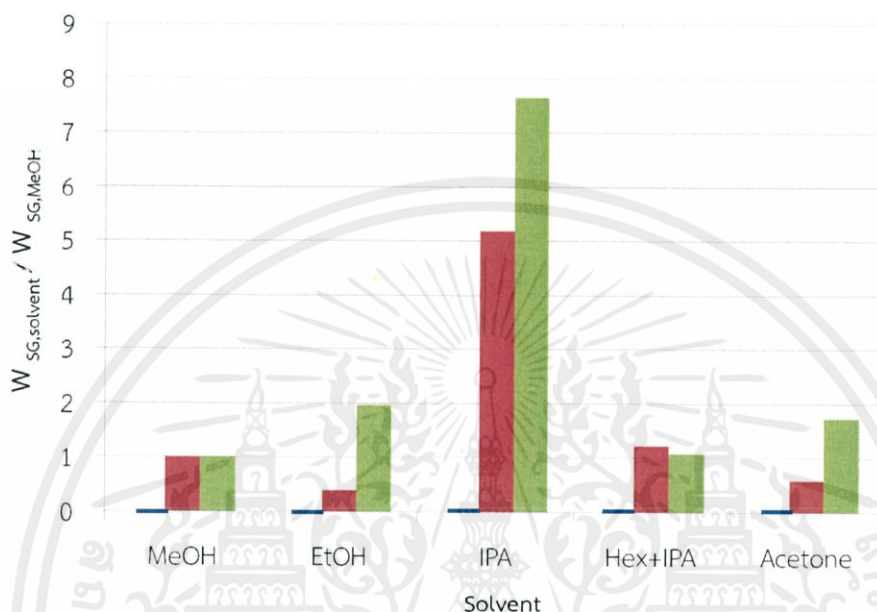


รูปที่ 4.2.-1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น" อีก
 (ก) ความเข้มข้นของ SG ที่เหลือในไบโอดีเซลจากการดูดซับ (ข) ปริมาณ SG ที่ดูดซับ
 ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (ค) ร้อยละการลดลงของปริมาณ SG ในไบโอดีเซลหลัง
 ผ่านการดูดซับ (■) SA-R, (■) SB-R, (■) WB-R

4.3. การคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

การคายซับของ SG ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุ โดยทำการทดลองการคายซับของ SG ใน SA-R, SB-R และ WB-R ด้วยการใช้ตัวทำละลายทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ methanol, ethanol, hexane+isopropanol, isopropanol และ acetone แสดงผลตามรูปที่ 4.3.-1



รูปที่ 4.3.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาณ SG จากการคายซับในตัวทำละลายต่างๆกับปริมาณ SG จากการคายซับในเมทานอล
(■) SA-R, (■) SB-R, (■) WB-R

จากรูปที่ 4.3.-1 พบว่าตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ไม่สามารถคายซับ SG ใน SA-R ได้ และ isopropanol สามารถคายซับ SG ใน SB-R และ WB-R ได้ดีที่สุด

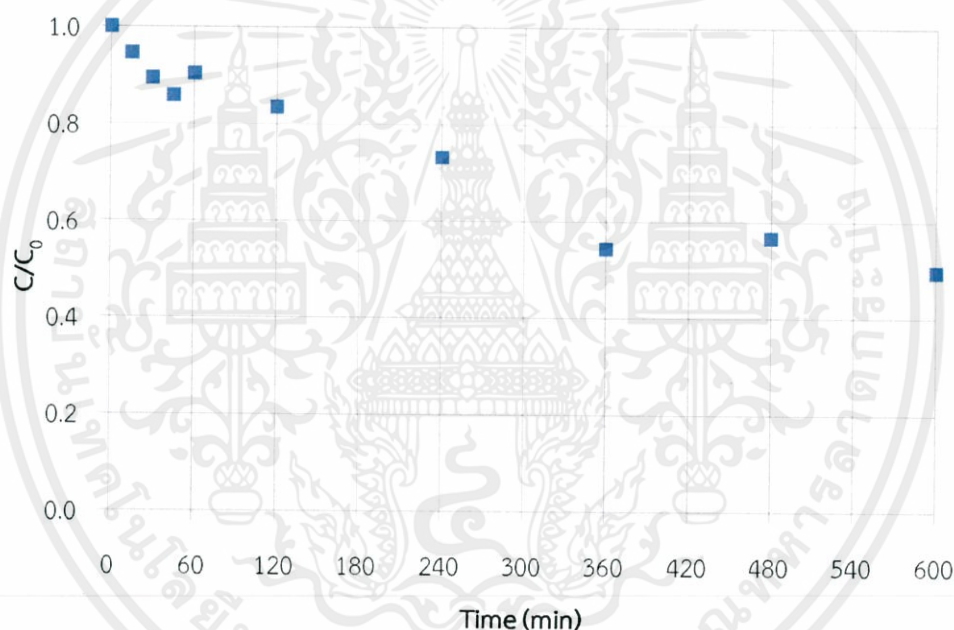
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ

ในการศึกษาไอโซเทอร์มหรือสมดุลการดูดซับสามารถนำค่าคงที่ที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการออกแบบหอดูดซับได้ จากการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R

4.4.1. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R

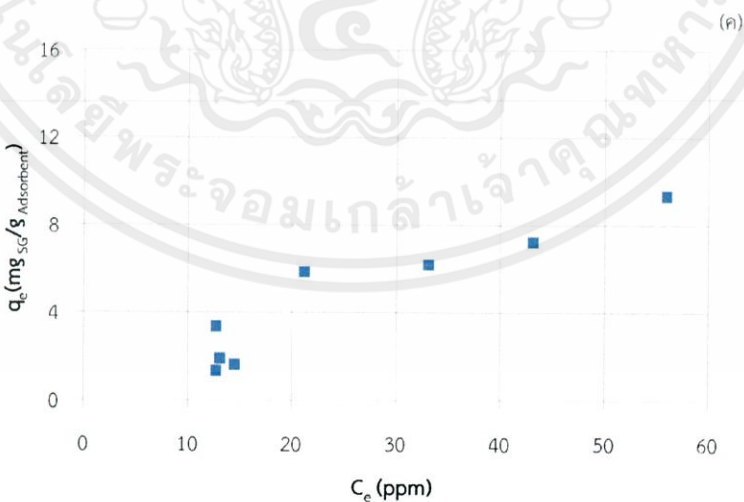
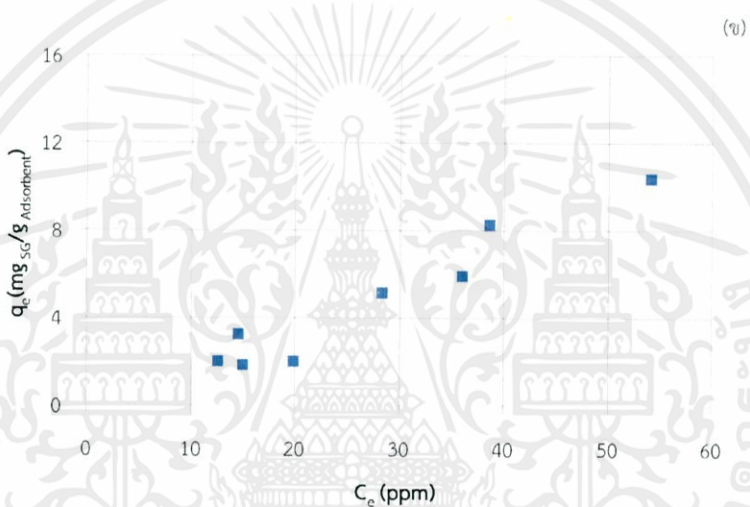
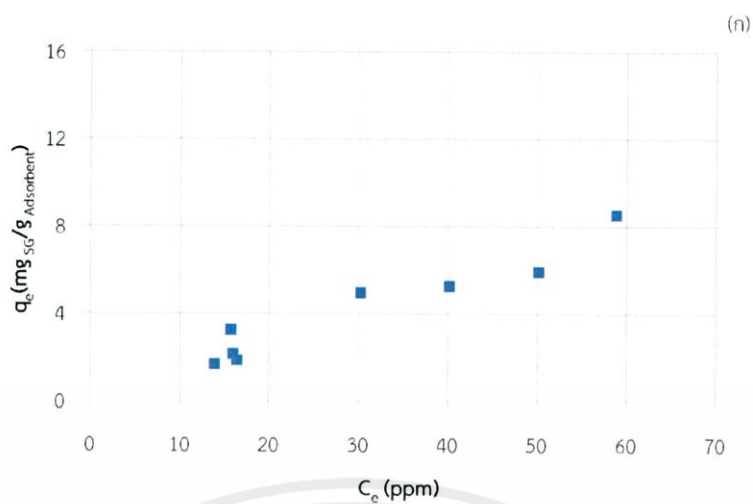
การศึกษาหาเวลาที่สมดุลโดยการทดลองการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 79 ppm ด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 65°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงที่อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการดูดซับ ทำการดูดซับเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงผลตามรูปที่ 4.4.1.-1



รูปที่ 4.4.1.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)

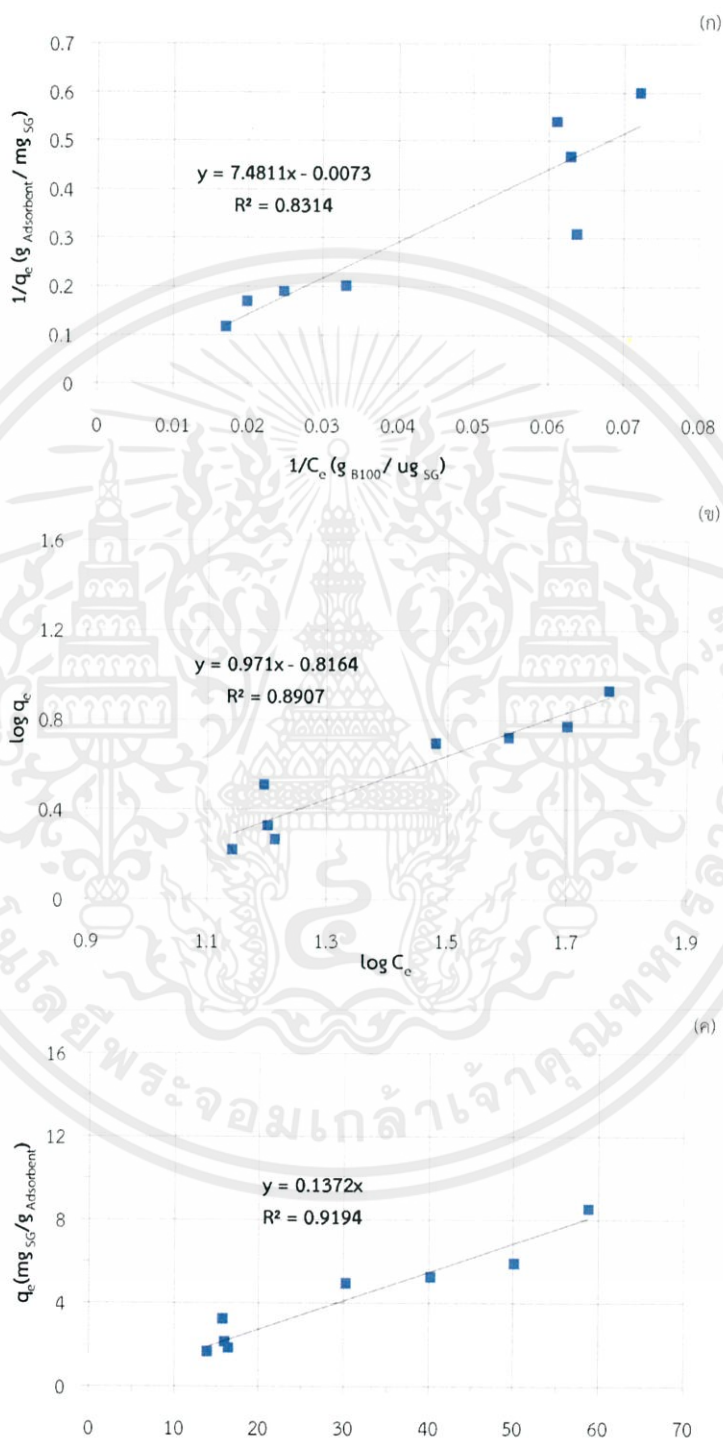
จากรูปที่ 4.4.1.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาไอโซเทอร์มโดยทำการดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ด้วย SA-R เป็นเวลา 10 ชั่วโมงเนื่องจากการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75°C แสดงผลตามรูป 4.4.1.-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

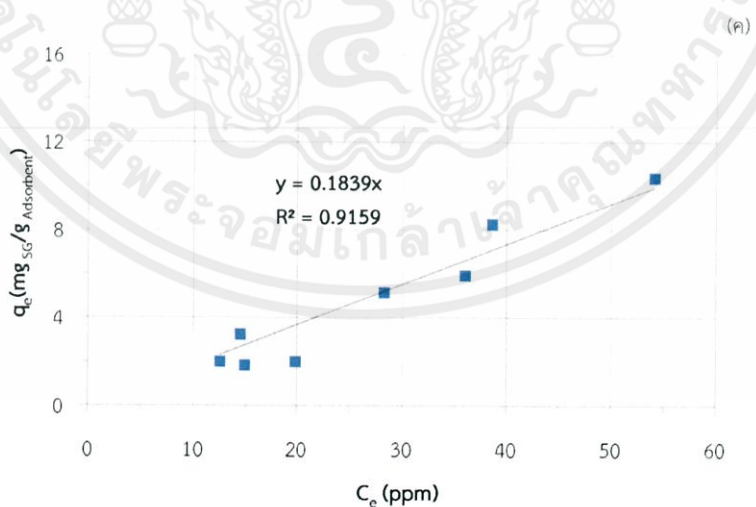
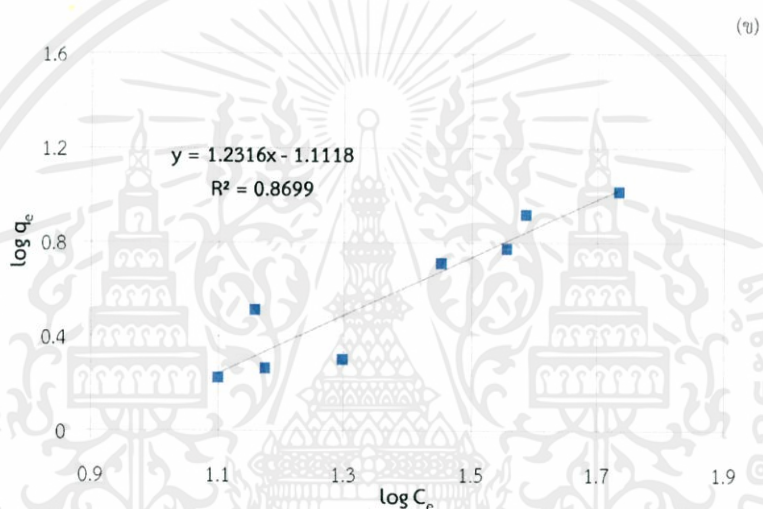
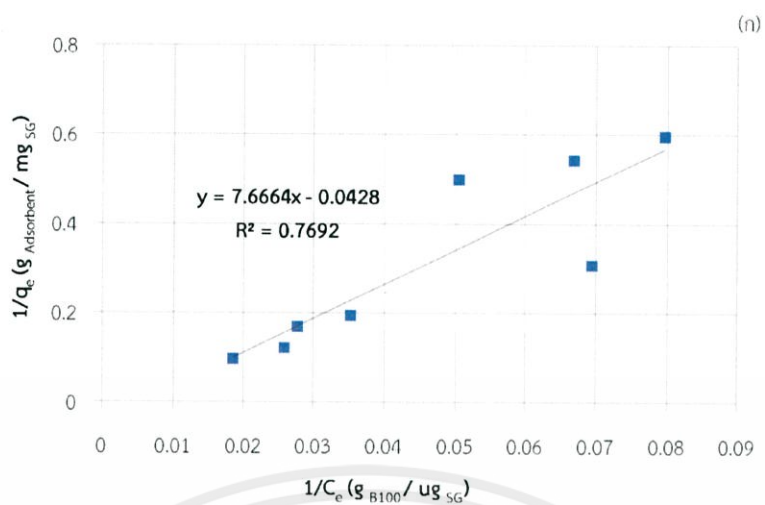


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรูปที่ 4.4.1.-2 ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ SG ของตัวดูดซับกับความ
 เข้มข้นที่สมดุล (ก) อุณหภูมิ 65°C (ข) อุณหภูมิ 70°C (ค) อุณหภูมิ 75°C

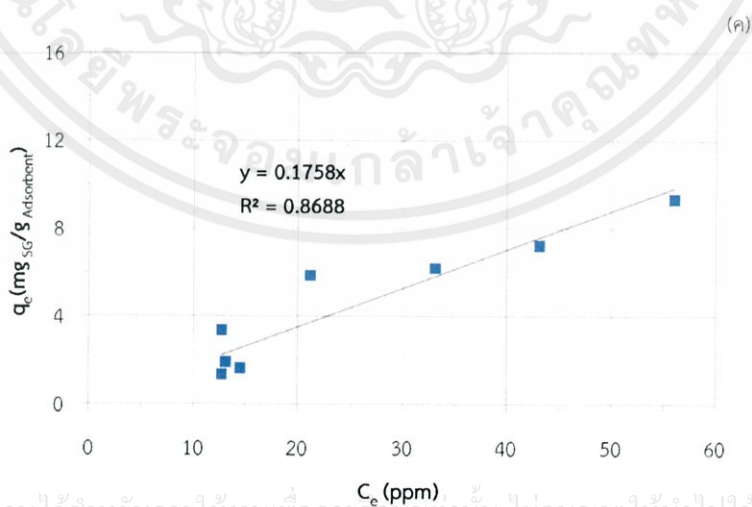
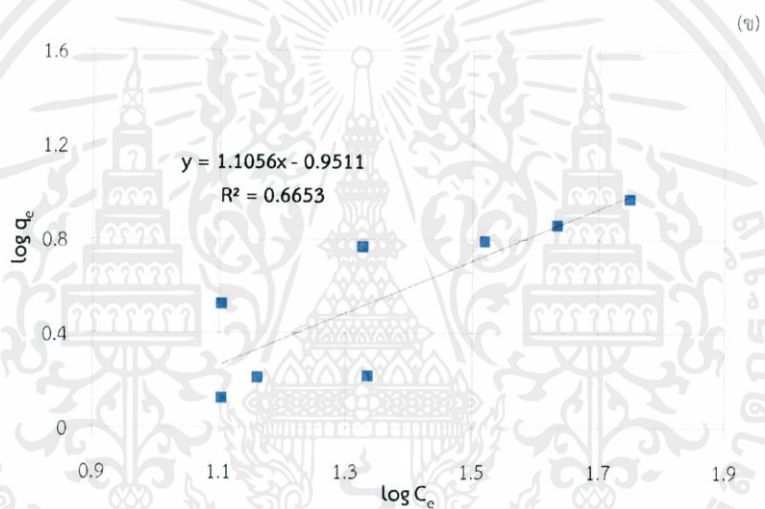
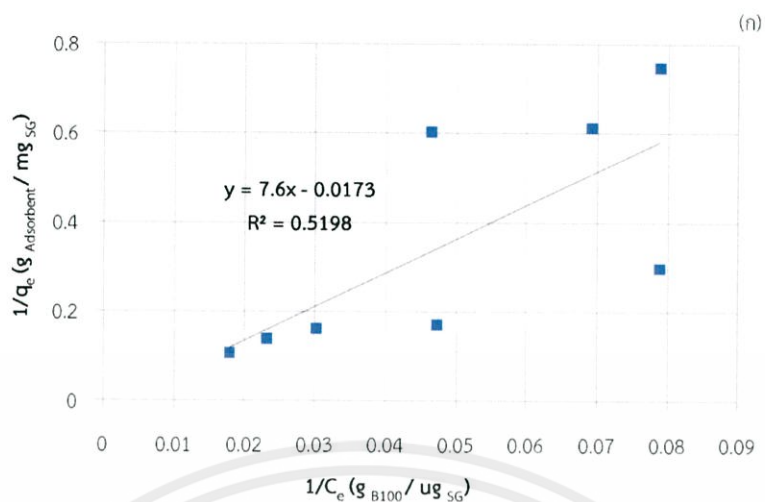
จากรูปที่ 4.4.1.-2 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สมดุลที่เพิ่มขึ้นจากการลดปริมาณตัวดูดซับ และนำไปพิจารณาเพื่อหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะพิจารณาไอโซเทอร์มแบบจำลองแลงเมียร์ ฟรุนดิช และเชิงเส้น ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงผลตามรูป 4.4.1.-3 – 4.4.1.-5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ C_e (ppm) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากร รูปที่ 4.4.1.-3 ก แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลอง
แลงเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้น



เอกสารรูปที่ 4.4.1.-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 70°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลองการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกแฉ่งเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้นไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรูปที่ 4.4.1.-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลอง
แลงเมียร์, (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดลิช, (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้น

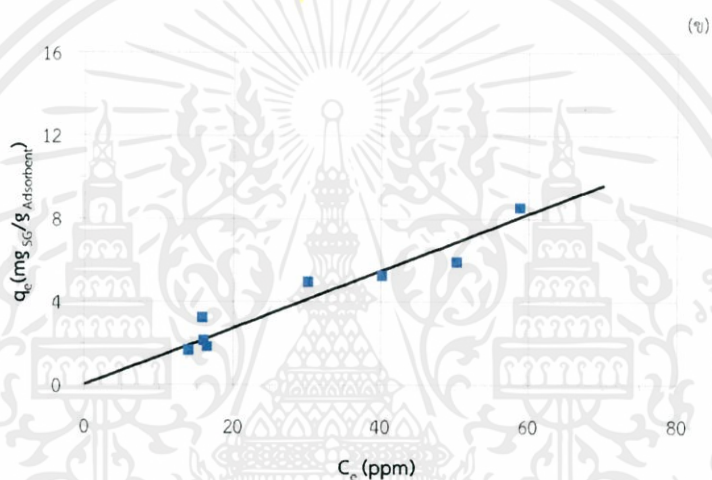
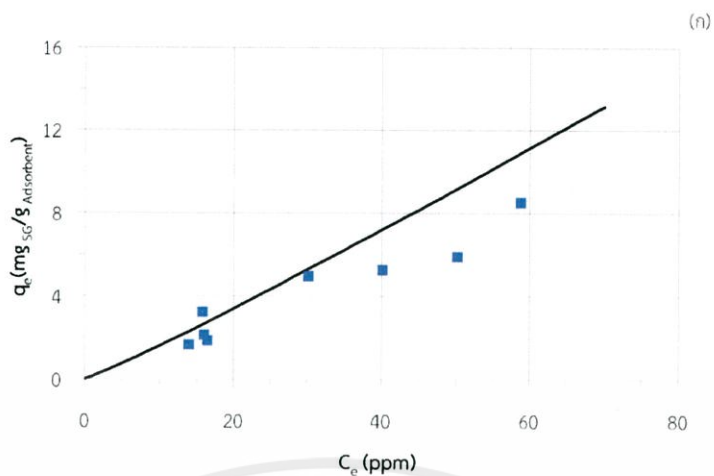
จากรูปที่ 4.4.1.-3 – 4.4.1.-5 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นเพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K) นอกจากนี้ยังได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_L) และความสามารถในการดูดซับ SG สูงสุดของตัวดูดซับ (q_m) และจะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของฟรุนดิช เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_F) และค่าคงที่ n ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.4.1.-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น

isotherm models	Langmuir isotherm			Freundlich isotherm			linear isotherm	
	temp. (°C)	q_m	K_L	R^2	n	K_F	R^2	K
65	-136.986	-0.00098	0.8314	1.0793	0.134431	0.7607	0.1372	0.9194
70	-23.3645	-0.00558	0.7692	1.2316	0.077304	0.8699	0.1839	0.9159
75	-136.986	-0.00096	0.5198	1.105	0.111918	0.6653	0.1758	0.8688

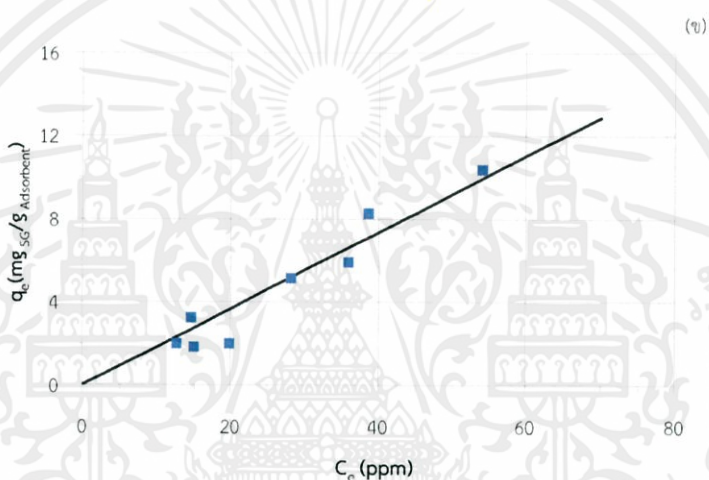
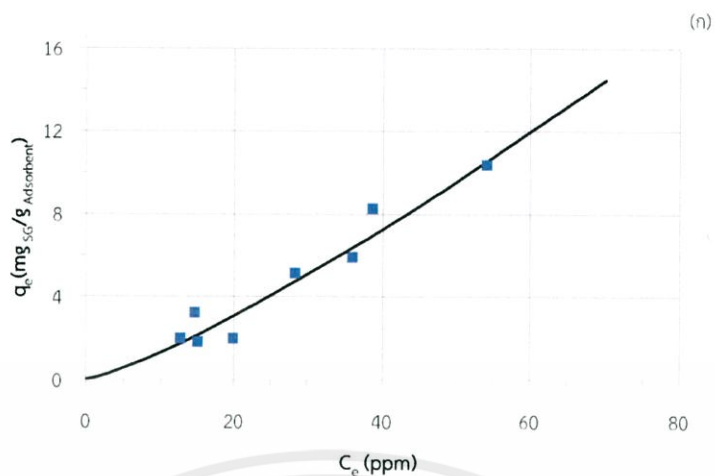
จากตารางที่ 4.4.1.-1 เมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ที่ได้พบว่าค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟ ซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่าเป็นลบ ซึ่งมีค่าไม่เป็นจริง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับและค่าคงที่การดูดซับของ SG ไม่สามารถมีค่าเป็นลบได้ ดังนั้นไอโซเทอร์มการดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลจึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ต่อมาทำการพิจารณาจากค่า R^2 พบว่าที่ทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่า R^2 ของสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นมากที่สุด สุดท้ายจะพิจารณาจากการนำค่าคงที่ที่ได้แทนกลับไปในสมการ เพื่อหาค่า q_e แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงผลตามรูปที่ 4.4.1.-6 – 4.4.1.-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



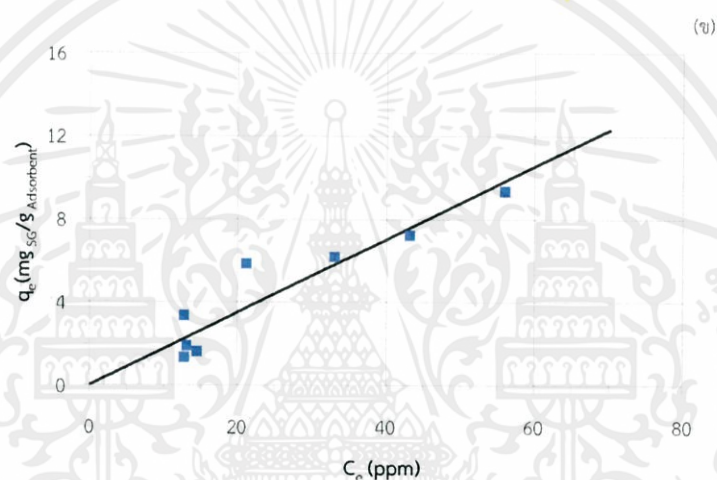
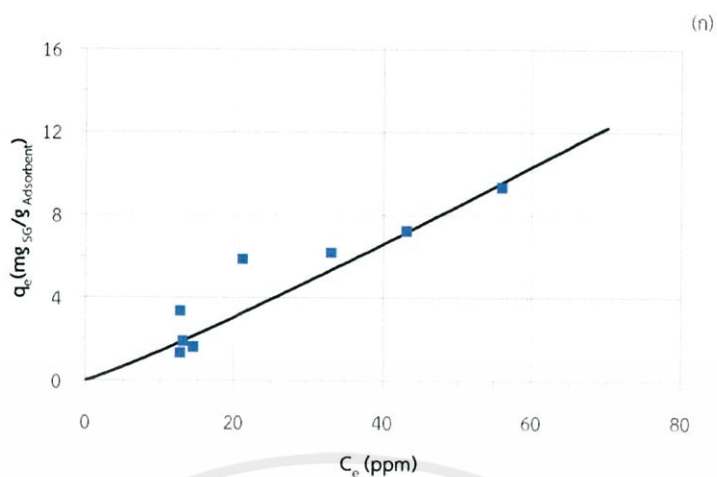
รูปที่ 4.4.1.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.1.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดลิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



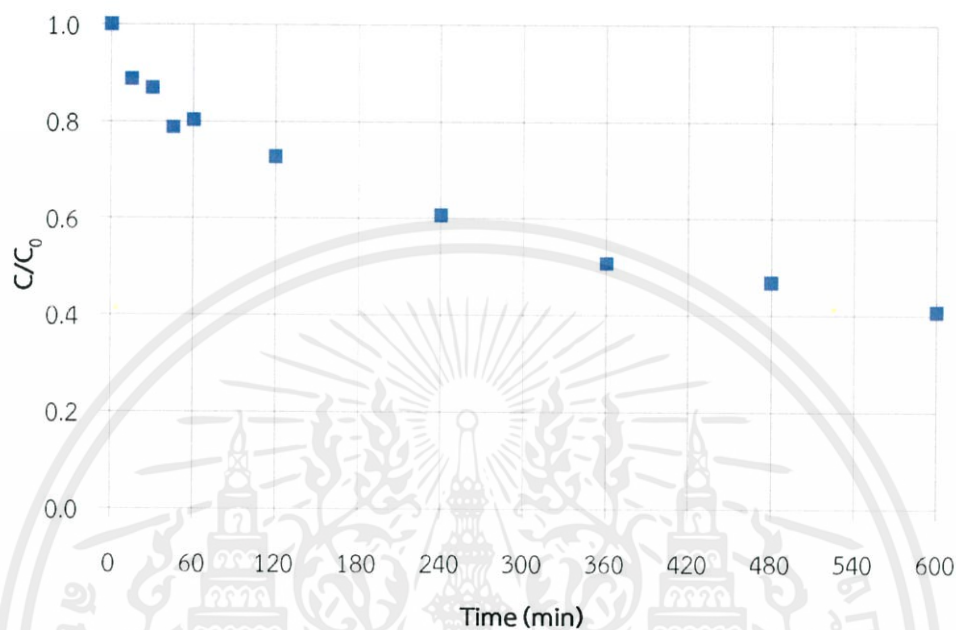
รูปที่ 4.4.1-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดลิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปที่ 4.4.1-6 – 4.4.1-8 แสดงค่า q_e ที่ได้จากการทดลองเทียบ q_e ที่ได้จากการคำนวณ ด้วยค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงไอโซเทอร์มแบบต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ค่าคงที่จากสมการเส้นตรงของกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นทำให้ค่า q_e ที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับ q_e ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นการยืนยันผลจากการพิจารณา R^2 จึงสามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง

โดยแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นเป็นการดูดซับในระบบที่มีสารถูกดูดซับน้อย ความสามารถในการดูดซับจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ
 ไม่ว่าจะดื่มใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R

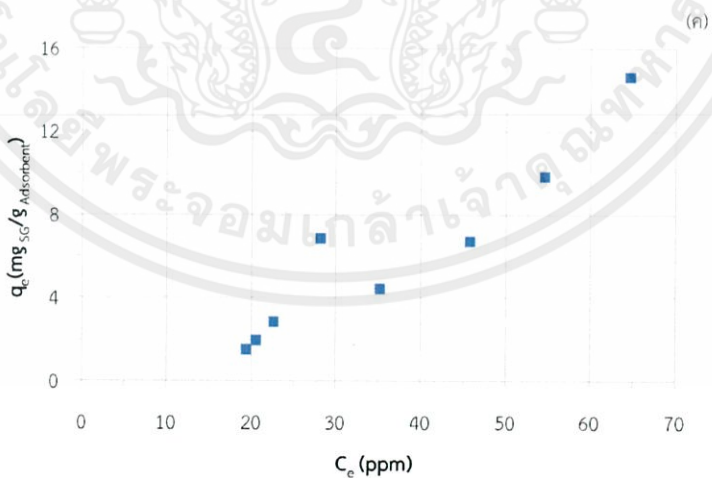
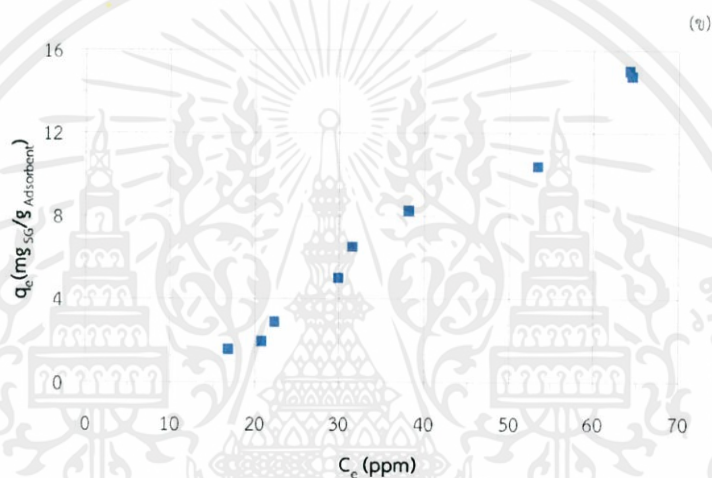
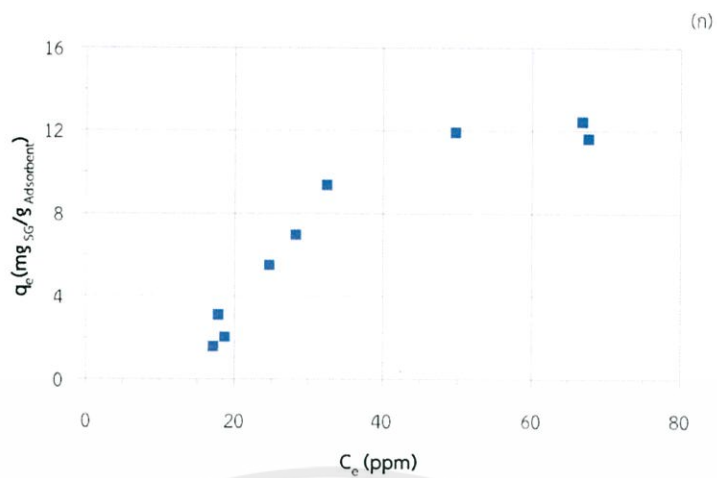
การศึกษาหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R โดยทำการทดลองการดูดซับด้วย SB-R ปริมาณ 0.5%wt ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงผลตามรูป



รูปที่ 4.4.2.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)

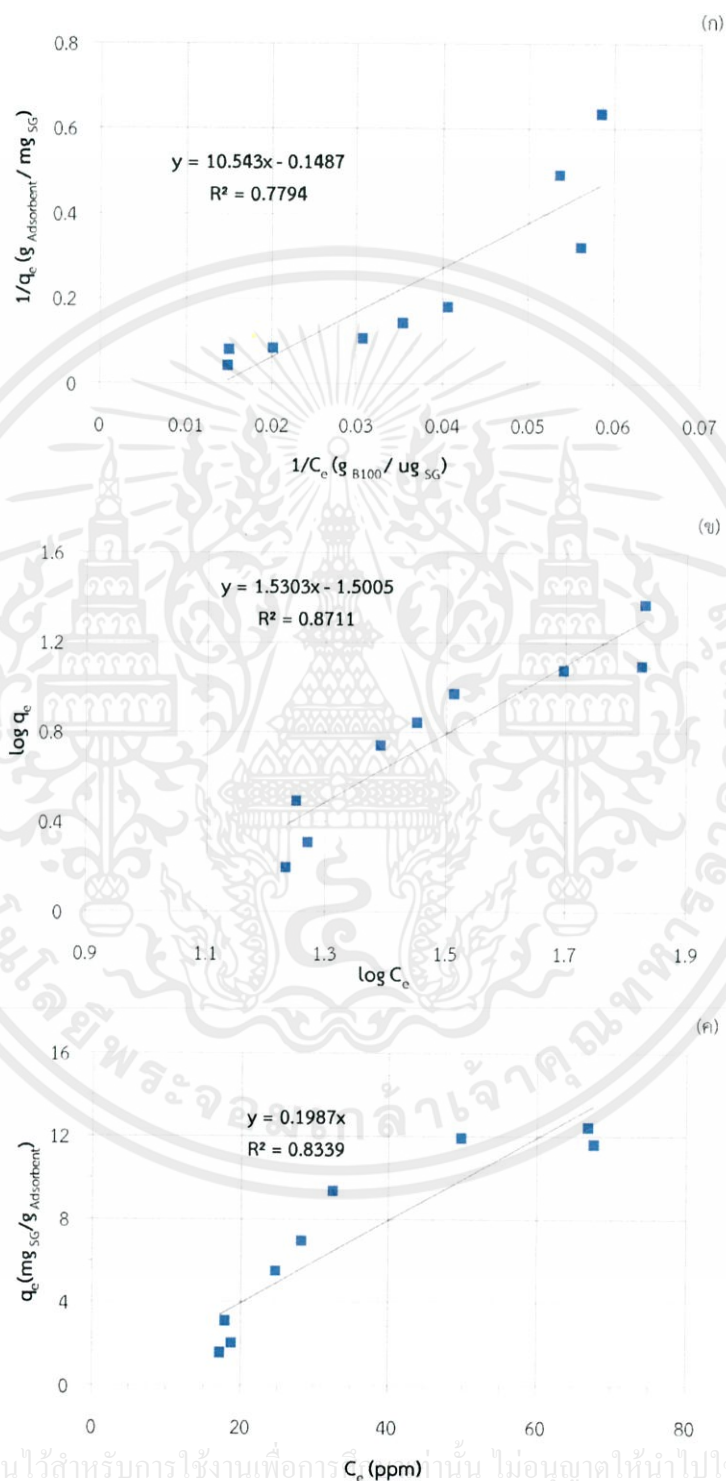
จากรูปที่ 4.4.2.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาไอโซเทอร์มโดยทำการดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ด้วย SB-R เป็นเวลา 10 ชั่วโมงเช่นเดียวกับ SA-R โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 70 °C แสดงผลตามรูป 4.4.2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารรูปที่ 4.4.2.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับยา SG ที่ของตัวดูดซับกับความ การค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่เข้มข้นที่สมดุล (ก) อุณหภูมิ 65°C (ข) อุณหภูมิ 70°C (ค) อุณหภูมิ 75°C การนำไปใช้

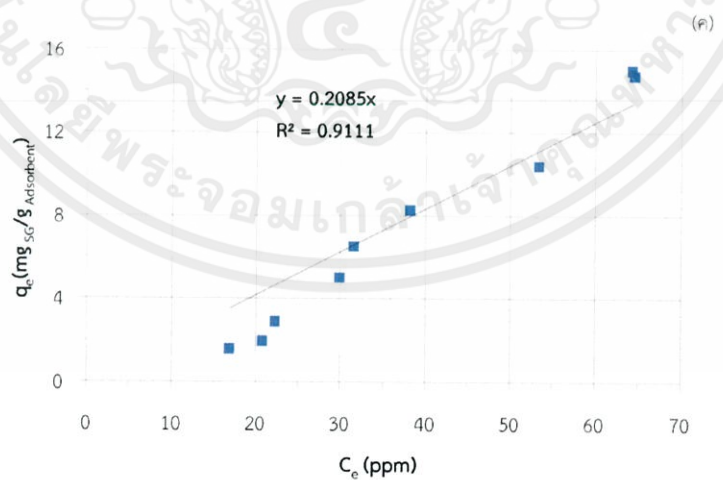
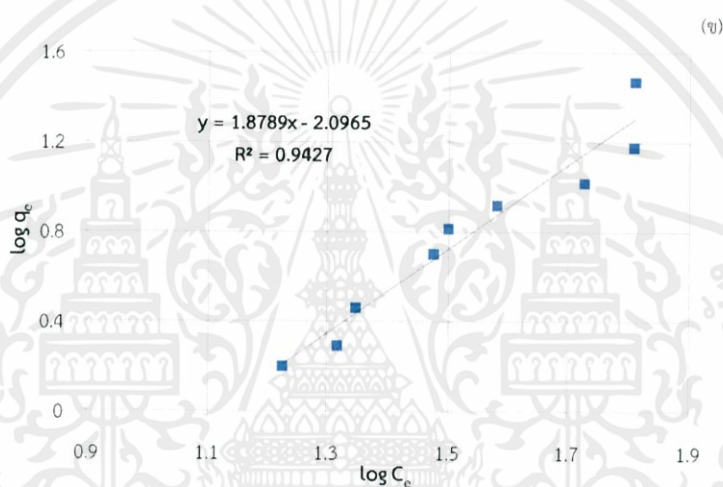
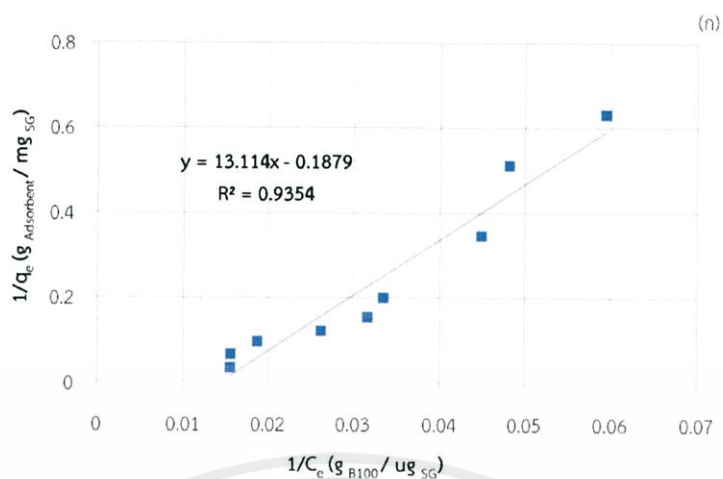
จากรูปที่ 4.4.2-2 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สมดุลที่เพิ่มขึ้นจากการลดปริมาณตัวดูดซับ และนำไปพิจารณาเพื่อหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะพิจารณาไอโซเทอร์มแบบจำลองแลงเมียร์ ฟรุนดิช และเชิงเส้น ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงผลตามรูป 4.4.2-3 – 4.4.2-5



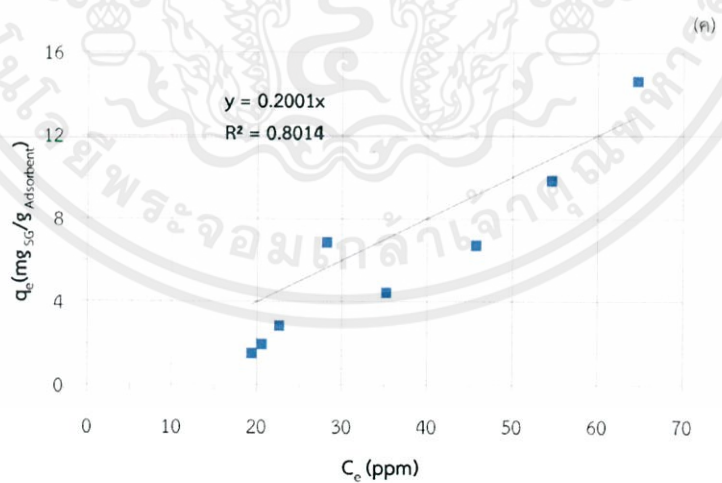
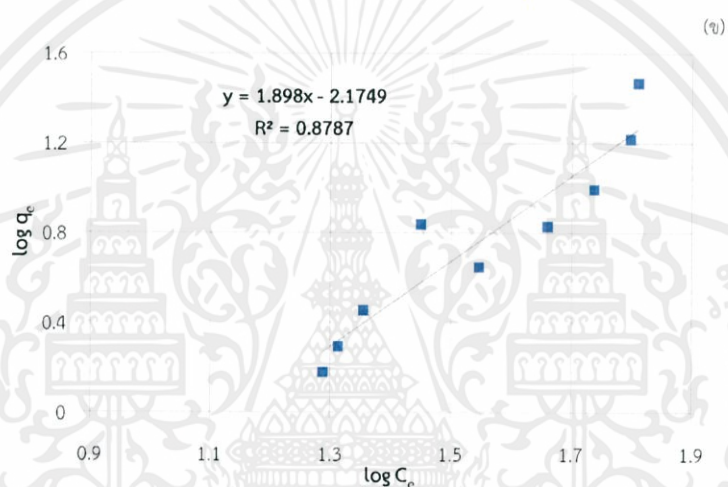
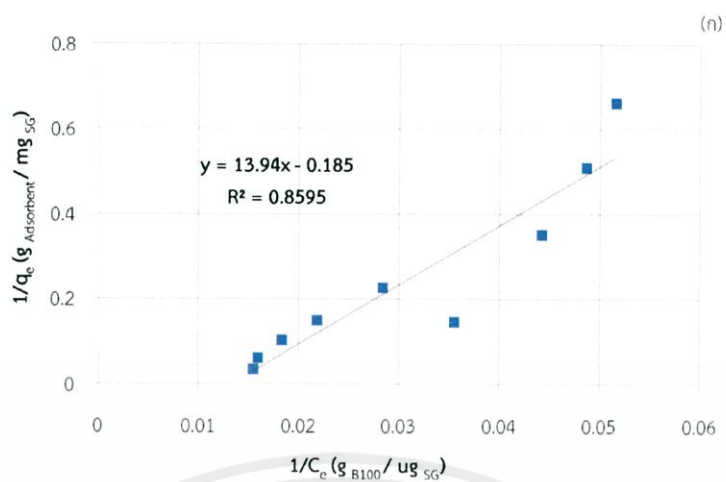
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ C_e (ppm) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารตลอดทั้งที่มีการไปใช้

รูปที่ 4.4.2-3 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลองแลงเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้น



เอกสารรูปที่ 4.4.2-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลองการถ้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก แลงเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดลิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้นไปใช้



เอกสารรูปที่ 4.4.2-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลองการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกแกลงเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรอนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้นไปใช้

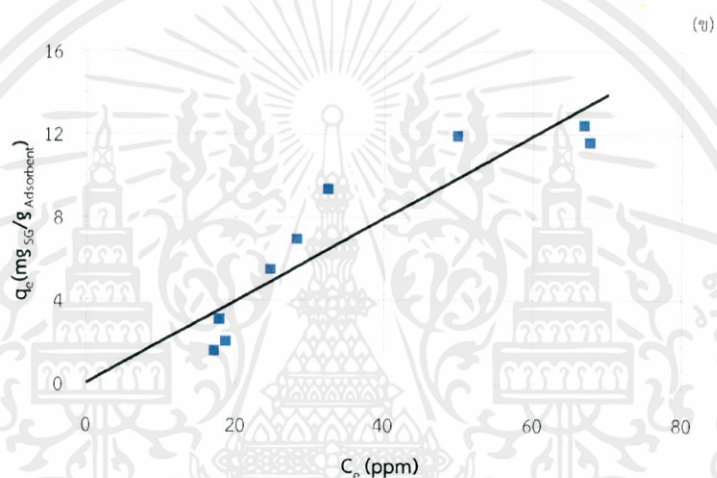
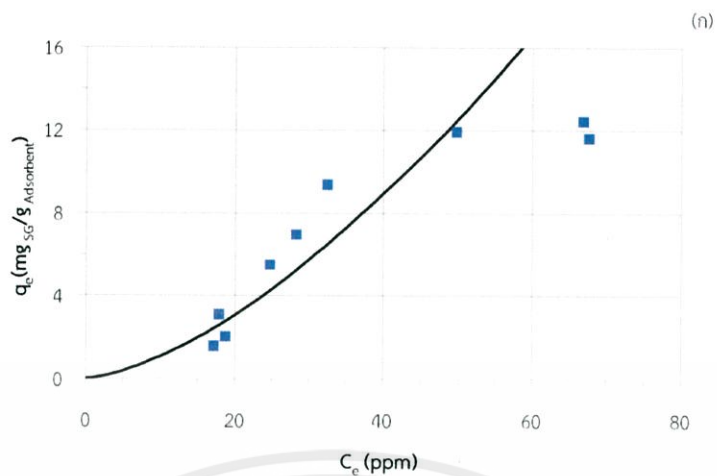
จากรูปที่ 4.4.2.-3 – 4.4.2.-5 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นเพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K) นอกจากนี้ยังได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_L) และความสามารถในการดูดซับ SG สูงสุดของตัวดูดซับ (q_m) และจะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของฟรุนดิช เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_F) และค่าคงที่ n ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.4.2.-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น

isotherm models	Langmuir isotherm			Freundlich isotherm			linear isotherm	
	temp. (°C)	q_m	K_L	R^2	n	K_F	R^2	K
65	-6.7250	-0.0141	0.7794	0.6535	0.0316	0.8711	0.1987	0.8339
70	-0.1879	-0.0143	0.9354	0.5322	0.0080	0.9427	0.2085	0.9111
75	-0.0133	-0.0133	0.8595	0.5269	0.0067	0.8787	0.2001	0.8014

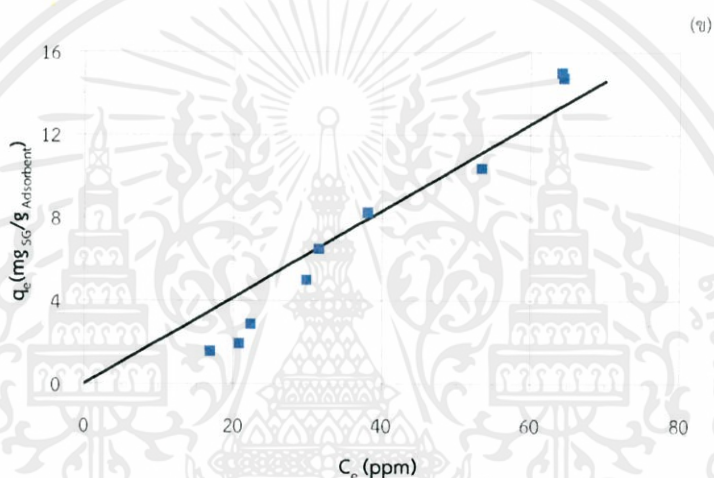
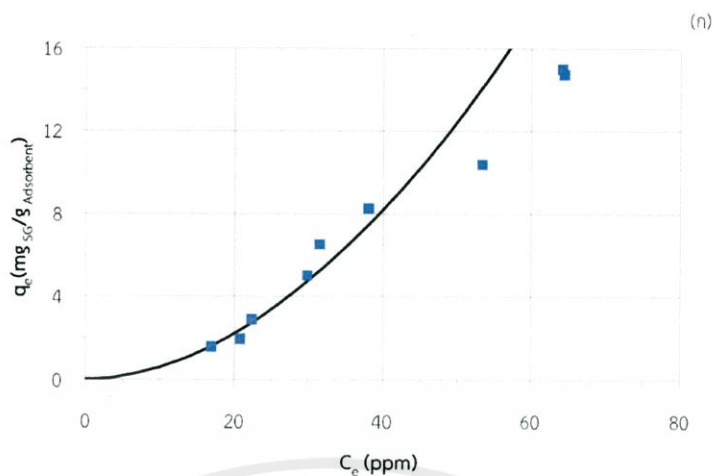
จากตารางที่ 4.4.2.-1 เมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ที่ได้พบว่าค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟ ซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่าเป็นลบ ซึ่งมีค่าไม่เป็นจริง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับและค่าคงที่การดูดซับของ SG ไม่สามารถมีค่าเป็นลบได้ ดังนั้นไอโซเทอร์มการดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลจึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ต่อมาทำการพิจารณาจากค่า R^2 พบว่าที่ทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่า R^2 ของสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดิชมากที่สุด สุดท้ายจะพิจารณาจากการนำค่าคงที่ที่ได้แทนกลับไปในสมการ เพื่อหาค่า q_e แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงผลตามรูป 4.4.2.-6 – 4.4.2.-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



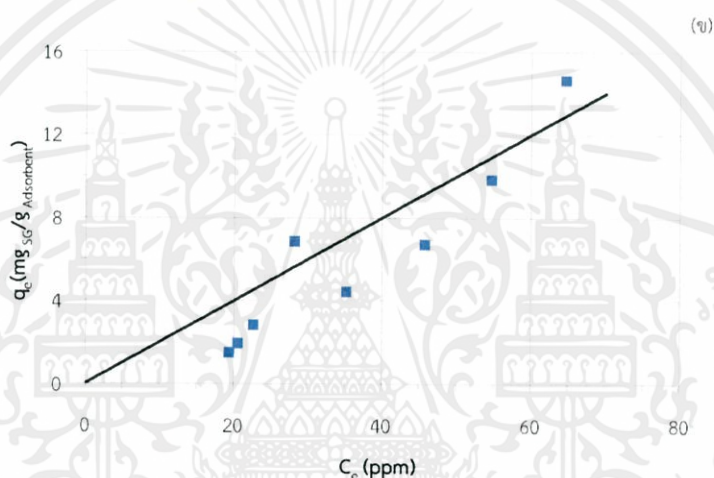
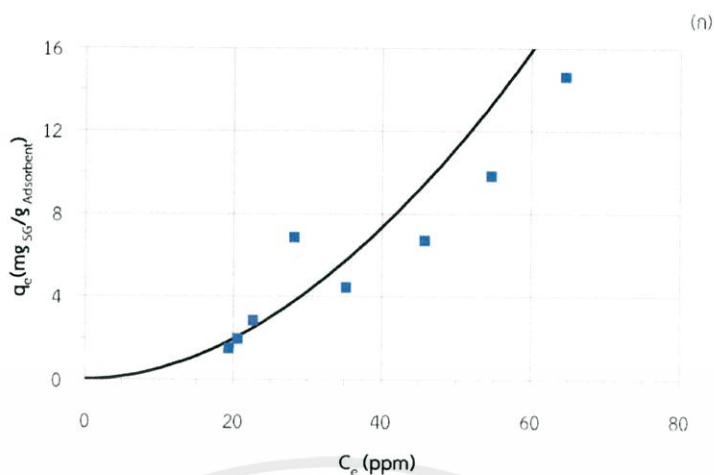
รูปที่ 4.4.2.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

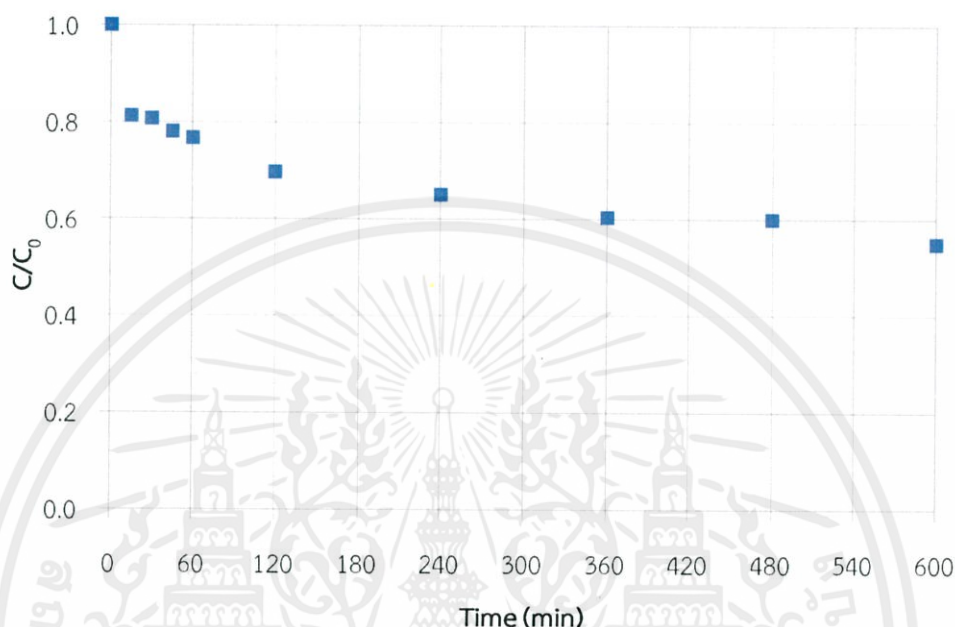


รูปที่ 4.4.2.-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปที่ 4.4.2.-6 – 4.4.2.-8 แสดงค่า q_e ที่ได้จากการทดลองเทียบ q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงไอโซเทอร์มแบบต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าคงที่จากสมการเส้นตรงของกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นทำให้ค่า q_e ที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับ q_e ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งขัดแย้งกับการพิจารณาค่า R^2 จากตารางที่ 4.4.2.-1 จึงสรุปได้ว่าพฤติกรรม การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากมีแนวโน้มของ q_e ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณใกล้เคียงกันมากกว่า q_e ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช โดยแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นเป็นการดูดซับที่มีสารถูกดูดซับน้อย ดังนั้นความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ

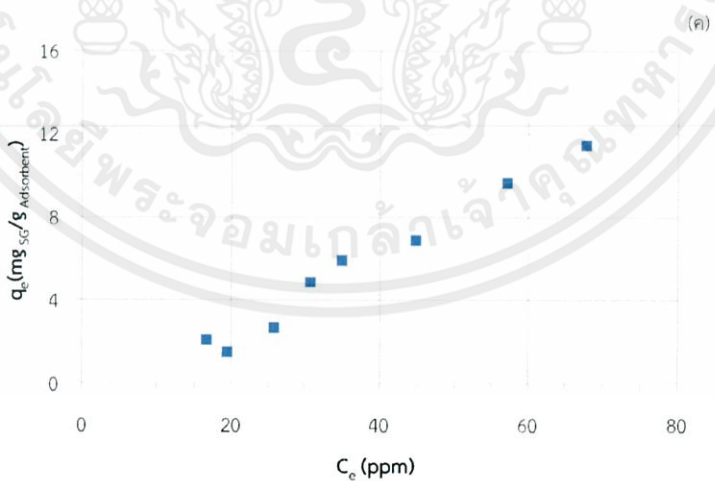
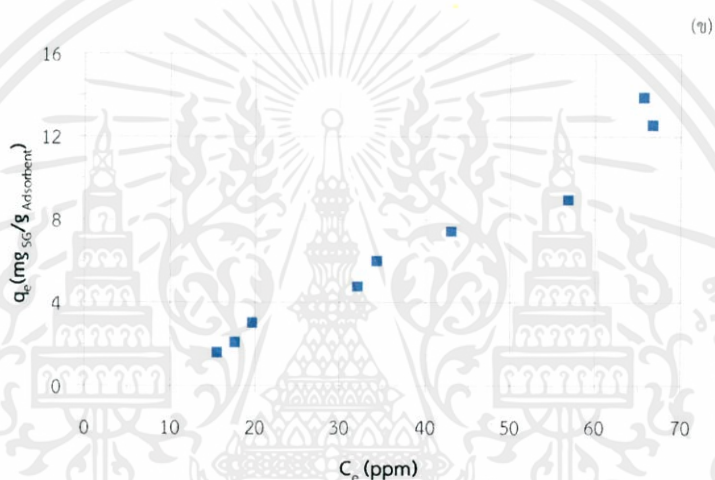
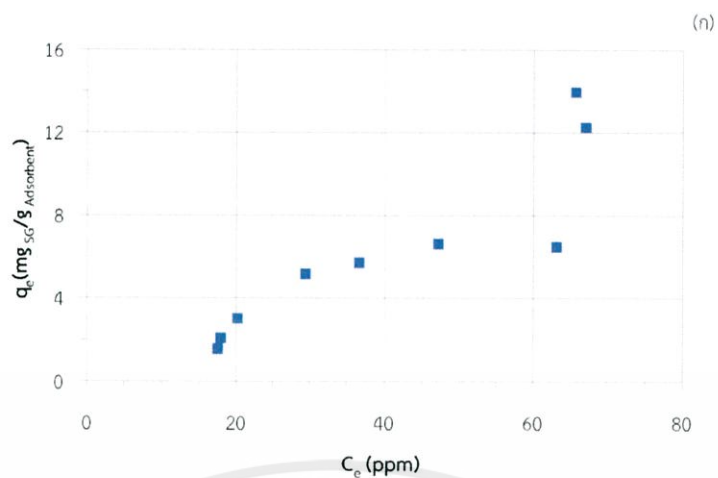
4.4.3. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R

ทำการศึกษาค้นหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R โดยทำการทดลองการดูดซับด้วย WB-R ปริมาณ 0.5%wt ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงผลตามรูปที่ 4.4.3.-1



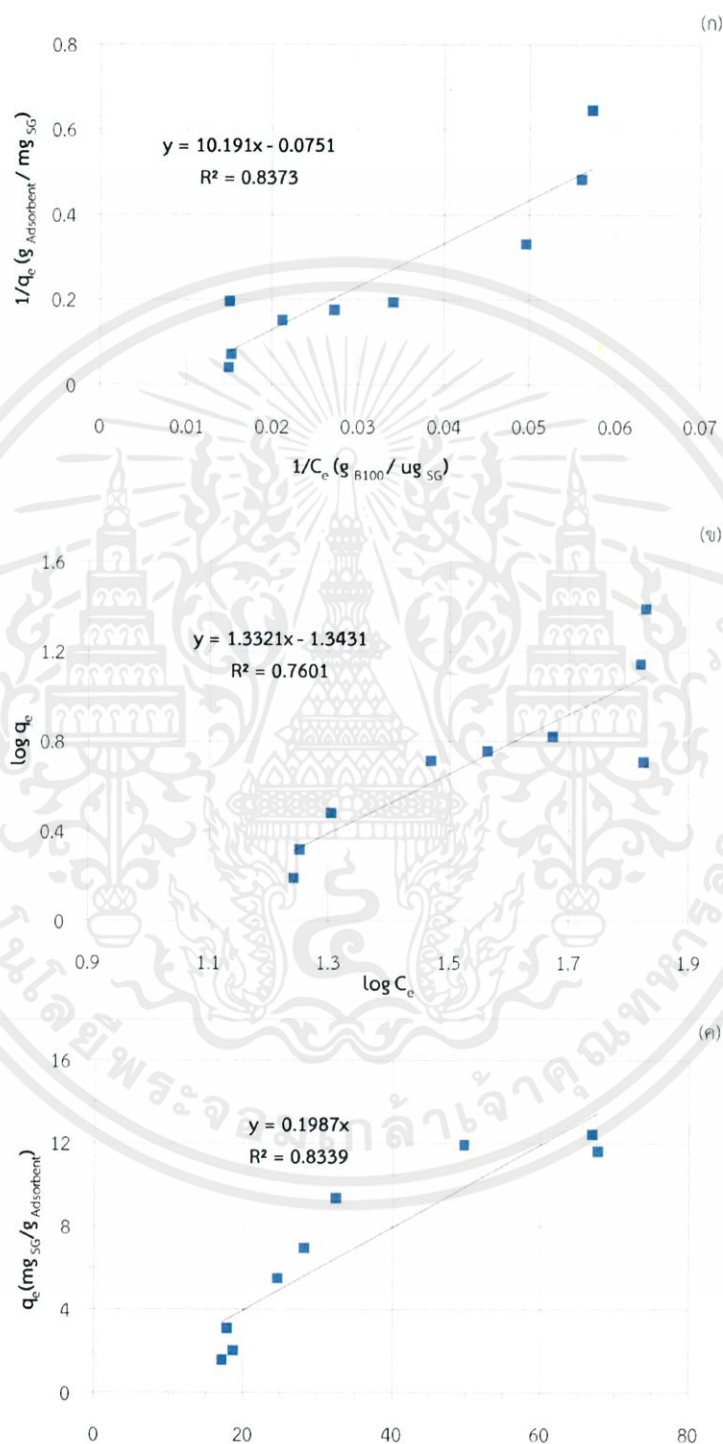
รูปที่ 4.4.3.-1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับเวลา (min)

จากรูปที่ 4.4.3.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาไอโซเทอร์มโดยทำการดูดซับ SG ในไบโอดีเซล ด้วย WB-R เป็นเวลา 10 ชั่วโมงเนื่องจากการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75°C แสดงผลตามรูป 4.4.3-1



เอกสารรูปที่ 4.4.3.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ SG ของตัวดูดซับกับความการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่เข้มข้นที่สมดุล (ก) อุณหภูมิ 65°C (ข) อุณหภูมิ 70°C (ค) อุณหภูมิ 75°C การนำไปใช้

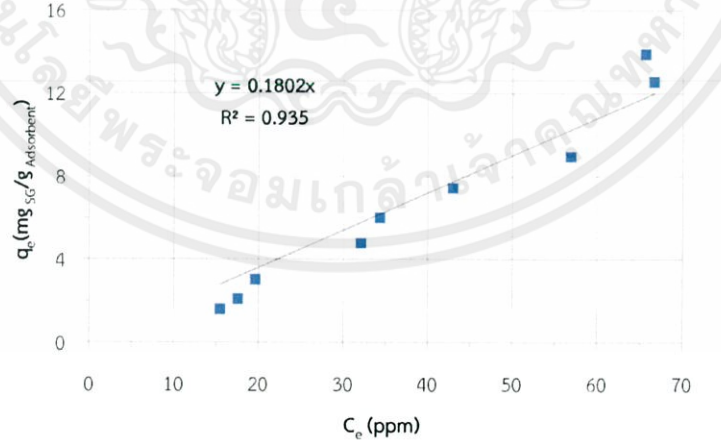
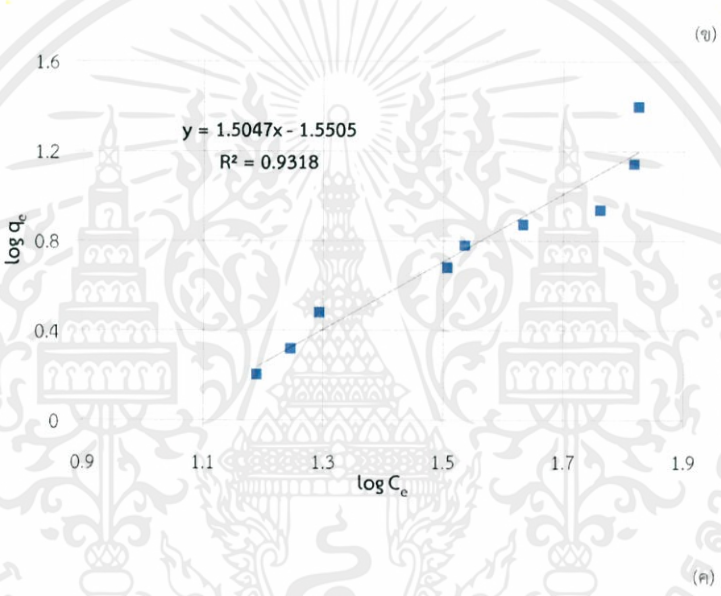
จากรูปที่ 4.4.3.-2 จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สมดุลที่เพิ่มขึ้นจากการลดปริมาณตัวดูดซับ และนำไปพิจารณาเพื่อหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะพิจารณาไอโซเทอร์มแบบจำลองแลงเมียร์ ฟรุนดลิช และเชิงเส้น ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงผลตามรูป 4.4.3.-3 – 4.4.3.-5



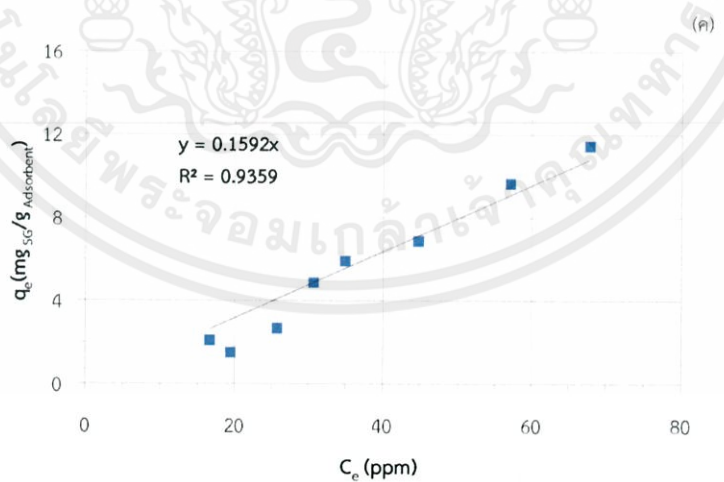
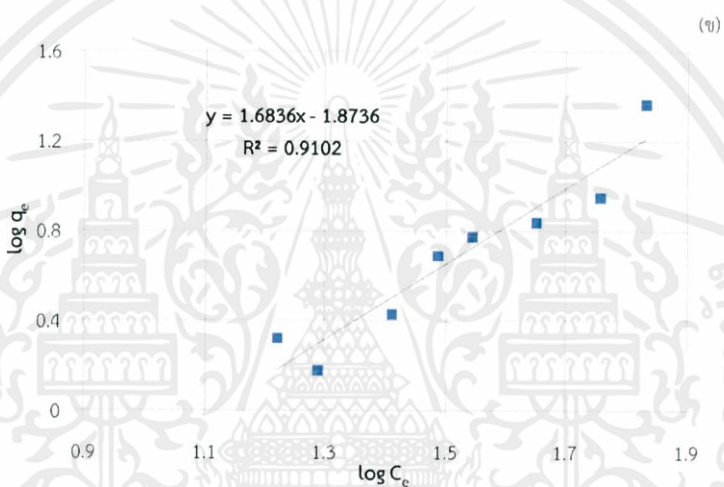
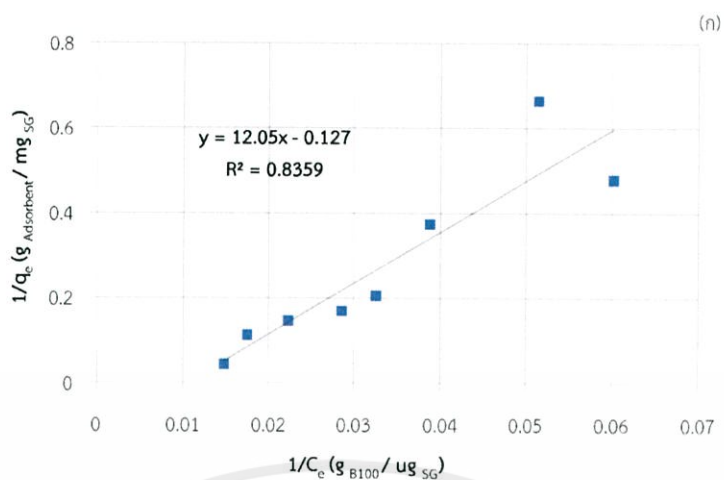
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ C_e (ppm) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการไปใช้

รูปที่ 4.4.3.-3 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลองแลงเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดลิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้น



เอกสารรูปที่ 4.4.3.-4 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลอง การค้า
 ไม่ว่าจะเป็นใดก็ตาม ทั้งสิ้น อีกที่แล้งเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้นปใช้



เอกสารรูปที่ 4.4.3.-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) ไอโซเทอร์มแบบจำลอง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก แล่งเมียร์ (ข) ไอโซเทอร์มแบบจำลองฟรุนดิช (ค) ไอโซเทอร์มแบบจำลองเชิงเส้นไปใช้

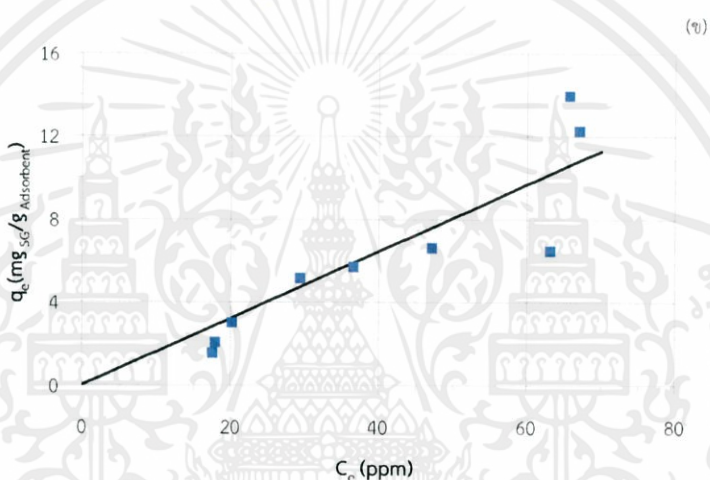
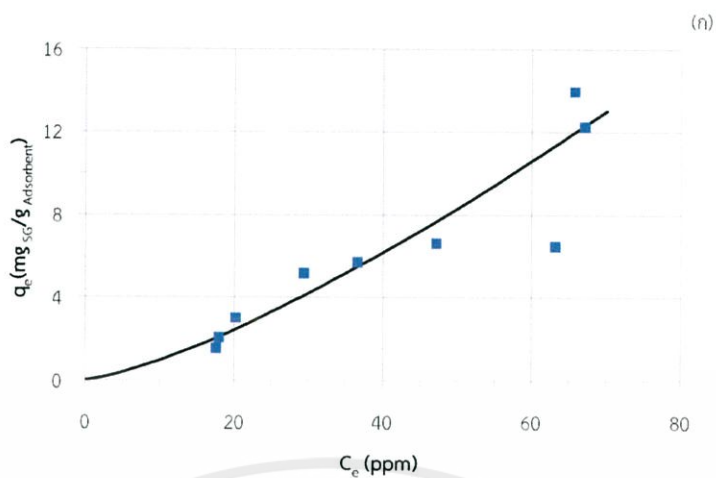
จากรูปที่ 4.4.3.-3 – 4.4.3.-5 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นเพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K) นอกจากนี้ยังได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_L) และความสามารถในการดูดซับ SG สูงสุดของตัวดูดซับ (q_m) และจะได้สมการเส้นตรงจากกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มของฟรุนดิช เพื่อนำไปหาค่าคงที่การดูดซับของ SG (K_F) และค่าคงที่ n ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.4.3-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, ฟรุนดิช และเชิงเส้น

isotherm models	Langmuir isotherm			Freundlich isotherm			linear isotherm	
	temp. (°C)	q_m	K_L	R^2	n	K_F	R^2	K
65	-13.3156	-0.0737	0.8373	0.7507	0.0454	0.7601	0.1614	0.7927
70	-9.8039	-0.0100	0.9523	0.6646	0.0282	0.9318	0.1802	0.9350
75	-7.8740	-0.0105	0.8359	0.5940	0.0134	0.9102	0.1592	0.9359

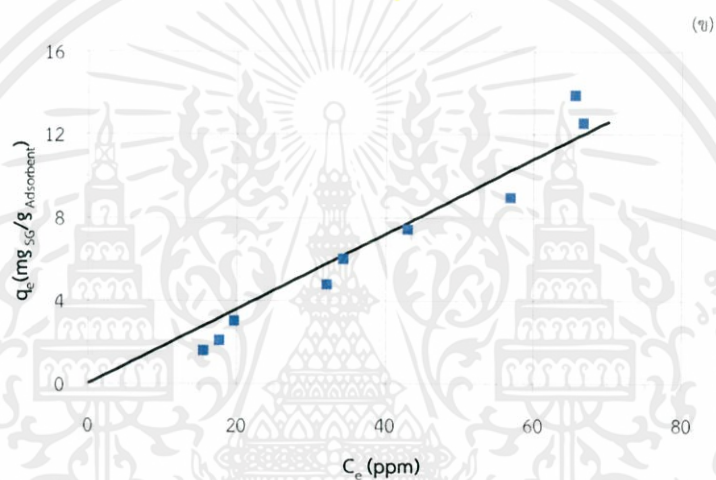
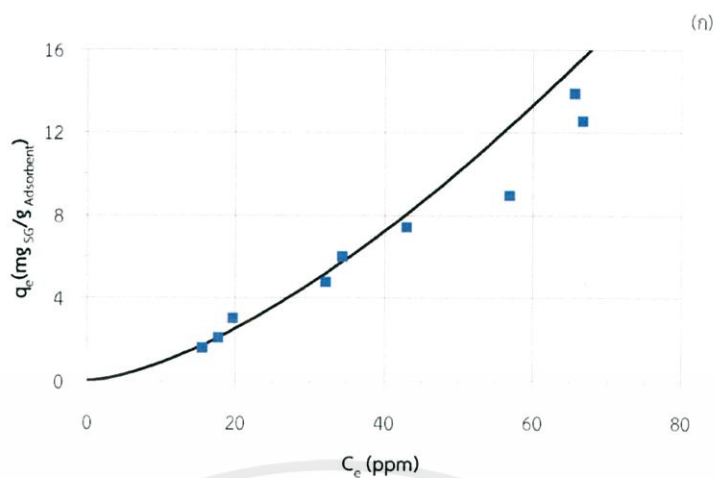
จากตารางที่ 4.4.3.-1 เมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ที่ได้พบว่าค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟ ซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่าเป็นลบ ซึ่งมีค่าไม่เป็นจริง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับและค่าคงที่การดูดซับของ SG ไม่สามารถมีค่าเป็นลบได้ ดังนั้นไอโซเทอร์มการดูดซับของ SG ในไบโอดีเซลจึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ต่อมาทำการพิจารณาจากค่า R^2 พบว่าที่ทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่า R^2 ของสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นมากที่สุด สุดท้ายจะพิจารณาจากการนำค่าคงที่ที่ได้แทนกลับไปในสมการ เพื่อหาค่า q_e แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงผลตามรูป 4.3.3.-6 – 4.3.3.-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



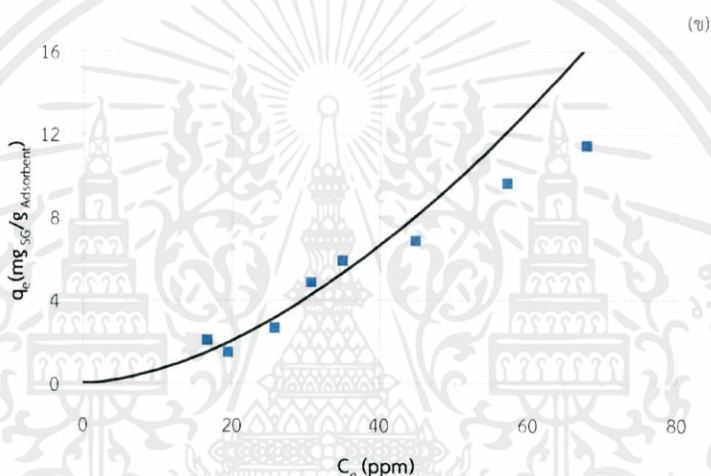
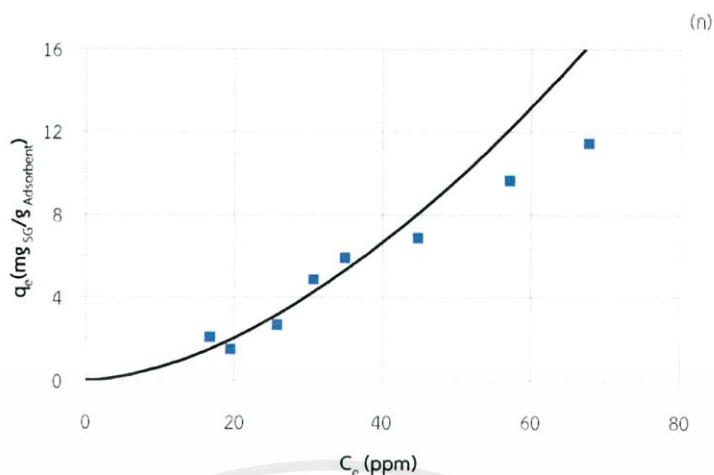
รูปที่ 4.4.3.-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น
 (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.3.-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น (■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.3.-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากไอโซเทอร์มฟรุนดลิช (ข) q_e ที่ได้จากการคำนวณจากค่าคงที่จากแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้น

(■) ค่าที่ได้จากการทดลอง, (—) ค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปที่ 4.4.3.-6 – 4.4.3.-8 แสดงค่า q_e ที่ได้จากการทดลองเทียบ q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงแบบจำลองไอโซเทอร์มต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าคงที่จากสมการเส้นตรงของกราฟที่แสดงไอโซเทอร์มเชิงเส้นทำให้ค่า q_e ที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับ q_e ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นการยืนยันผลจากการพิจารณา R^2 จึงสรุปได้ว่าพฤติกรรม การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง โดยแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับเชิงเส้นเป็นการดูดซับที่มีสารถูกดูดซับน้อย ดังนั้นความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ

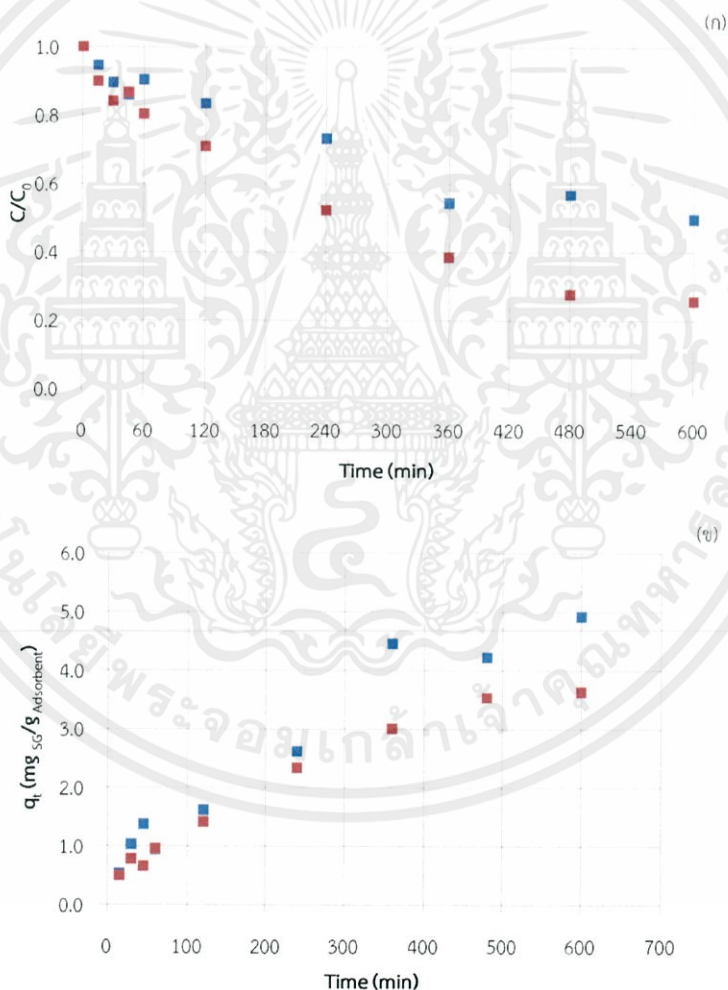
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ

อีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบหอดูดซับ ได้แก่ จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ เพื่อให้การสร้งหอดูดซับสามารถกำหนดขนาดของหอดูดซับได้เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R

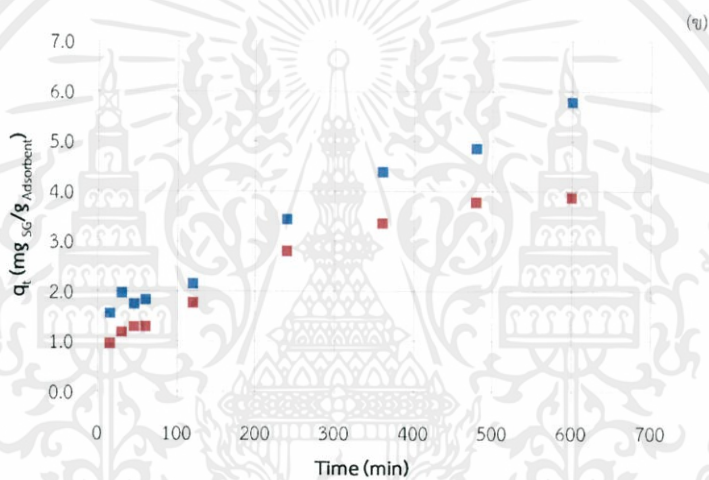
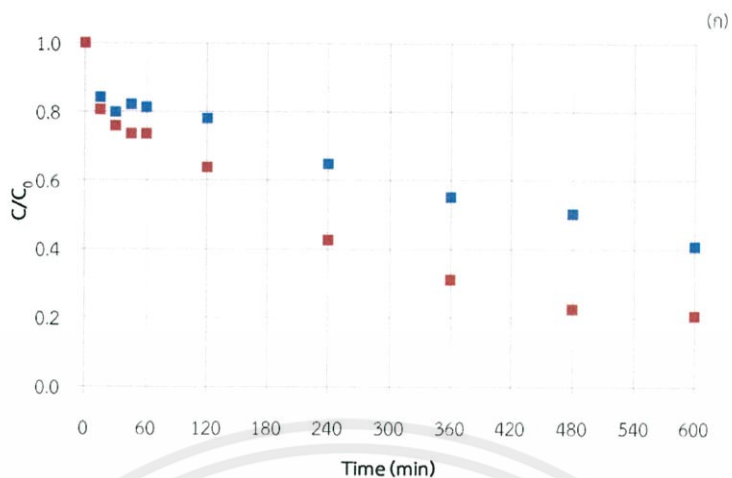
4.5.1. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SA-R

ทำการทดลองเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์โดยทำการดูดซับ SG ด้วย SA-R ปริมาณ 0.75 และ 1.5 %wt ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75°C แสดงผลตามรูปที่ 4.5.1.-1 – 4.5.1.-3



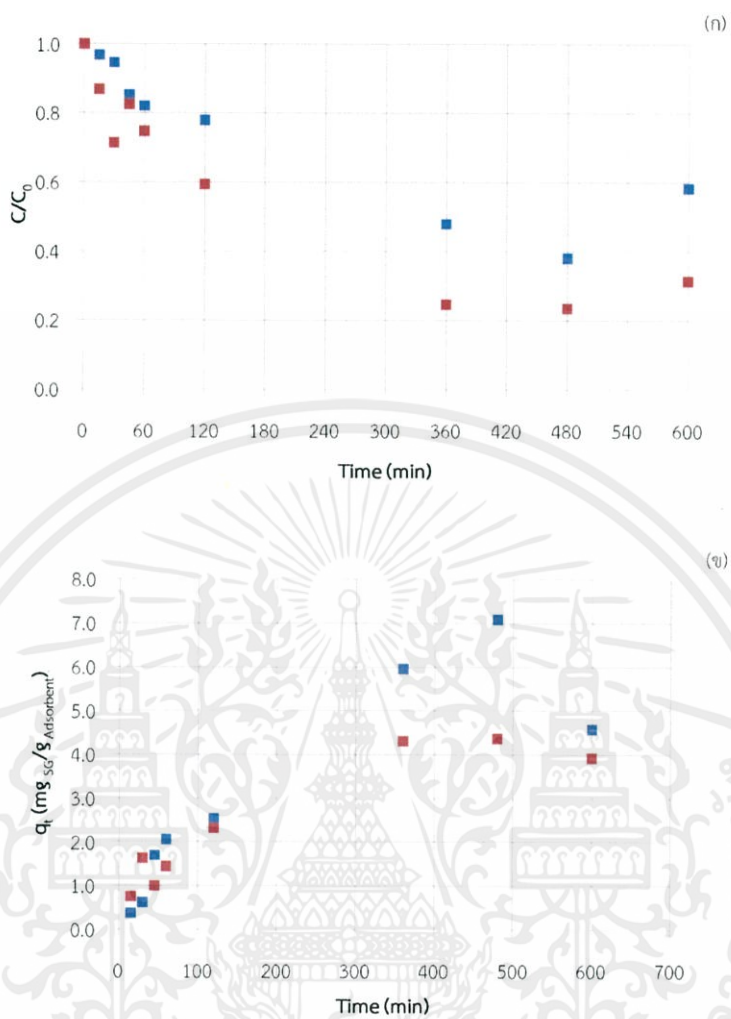
รูปที่ 4.5.1.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นกับเวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา

(■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt



รูปที่ 4.5.1.-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นกับเวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

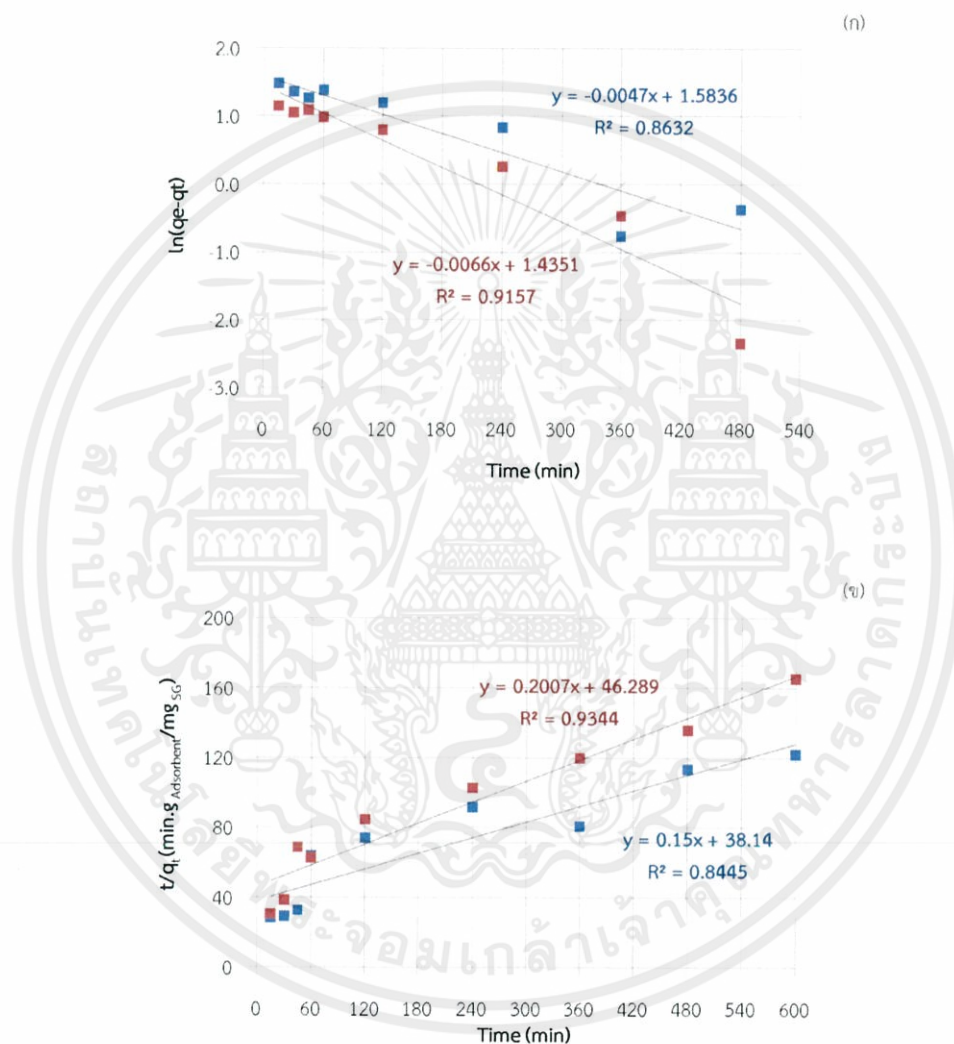
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1-3 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นกับเวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา
 (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

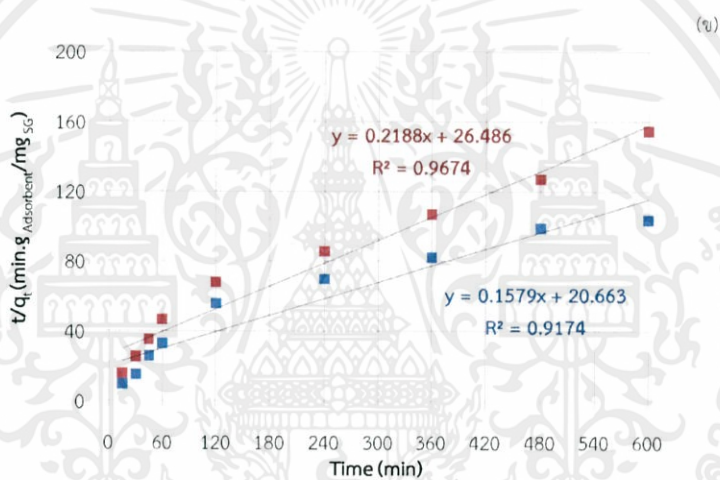
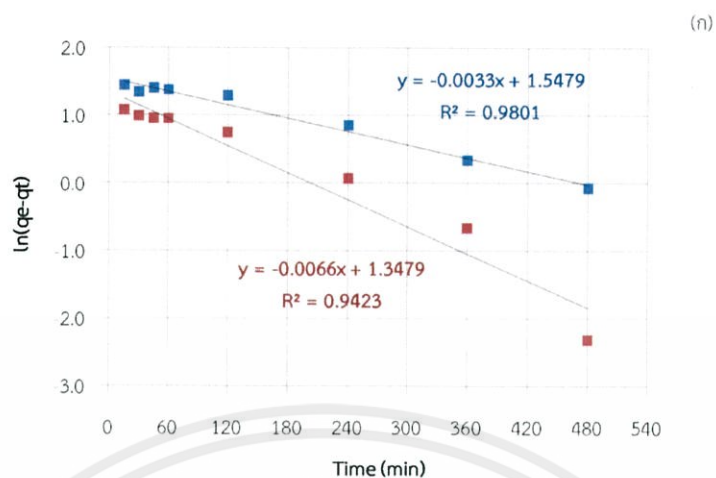
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5.1.-1 – 4.5.1.-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงให้เห็นถึงการลดลงของความเข้มข้น SG ที่เวลาต่างๆ และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป และกราฟ q_t กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดย q_t จะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาทำการดูดซับ สามารถนำ C และ q_t ที่ได้มาหาค่า $\ln(q_e - q_t)$ เพื่อพล็อต กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-first-order และหาค่า t/q_t เพื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-second-order แสดงผลตามรูป 4.5.1.-4 – 4.5.1.-6



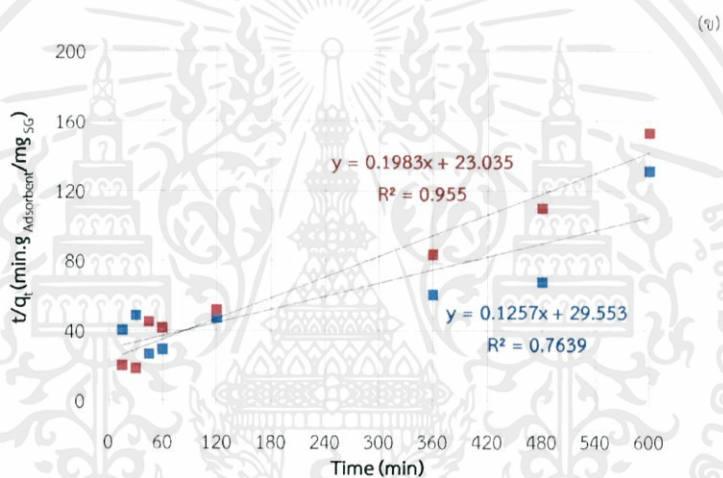
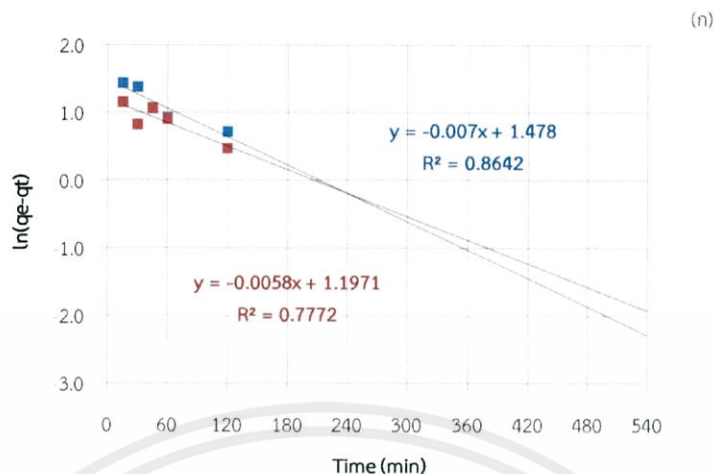
รูปที่ 4.5.1.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order
 (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1.-5 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1.-6 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

จากรูปที่ 4.5.1.-4 – 4.5.1.-6 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-first-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (k_1) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ SA-R ที่สมดุล (q_e) และได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-second-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (k_2) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ SA-R ที่สมดุล ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตาราง ดังนี้

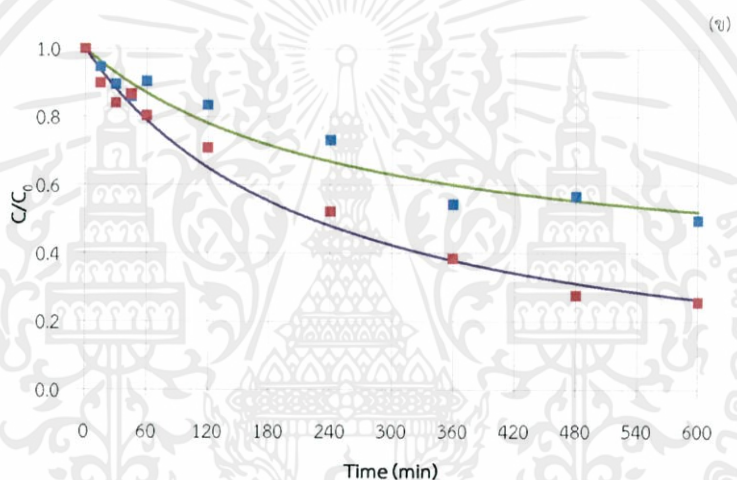
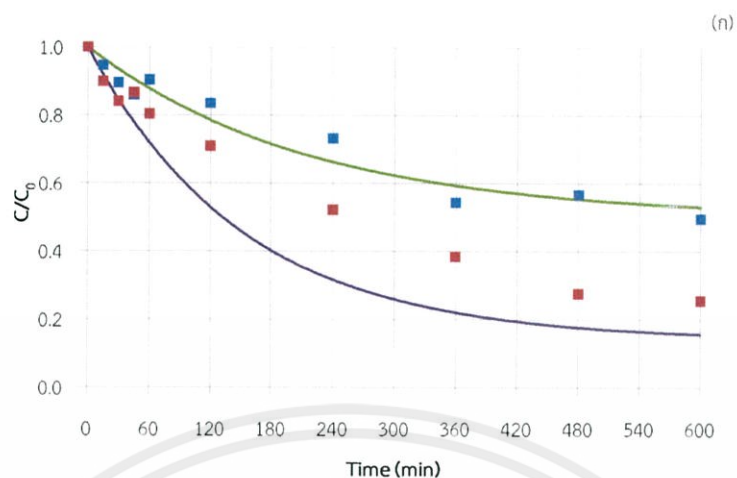
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5.1.-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

kinetic models			pseudo-first-order				pseudo-second-order			
temp. (°C)	%wt	q_e (exp.)	q_e	k_1	R^2	%error of q_e	q_e	k_2	R^2	%error of q_e
65	0.75	4.9197	4.8725	0.0047	0.8632	0.97	6.6667	1.1653	0.8445	26.20
	1.5	3.6328	4.2001	0.0066	0.9157	13.51	4.9826	0.5363	0.9344	27.09
70	0.75	5.7839	4.7016	0.0033	0.9801	23.02	6.3331	1.9411	0.9174	8.67
	1.5	3.8776	3.8493	0.0066	0.9423	0.73	4.5704	0.7887	0.9674	15.16
75	0.75	4.5746	4.3842	0.0070	0.8642	4.16	7.9554	2.1415	0.7639	42.50
	1.5	3.9175	3.3105	0.0058	0.7772	15.49	5.0429	1.1040	0.9550	22.32

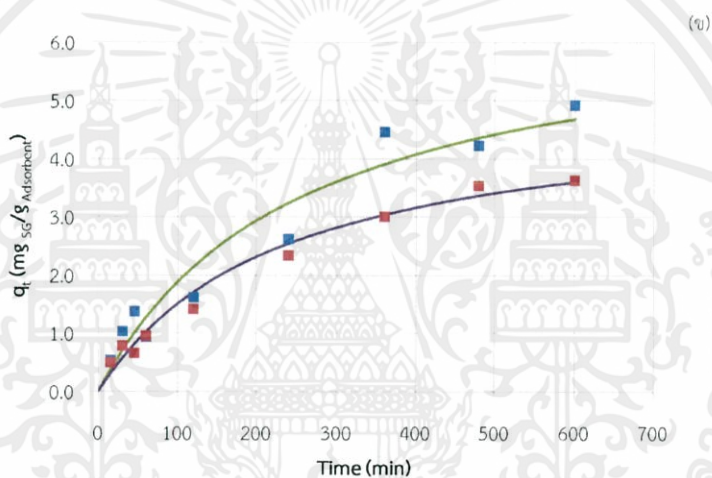
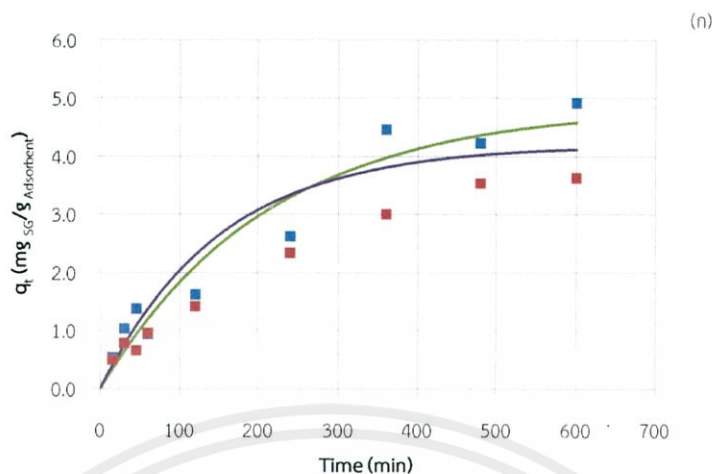
จากตารางที่ 4.5.1.-1 เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ด้วยค่า R^2 พบว่าที่ทุกอุณหภูมิที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.75%wt มีค่า R^2 ของแบบจำลอง pseudo-first-order สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-second-order แต่ที่ 1.5%wt มีค่า R^2 ของแบบจำลอง pseudo-second-order สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-first-order จึงทำการพิจารณาในส่วนอื่นต่อ โดยจะพิจารณาจากค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่า q_e ที่ได้จากการทดลองโดยการหา % ความแตกต่างของ q_e จากการพิจารณาพบว่าค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-first-order มี % ความแตกต่างจากค่า q_e ที่ได้จากการทดลองน้อยกว่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order สุดท้ายจะเป็นการพิจารณาจากการนำค่า q_e และค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณแทนค่ากลับไปในสมการเพื่อหาค่า C แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง และหาค่า q_t แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับเวลา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเช่นกัน แสดงผลตามรูป 4.5.1.-7 - 4.5.1.-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



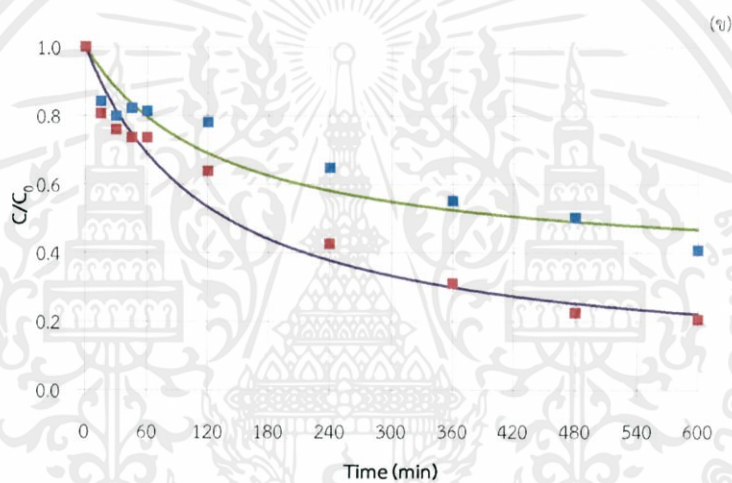
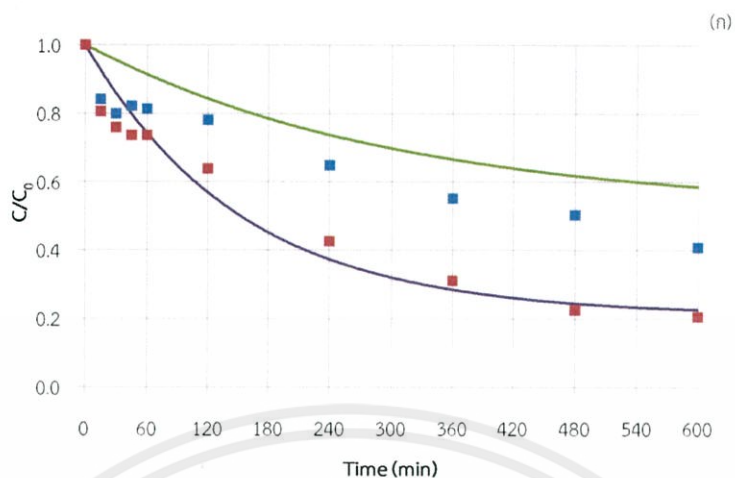
รูปที่ 4.5.1.-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



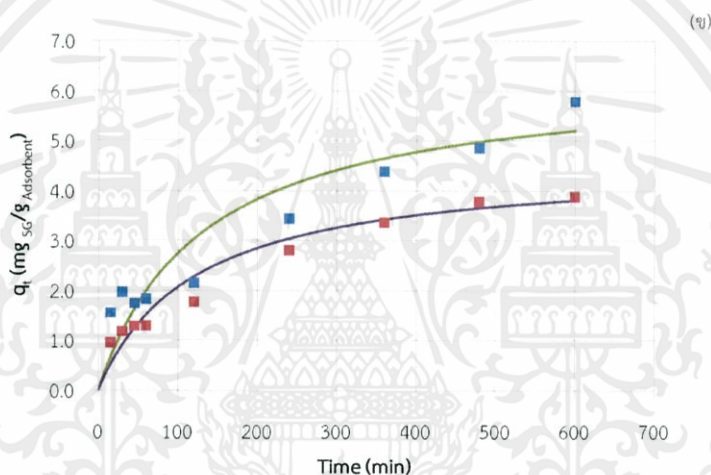
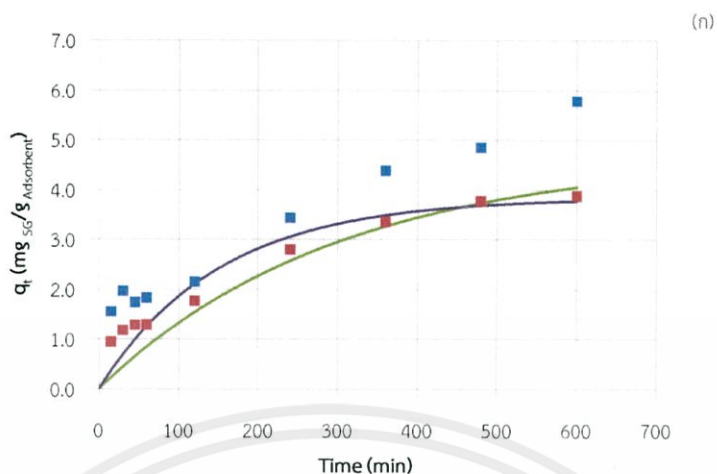
รูปที่ 4.5.1.-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



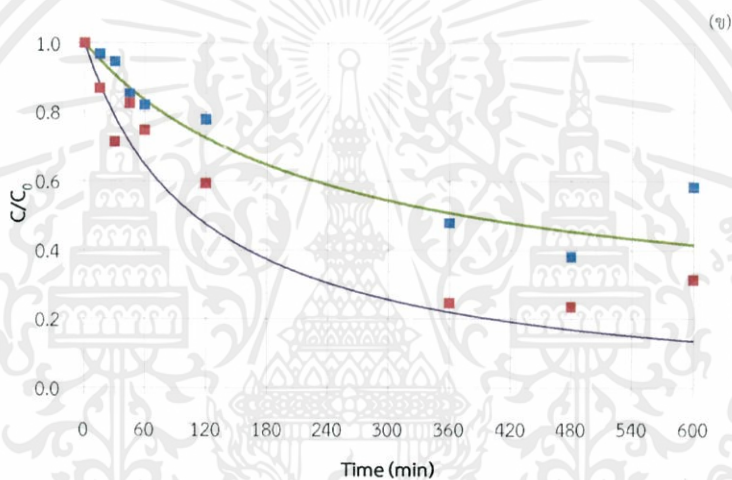
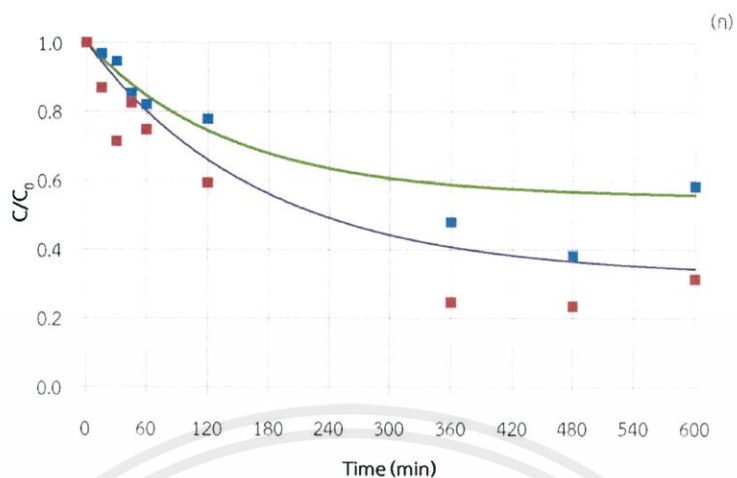
รูปที่ 4.5.1.-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



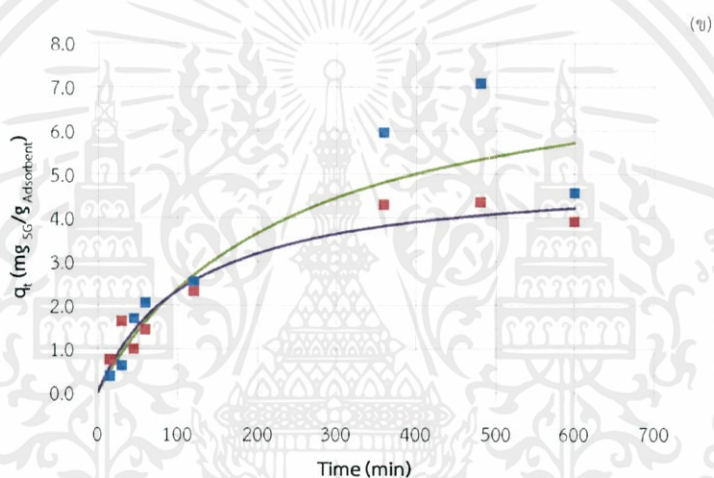
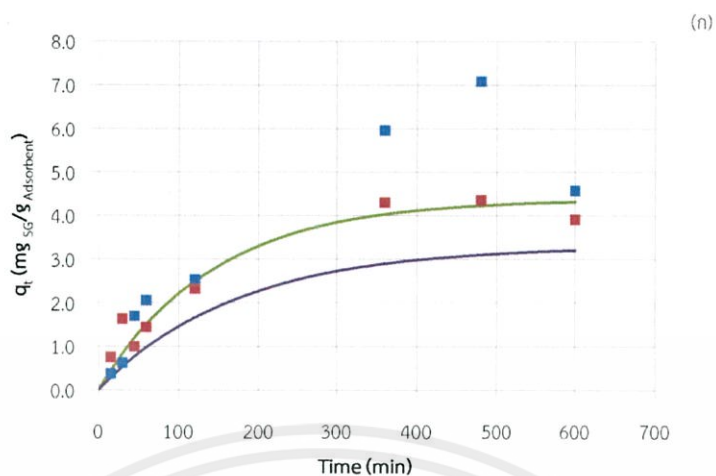
รูปที่ 4.5.1.-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1.-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1.-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order

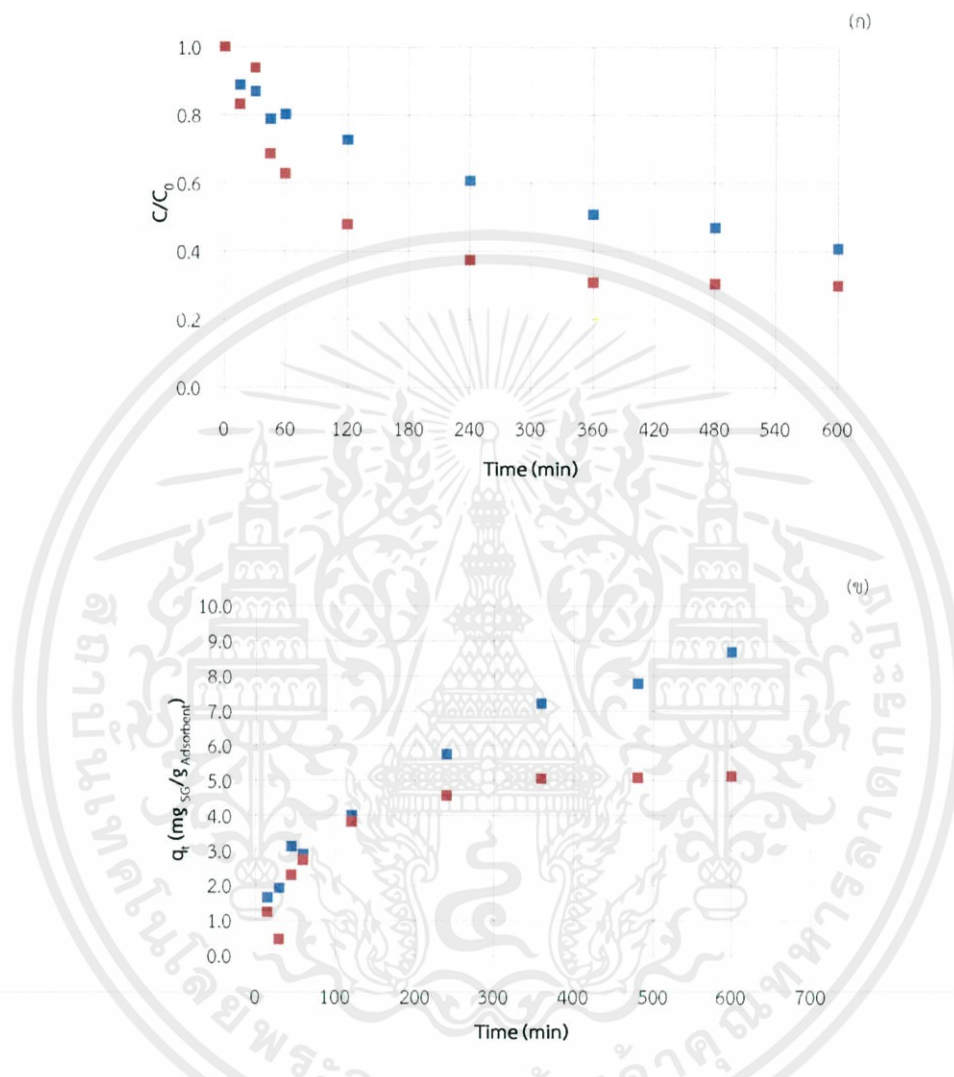
ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt

ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

จากรูปที่ 4.5.1.-7 – 4.5.1.-12 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟแล้วพบว่า C/C_0 ที่เวลาต่างๆ จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับ C/C_0 ที่เวลาต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมากกว่า pseudo-first-order ส่วนค่า q_t ที่เวลาต่างๆ ก็เช่นเดียวกันพบว่า q_t ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่า การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SA-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order ที่ได้จากการทดลอง

4.5.2. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ SB-R

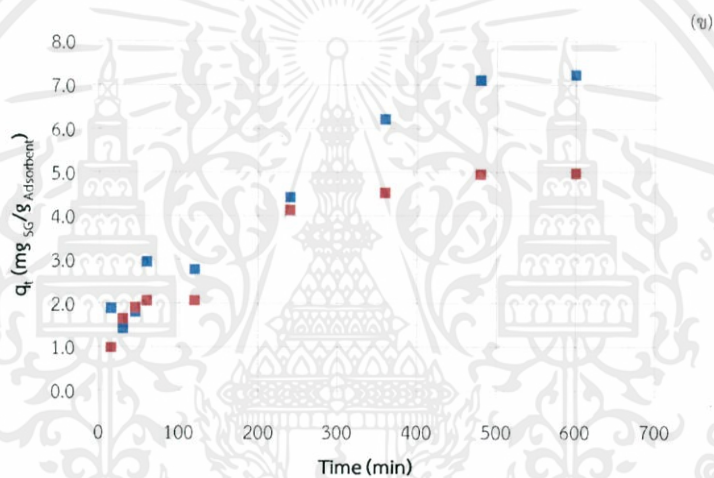
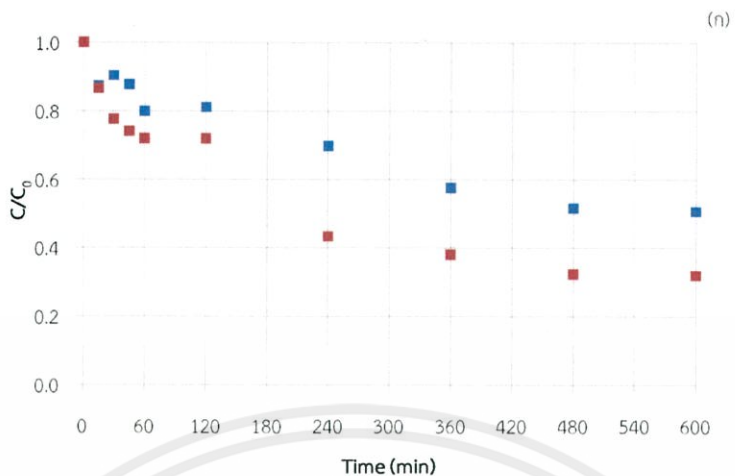
ทำการทดลองเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์โดยทำการดูดซับ SG ด้วย SB-R ปริมาณ 0.5 และ 1 %wt ที่อุณหภูมิ 65 และ 70°C แสดงผลตามรูปที่ 4.5.2.-1 – 4.5.2.-2



รูปที่ 4.5.2.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นกับเวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา

(■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

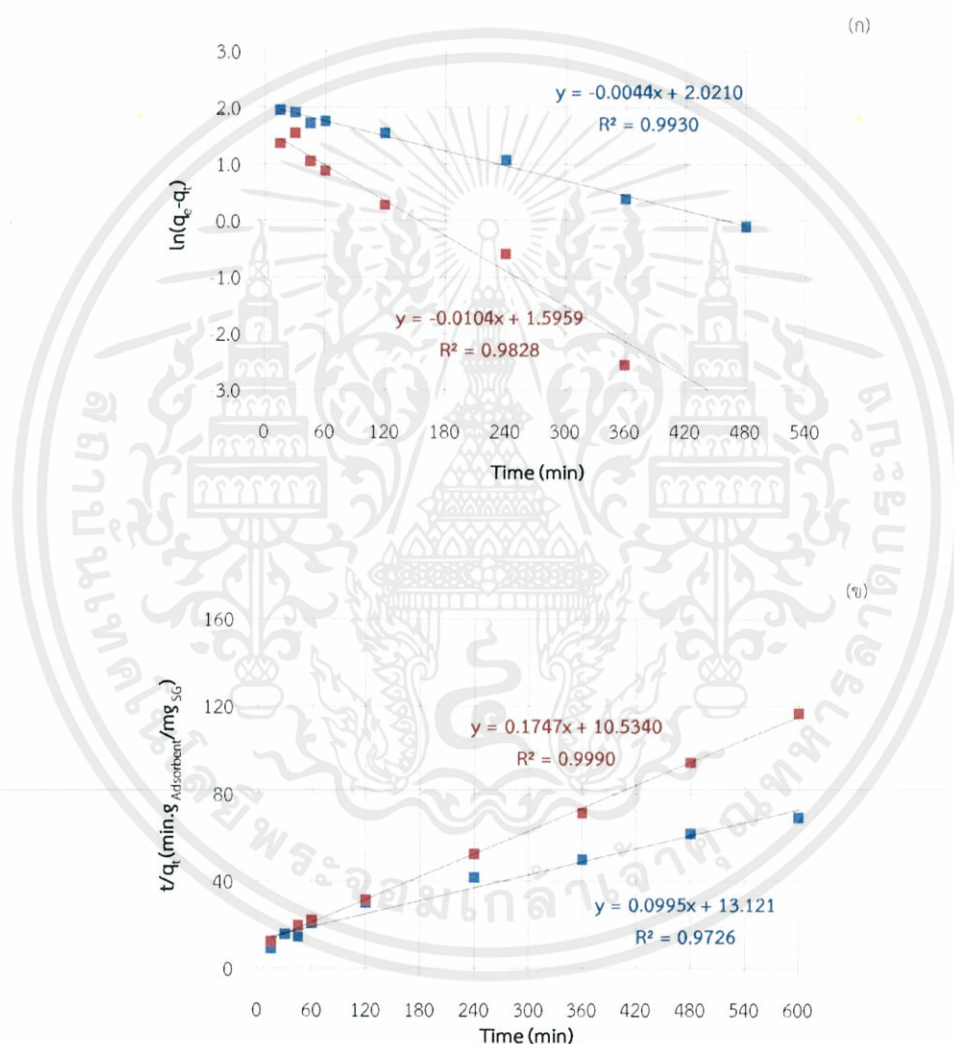
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.2.-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นกับเวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

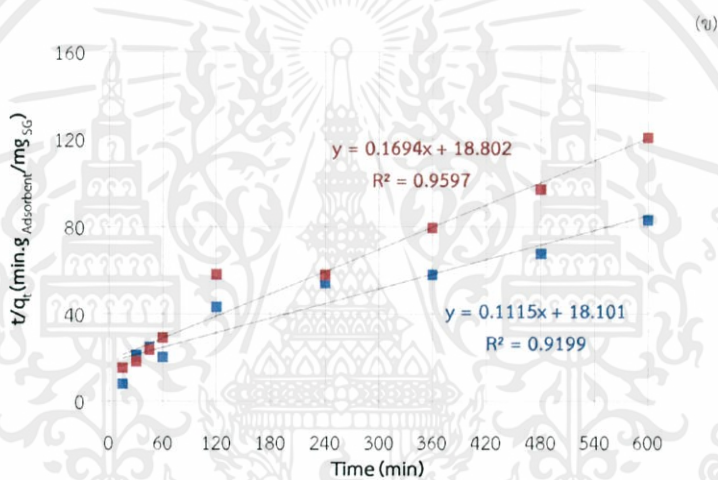
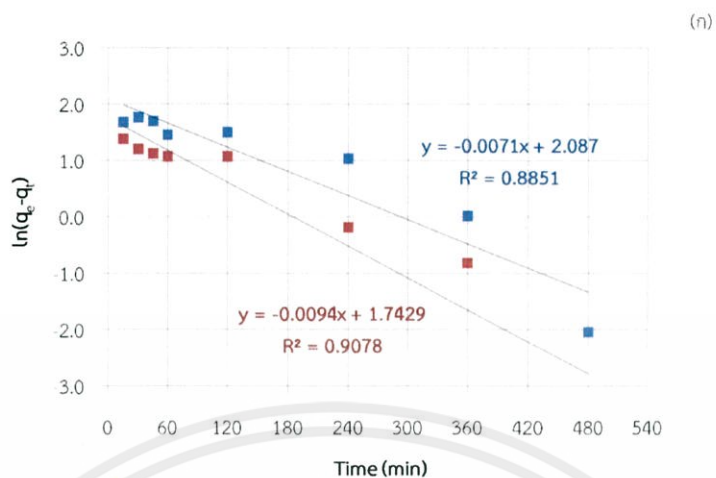
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5.2.-1 – 4.5.2.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงให้เห็นถึงการลดลงของความเข้มข้น SG ที่เวลาต่างๆ และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป และกราฟ q_t กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดย q_t จะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ทำการดูดซับ สามารถนำ C และ q_t ที่ได้มาหาค่า $\ln(q_e - q_t)$ เพื่อพล็อต กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-first-order และหาค่า t/q_t เพื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-second-order แสดงผลตามรูป 4.5.2.-4 – 4.5.2.-6



รูปที่ 4.5.2.-3 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.2.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

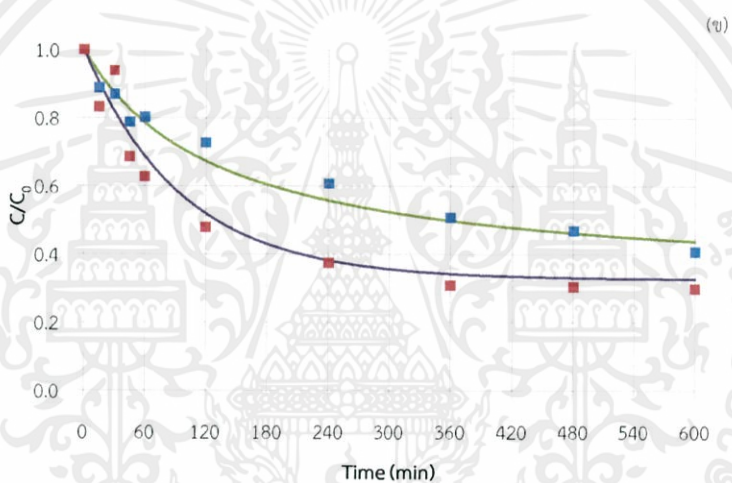
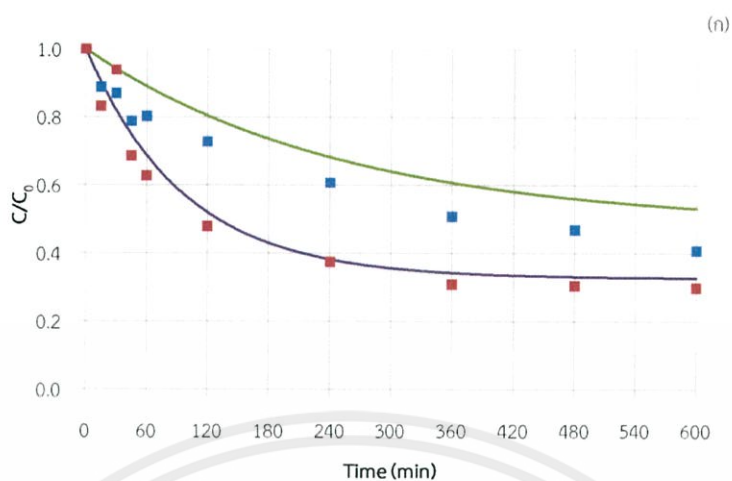
จากรูปที่ 4.5.2.-3 - 4.5.2.-4 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-first-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (k_1) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ SB-R ที่สมดุล (q_e) และได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $time/q_t$ กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-second-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (k_2) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ SB-R ที่สมดุล ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4.5.2.-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

kinetic models			pseudo-first-order				pseudo-second-order			
temp. (°C)	%wt	q_e (exp.)	q_e	k_1	R^2	%error of q_e	q_e	k_2	R^2	%error of q_e
65	0.5	8.6875	7.5459	0.0041	0.9930	13.14	10.0503	0.0008	0.9726	15.69
	1	5.1373	4.9328	0.0104	0.9828	3.98	5.7241	0.0029	0.9990	11.42
70	0.5	7.2329	8.0607	0.0071	0.8851	11.44	8.9686	0.0007	0.9199	24.00
	1	4.9766	8.9686	0.0094	0.9078	14.81	5.9032	0.0015	0.9597	18.62

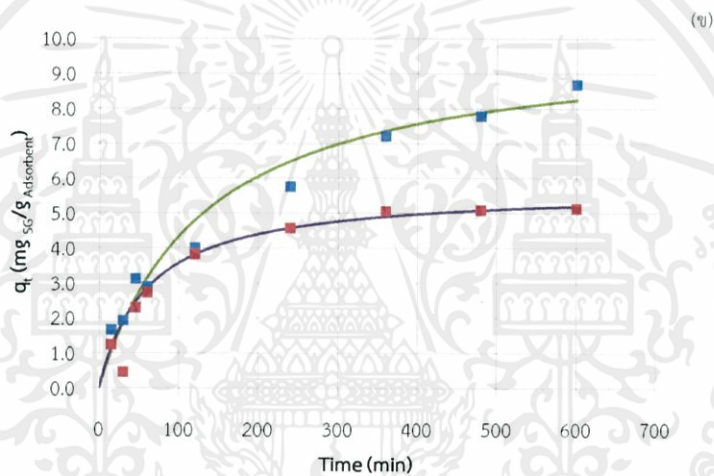
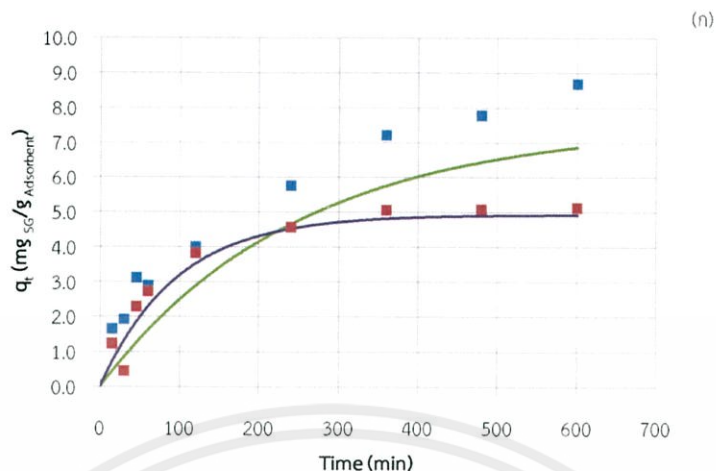
จากตารางที่ 4.5.2.-1 เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ด้วยค่า R^2 พบว่าที่อุณหภูมิ 65°C ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 %wt มีค่า R^2 ของแบบจำลอง pseudo-first-order สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-second-order แต่นอกจากนั้น จะมีค่า R^2 ของแบบจำลอง pseudo-second-order สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-first-order จึงทำการพิจารณาในส่วนอื่นต่อ โดยจะพิจารณาจากค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่า q_e ที่ได้จากการทดลองโดยการหา % ความแตกต่างของ q_e จากการพิจารณาพบว่าค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-first-order มี % ความแตกต่างจากค่า q_e ที่ได้จากการทดลองน้อยกว่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order สุดท้ายจะเป็นการพิจารณาจากการนำค่า q_e และค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณแทนค่ากลับไปในสมการเพื่อหาค่า C แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง และหาค่า q_t แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับเวลา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเช่นกัน แสดงผลตามรูป 4.5.2.-5 - 4.5.2.-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.2.-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

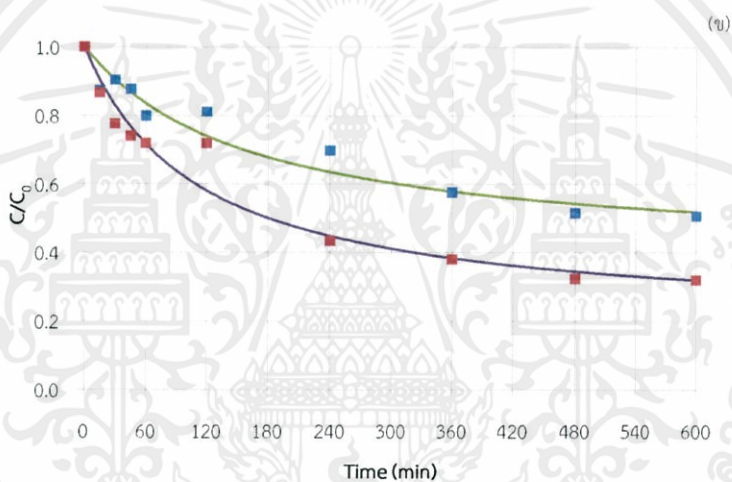
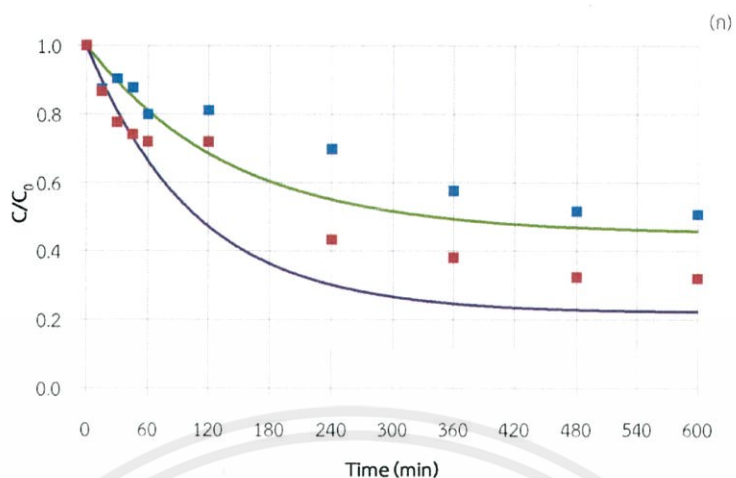


รูปที่ 4.5.2.-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order

ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

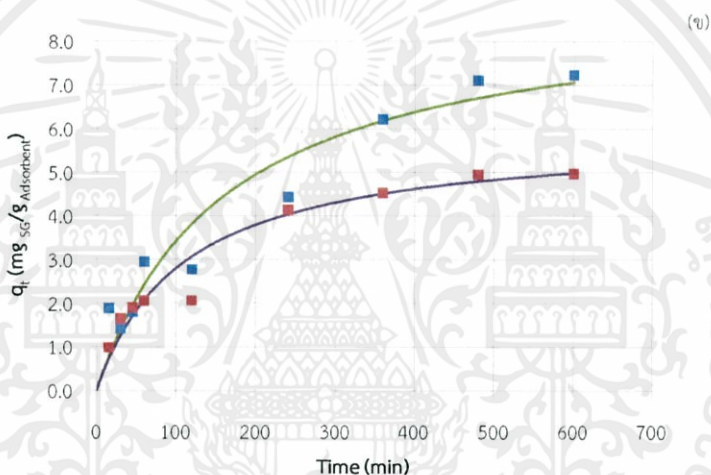
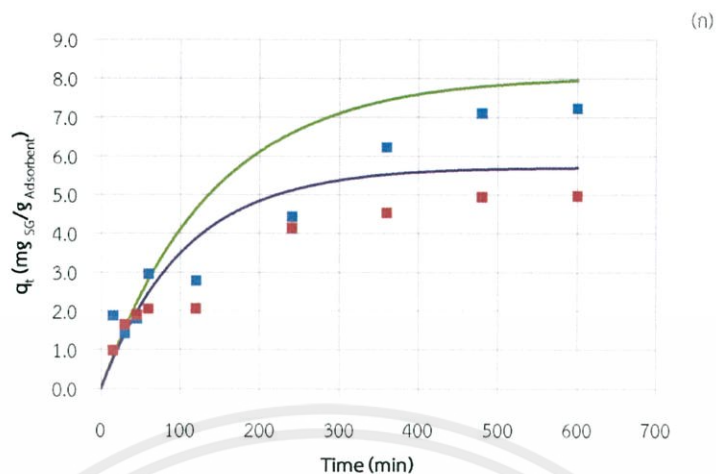
ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.2.-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

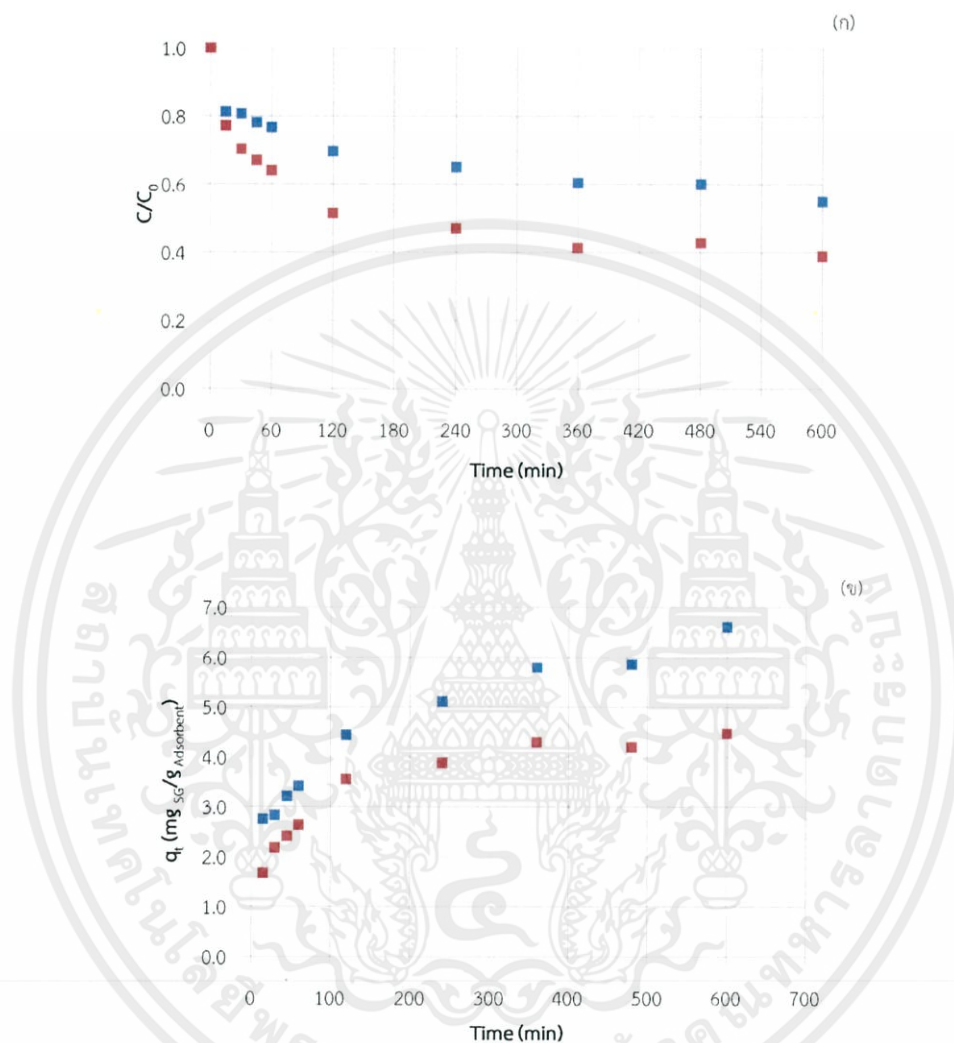


รูปที่ 4.5.2.-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

จากรูปที่ 4.5.2.-5 – 4.5.2.-8 เมื่อพิจารณาความโน้มของกราฟแล้วพบว่า C/C_0 ที่เวลาต่างๆ จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับ C/C_0 ที่เวลาต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมากกว่า pseudo-first-order ส่วนค่า q_t ที่เวลาต่างๆ ก็เช่นเดียวกันพบว่า q_t ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่า การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย SB-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order ที่ได้จากการทดลอง

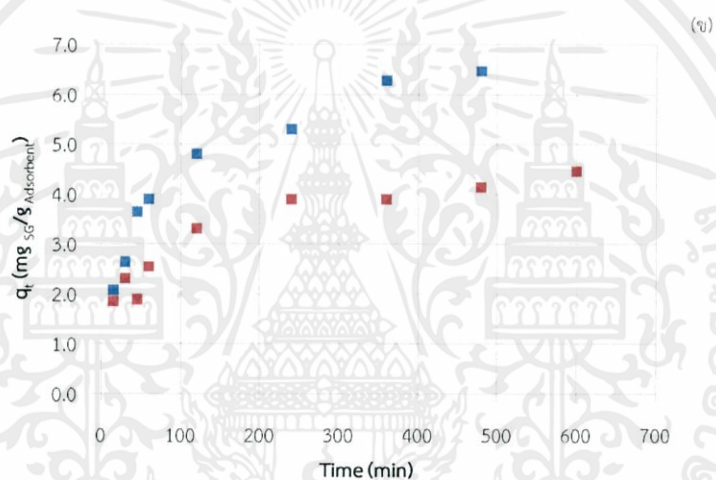
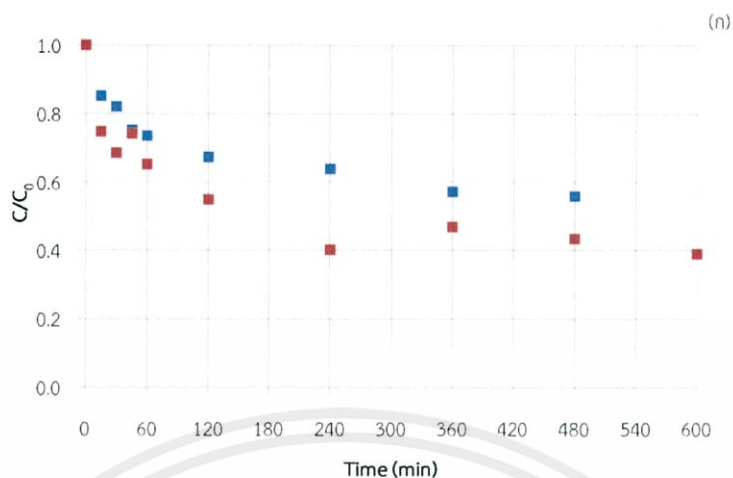
4.5.3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ SG ในไบโอดีเซลโดยใช้ WB-R

ทำการทดลองเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์โดยทำการดูดซับ SG ด้วย WB-R ปริมาณ 0.5 และ 1 %wt ที่อุณหภูมิ 65 และ 70°C แสดงผลตามรูป 4.5.3.-1



รูปที่ 4.5.3.-1 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้น กับ เวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

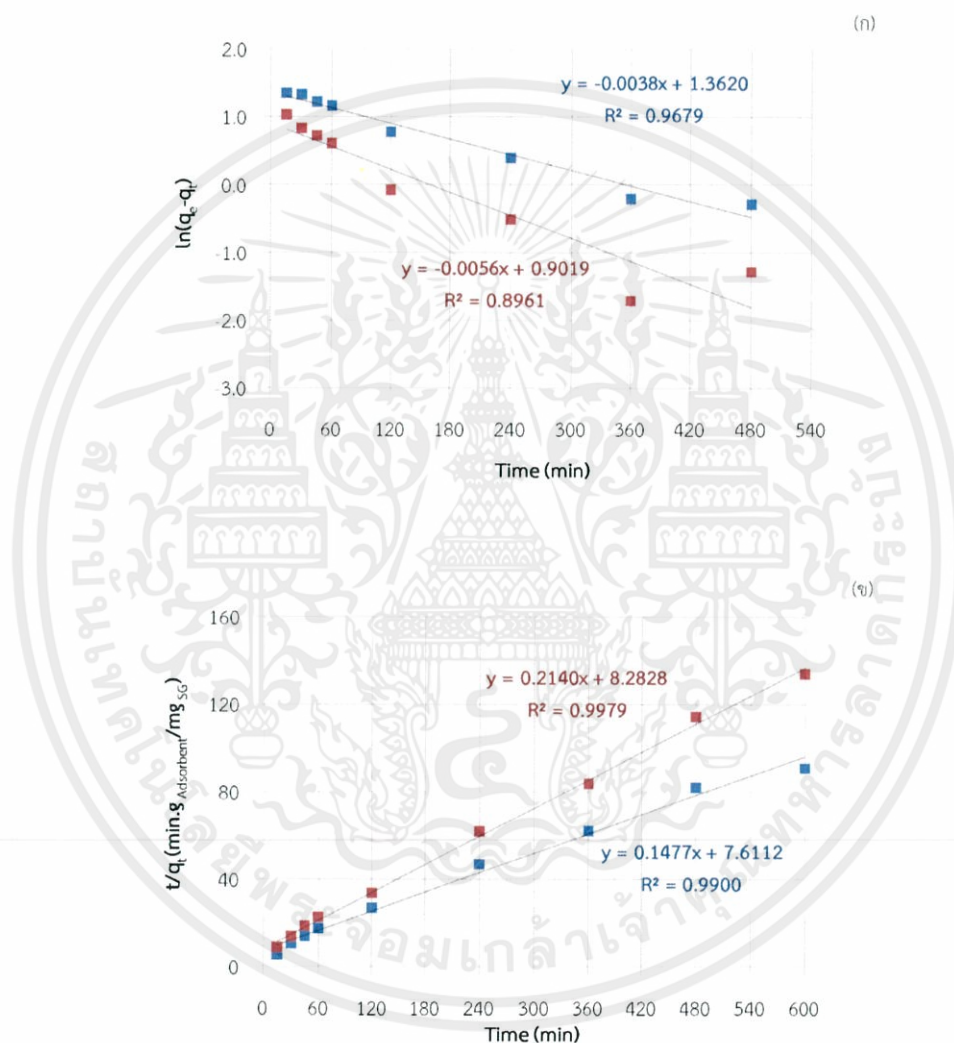
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.3-2 การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นกับความเข้มข้นเริ่มต้น กับ เวลา (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

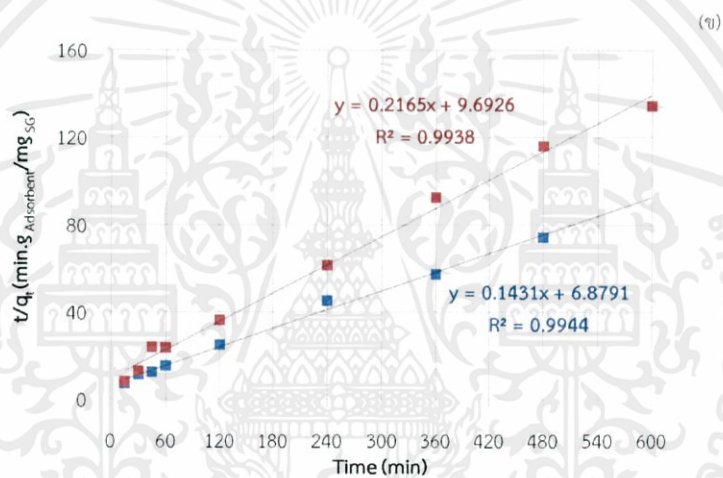
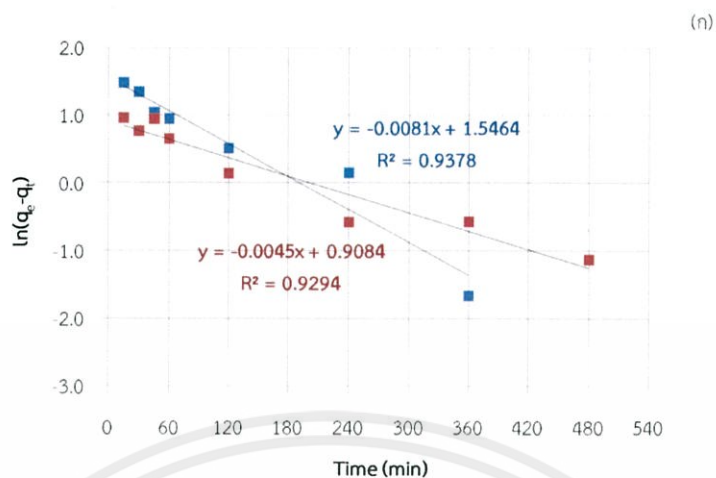
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5.3.-1 – 4.5.3.-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงให้เห็นถึงการลดลงของความเข้มข้น SG ที่เวลาต่างๆ และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป และกราฟ q_t กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดย q_t จะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ทำการศึกษา สามารถนำ C และ q_t ที่ได้มาหาค่า $\ln(q_e - q_t)$ เพื่อพล็อต กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-first-order และหาค่า t/q_t เพื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลอง pseudo-second-order แสดงผลตามรูป 4.5.3.-3 – 4.5.3.-6



รูปที่ 4.5.3.-3 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆที่อุณหภูมิ 65°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo-second-order (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.3.-4 แสดงจลนพลศาสตร์แบบต่างๆที่อุณหภูมิ 70°C (ก) แบบจำลอง pseudo-first-order (ข) แบบจำลอง pseudo- second -order (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

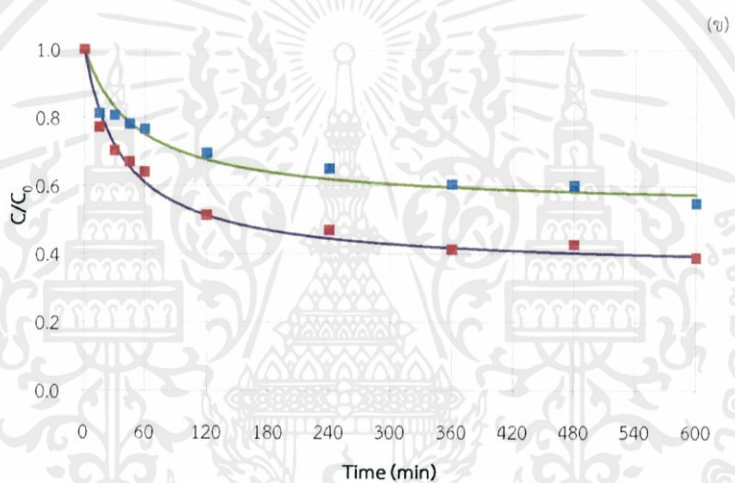
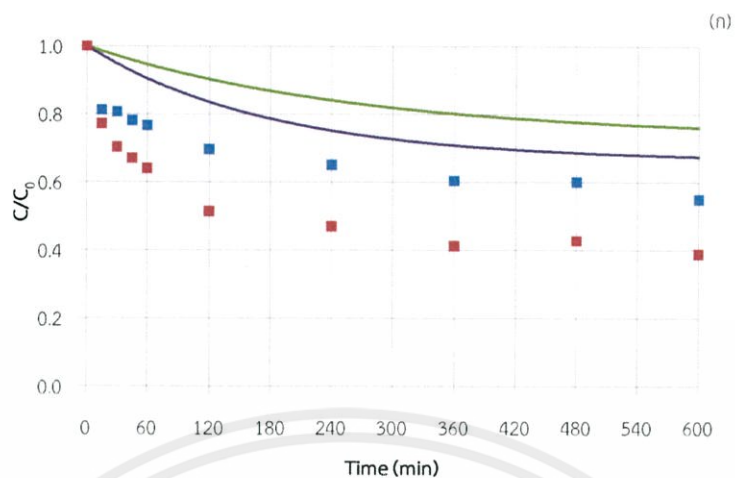
จากรูปที่ 4.5.3.-3 – 4.5.3.-4 จะได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-first-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (k_1) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ WB-R ที่สมดุล (q_e) และได้สมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $time/q_t$ กับเวลา (min) ซึ่งแสดงแบบจำลอง pseudo-second-order สามารถนำมาหาค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (k_2) และ ความสามารถในการดูดซับ SG ของ WB-R ที่สมดุล ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4.5.3.-1 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

kinetic models			pseudo-first-order				pseudo-second-order			
temp. (°C)	%wt	q_e (exp.)	q_e	k_1	R^2	%error of q_e	q_e	k_2	R^2	%error of q_e
65	0.5	6.6043	3.9040	0.0038	0.9679	40.89	6.7705	0.0029	0.9900	2.52
	1	4.4766	2.4643	0.0056	0.8961	44.95	4.7304	0.0054	0.9979	5.67
70	0.5	6.4676	4.6945	0.0081	0.9378	27.41	6.9881	0.0030	0.9944	8.05
	1	4.4610	2.4804	0.0045	0.9294	44.40	4.6189	0.0048	0.9938	3.54

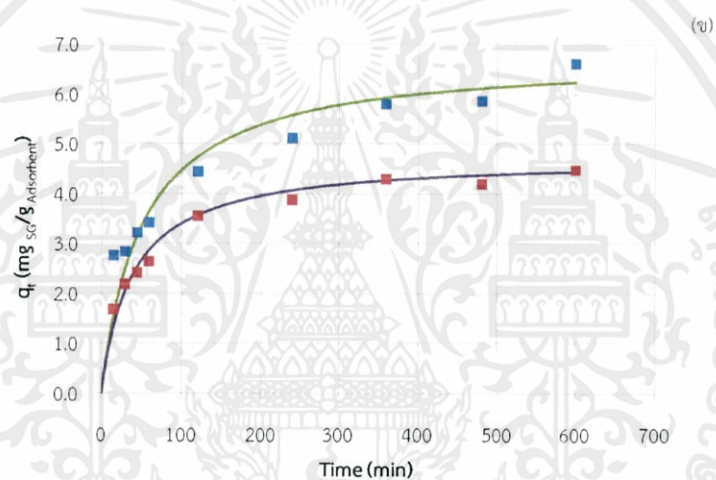
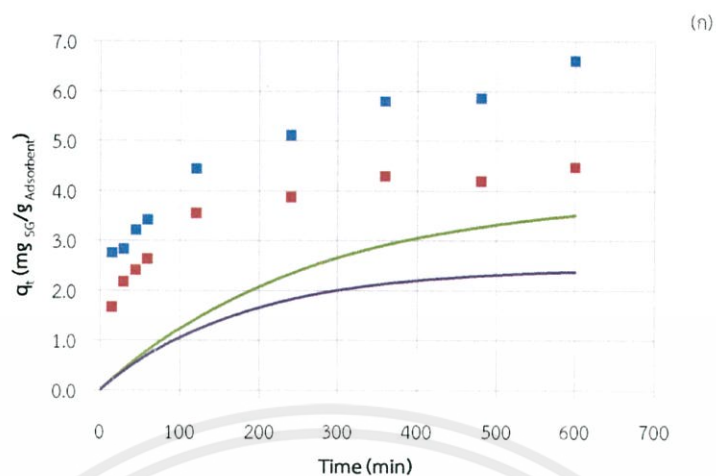
จากตารางที่ 4.5.3.-1 เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ด้วยค่า R^2 พบว่าที่ทุกอุณหภูมิ ทุกปริมาณตัวดูดซับ มีค่า R^2 ของแบบจำลอง pseudo-second-order สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-first-order จึงทำการพิจารณาในส่วนอื่นต่อ โดยจะพิจารณาจากค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่า q_e ที่ได้จากการทดลองโดยการหา % ความแตกต่างของ q_e จากการพิจารณาพบว่าค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order มี%ความแตกต่างจากค่า q_e ที่ได้จากการทดลองน้อยกว่า q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง pseudo-first-order สุดท้ายจะเป็นการพิจารณาจากการนำค่า q_e และค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณแทนค่ากลับไปในสมการเพื่อหาค่า C แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง และหาค่า q_e แล้วนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับเวลา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเช่นกัน แสดงผลตามรูป 4.5.3.-5 – 4.5.3.-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



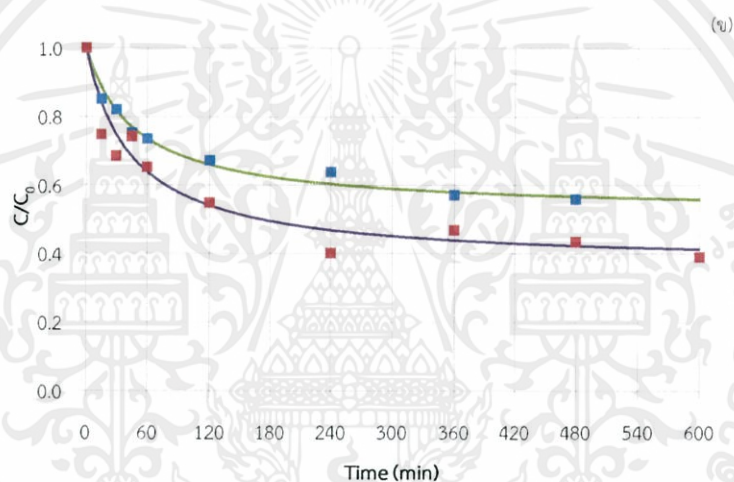
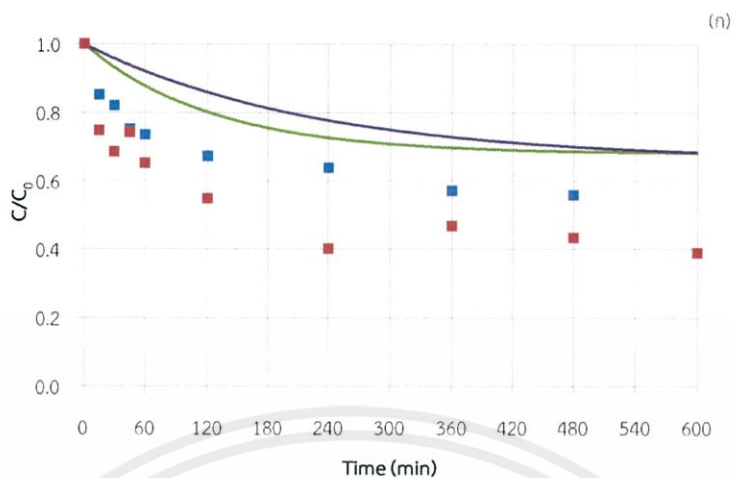
รูปที่ 4.5.3.-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



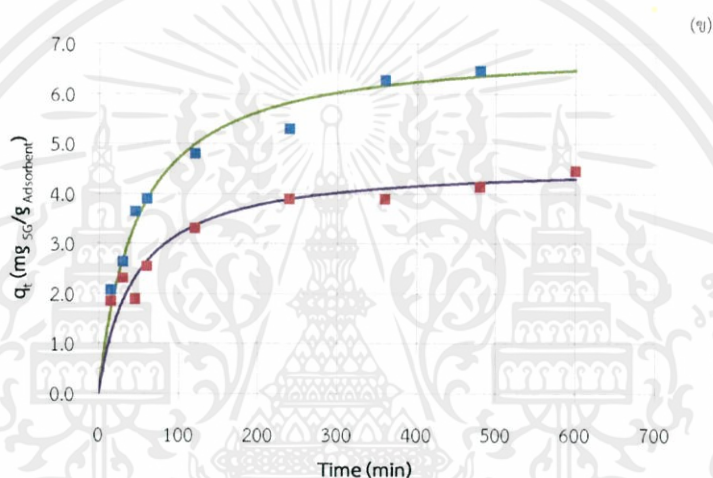
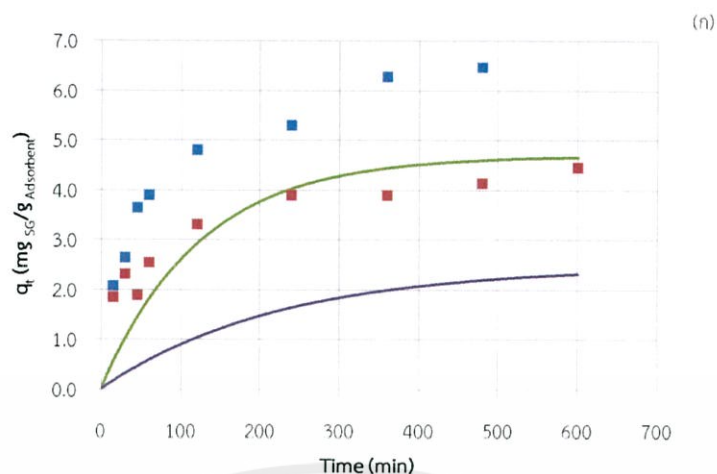
รูปที่ 4.5.3.-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt,
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.3.-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ C/C_0 ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt
ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.3.-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-first-order (ข) เปรียบเทียบ q_t ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณด้วยค่าคงที่จากแบบจำลอง pseudo-second-order
 ค่าที่ได้จากการทดลอง: (■) 0.5 %wt, (■) 1 %wt,
 ค่าที่ได้จากการคำนวณ: (—) 0.5 %wt, (—) 1 %wt

จากรูปที่ 4.5.3.-5 – 4.5.3.-8 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟแล้วพบว่า C/C_0 ที่เวลาต่างๆ จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับ C/C_0 ที่เวลาต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมากกว่า pseudo-first-order ส่วนค่า q_t ที่เวลาต่างๆ ก็เช่นเดียวกันพบว่า q_t ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ของแบบจำลอง pseudo-second-order มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลอง ซึ่งเป็นการยืนยันผลการพิจารณา R^2 จึงสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับ SG ในไบโอดีเซลด้วย WB-R สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง pseudo-second-order ที่ได้จากการทดลอง

4.6. ตารางสรุปผลการศึกษา

ตารางที่ 4.6.-1 ตารางสรุปผลการศึกษา

ตัวดูดซับ	อิทธิพลของอุณหภูมิ	คายซับ	ไอโซเทอร์ม	จลนพลศาสตร์
SA-R	65-75°C	-	แบบจำลองเชิงเส้น	แบบจำลอง pseudo-second-order
SB-R	-	isopropanol	แบบจำลองเชิงเส้น	แบบจำลอง pseudo-second order
WB-R	-	isopropanol	แบบจำลองเชิงเส้น	แบบจำลอง pseudo-second-order



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SG ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ พบว่าช่วงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ SG ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงอยู่ในช่วง 65-75 °C และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ ในส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคายซับ SG โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงไม่สามารถคายซับได้ด้วยตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดสามารถคายซับได้ด้วย isopropanol (IPA) เมื่อพิจารณาแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับจาก R^2 และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับแนวโน้มจาก q_e ที่ได้จากการทดลอง และ q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงไอโซเทอร์มแบบต่างๆ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงในช่วงอุณหภูมิ 65-75°C และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 65-70°C มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอร์มเชิงเส้นตามสมการ $q_e = KC_e$ (สมการ 2-8) และเมื่อพิจารณาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการดูดซับจาก R^2 , ร้อยละความแตกต่างระหว่าง q_e ที่ได้จากการทดลองและ q_e ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าคงที่ที่ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงไอโซเทอร์มแบบต่างๆ, กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับเวลา ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับแนวโน้มจาก C/C_0 ที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณ และพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับเวลา ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับแนวโน้มจาก q_t ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกชนิดกรดอย่างแรงในช่วงอุณหภูมิ 65-75°C และ เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 65-70°C มีความสอดคล้องกับแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแบบ pseudo-second-order ตามสมการ $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ (สมการ 2-14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. 2552. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนพิเศษ 98 ง.
- [2] Tang H, Salley SO, Ng KYS. Fuel properties and precipitate formation at low temperature in soy-, cottonseed-, and poultry fat-based biodiesel blends. *Fuel* 2008;87:3006–17.
- [3] Tang H, Guzman RD, Salley S, Ng KYS. Comparing process efficiency in reducing steryl glucosides in biodiesel. *J Am Oil Chem Soc* 2010;87:337–45.
- [4] Na-Ranong D., Kitchaiya P., Yuangsawad R. *Removal of steryl glucosides in palm oil based biodiesel by adsorption on an acid treated resin*. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2012, Czech Republic.

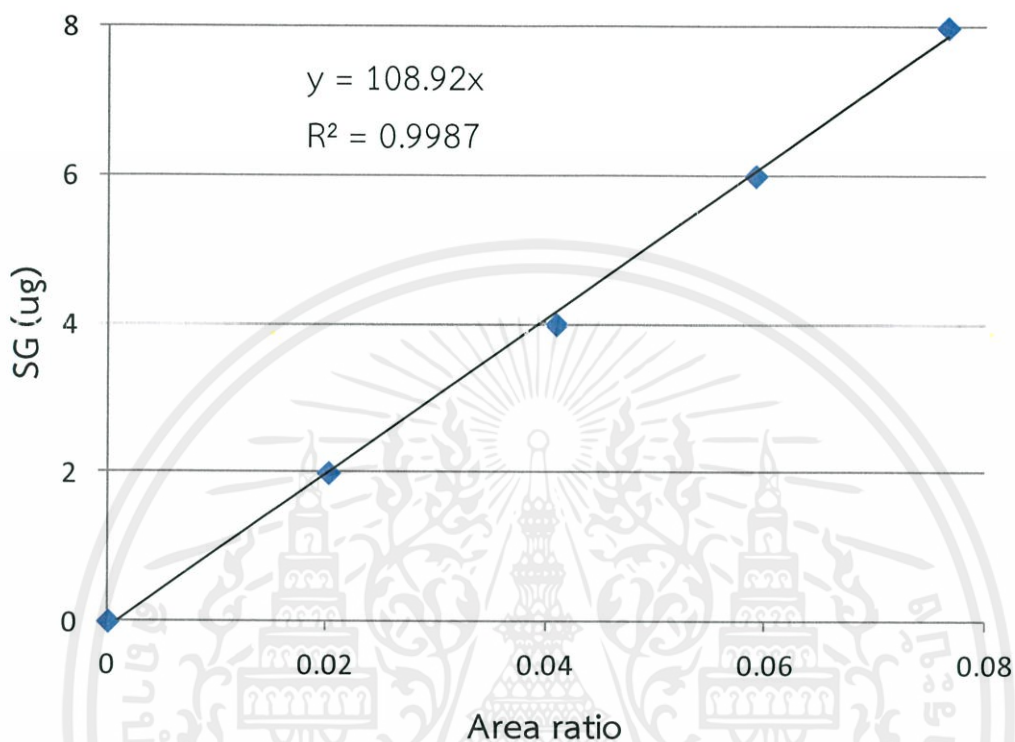
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์ (standard calibration curve)



รูปที่ ก. แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการทดลอง

1. การประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

น้ำหนักของน้ำมัน (W_{oil})	=	8	g
น้ำหนักของเรซิน (W_{ad})	=	0.16	g
ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	97	ppm

ตารางที่ ข.1. แสดงข้อมูลจากการทดลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพตัวดูดซับ

ชนิดของเรซิน	C_{SG} (ppm)			
	65 °C	70 °C	75 °C	80 °C
SA-R	57.21	45.71	25.38	28.87
SB-R	40.43	40.07		
WB-R	49.85	49.53		

2. แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับ

ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	79	ppm
--	---	----	-----

2.1. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 65 °C

ตารางที่ ข.2.1.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 65 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SG} /g _{ad})	$\log q_e$	$\log C_e$	$1/q_e$ (mg _{SG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.25	15.61	0.0375	58.79	8.53	0.93	1.77	0.12	0.02
0.50	15.26	0.0752	50.15	5.91	0.77	1.70	0.17	0.02
0.75	15.16	0.1128	40.15	5.26	0.72	1.60	0.19	0.02
1.00	15.16	0.1501	30.22	4.95	0.70	1.48	0.20	0.03
2.00	15.28	0.3001	15.68	3.24	0.51	1.20	0.31	0.06
3.00	15.16	0.4500	15.90	2.14	0.33	1.20	0.47	0.06
3.50	15.44	0.5250	16.37	1.85	0.27	1.21	0.54	0.06
4.00	15.29	0.6002	13.87	1.67	0.22	1.14	0.60	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.1.-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 65°C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.13	0.0075	67.70	23.38	1.37	1.83	0.04	0.01
0.10	15.16	0.0151	66.88	12.45	1.10	1.83	0.08	0.01
0.25	15.24	0.0378	49.69	11.93	1.08	1.70	0.08	0.02
0.50	15.04	0.0751	32.49	9.37	0.97	1.51	0.11	0.03
0.75	15.36	0.1126	28.25	6.96	0.84	1.45	0.14	0.04
1.00	15.13	0.1500	24.66	5.51	0.74	1.39	0.18	0.04
2.00	15.17	0.3001	17.80	3.11	0.49	1.25	0.32	0.06
3.00	15.11	0.4503	18.64	2.04	0.31	1.27	0.49	0.05
4.00	15.19	0.6000	17.10	1.57	0.20	1.23	0.64	0.06

ตารางที่ ข.2.1.-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 65°C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.28	0.0076	67.07	24.57	1.39	1.83	0.04	0.01
0.10	15.68	0.0152	65.76	13.95	1.14	1.82	0.07	0.02
0.25	15.09	0.0375	66.59	5.10	0.71	1.82	0.20	0.02
0.50	15.44	0.0750	47.08	6.63	0.82	1.67	0.15	0.02
0.75	15.07	0.1125	36.63	5.72	0.76	1.56	0.17	0.03
1.00	15.56	0.1500	29.40	5.17	0.71	1.47	0.19	0.03
2.00	15.34	0.3001	20.16	3.02	0.48	1.30	0.33	0.05
3.00	15.19	0.4501	17.85	2.07	0.32	1.25	0.48	0.06
4.00	15.04	0.6002	17.45	1.55	0.19	1.24	0.65	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C

ตารางที่ ข.2.2.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 70 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.25	15.49	0.0376	54.09	10.38	1.02	1.73	0.10	0.02
0.50	15.26	0.0751	38.60	8.26	0.92	1.59	0.12	0.03
0.75	15.40	0.1127	35.98	5.92	0.77	1.56	0.17	0.03
1.00	15.17	0.1502	28.29	5.15	0.71	1.45	0.19	0.04
2.00	15.08	0.3001	14.39	3.26	0.51	1.16	0.31	0.07
3.00	15.18	0.4501	19.84	2.00	0.30	1.30	0.50	0.05
3.50	15.04	0.5251	14.94	1.84	0.27	1.17	0.54	0.07
4.00	15.09	0.6001	12.56	1.68	0.22	1.10	0.60	0.08

ตารางที่ ข.2.2.-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 70 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.10	0.0076	64.48	29.41	1.47	1.81	0.03	0.02
0.10	15.03	0.0151	64.21	15.00	1.18	1.81	0.07	0.02
0.25	15.02	0.0375	53.36	10.39	1.02	1.73	0.10	0.02
0.50	15.07	0.0750	38.12	8.27	0.92	1.58	0.12	0.03
0.75	15.40	0.1127	31.58	6.52	0.81	1.50	0.15	0.03
1.00	15.24	0.1500	29.90	5.02	0.70	1.48	0.20	0.03
2.00	15.23	0.3001	22.28	2.89	0.46	1.35	0.35	0.04
3.00	15.04	0.4502	20.76	1.96	0.29	1.32	0.51	0.05
4.00	15.21	0.6001	16.83	1.58	0.20	1.23	0.63	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.2-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 70 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg_{SSG}/g_{ad})	$\log q_e$	$\log C_e$	$1/q_e$ (mg_{SSG}/g_{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.04	0.0076	66.66	24.98	1.40	1.82	0.04	0.02
0.10	15.22	0.0150	65.60	13.88	1.14	1.82	0.07	0.02
0.25	15.01	0.0375	57.63	8.66	0.94	1.76	0.12	0.02
0.50	15.38	0.0752	42.94	7.43	0.87	1.63	0.13	0.02
0.75	15.06	0.1126	34.30	6.02	0.78	1.54	0.17	0.03
1.00	15.21	0.1501	32.08	4.78	0.68	1.51	0.21	0.03
2.00	15.23	0.3003	19.62	3.03	0.48	1.29	0.33	0.05
3.00	15.26	0.4503	17.58	2.09	0.32	1.25	0.48	0.06
4.00	15.05	0.6000	15.44	1.60	0.20	1.19	0.62	0.06

2.3. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 75 °C

ตารางที่ ข.2.3-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 75 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg_{SSG}/g_{ad})	$\log q_e$	$\log C_e$	$1/q_e$ (mg_{SSG}/g_{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.25	15.09	0.0376	55.98	9.35	0.97	1.75	0.11	0.02
0.50	15.03	0.0751	43.15	7.23	0.86	1.63	0.14	0.02
0.75	15.07	0.1125	33.08	6.19	0.79	1.52	0.16	0.03
1.00	15.13	0.1500	21.18	5.86	0.77	1.33	0.17	0.05
2.00	15.16	0.3004	12.68	3.36	0.53	1.10	0.30	0.08
3.50	15.09	0.5252	21.58	1.66	0.22	1.33	0.60	0.05
4.00	15.11	0.6001	14.46	1.63	0.21	1.16	0.61	0.07
5.00	15.07	0.7503	12.68	1.34	0.13	1.10	0.75	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.3-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 75 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.03	0.0075	64.63	29.36	1.47	1.81	0.03	0.02
0.10	15.08	0.0151	62.78	16.49	1.22	1.80	0.06	0.02
0.25	15.01	0.0377	54.60	9.83	0.99	1.74	0.10	0.02
0.50	15.02	0.0750	45.71	6.72	0.83	1.66	0.15	0.02
0.75	15.14	0.1127	28.17	6.86	0.84	1.45	0.15	0.04
1.00	15.08	0.1500	35.19	4.43	0.65	1.55	0.23	0.03
2.00	15.10	0.3002	22.62	2.85	0.45	1.35	0.35	0.04
3.00	15.04	0.4500	20.55	1.96	0.29	1.31	0.51	0.05
4.00	15.13	0.6000	19.37	1.51	0.18	1.29	0.66	0.05

ตารางที่ ข.2.3-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 75 °C

%wt	W_{oil} (g)	W_{ad} (g)	C_e (ppm)	q_e (mg _{SSG} /g _{ad})	log q_e	log C_e	$1/q_e$ (mg _{SSG} /g _{ad}) ⁻¹	$1/C_e$ (ppm) ⁻¹
0.05	15.10	0.0075	67.81	23.09	1.36	1.83	0.04	0.01
0.25	15.05	0.0376	57.11	8.88	0.95	1.76	0.11	0.02
0.50	15.01	0.0753	44.77	6.88	0.84	1.65	0.15	0.02
0.75	15.04	0.1127	34.94	5.92	0.77	1.54	0.17	0.03
1.00	15.06	0.1501	30.70	4.87	0.69	1.49	0.21	0.03
2.00	15.01	0.3001	25.78	2.68	0.43	1.41	0.37	0.04
3.00	15.03	0.4502	16.62	2.09	0.32	1.22	0.48	0.06
4.00	15.09	0.6002	19.44	1.50	0.18	1.29	0.66	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับ

น้ำหนักน้ำมัน	=	52	g
น้ำหนักเรซิน SA-R	=	0.39	g
ความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์เริ่มต้น (C_0)	=	73	ppm

3.1. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 65 °C

ตารางที่ ข.3.1.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 65 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5
15	69.28	65.88	0.53	0.49	1.48	1.14	28.28	30.48
30	65.54	61.55	1.03	0.78	1.36	1.05	29.16	38.41
45	62.94	63.43	1.38	0.66	1.27	1.09	32.70	68.65
60	66.19	58.89	0.94	0.96	1.38	0.98	63.68	62.60
120	61.12	51.99	1.62	1.42	1.19	0.79	74.15	84.56
240	53.62	38.23	2.62	2.34	0.83	0.26	91.62	102.70
360	39.84	28.19	4.46	3.01	-0.77	-0.47	80.78	119.73
480	41.54	20.25	4.23	3.54	-0.37	-2.34	113.49	135.74
600	36.37	18.81	4.92	3.63			121.96	165.16

ตารางที่ ข.3.1.-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 65 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
15	65.01	60.94	1.65	1.23	1.95	1.36	9.09	12.18
30	63.65	68.76	1.92	0.45	1.91	1.54	15.61	
45	57.71	50.32	3.11	2.29	1.72	1.05	14.47	19.62
60	58.80	45.99	2.89	2.73	1.76	0.88	20.75	22.00
120	53.26	35.07	4.00	3.82	1.54	0.28	30.00	31.42
240	44.47	27.45	5.76	4.58	1.07	-0.59	41.68	52.39
360	37.20	22.67	7.21	5.06	0.39	-2.55	49.90	71.16
480	34.34	22.30	7.79	5.10	-0.10	-3.19	61.65	94.19
600	29.83	21.89	8.69	5.14			69.06	116.79

ตารางที่ ข.3.1.-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 65 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
15	59.46	56.54	2.76	1.67	1.35	1.03	5.44	8.96
30	59.08	51.50	2.83	2.18	1.33	0.83	10.59	13.78
45	57.19	49.12	3.21	2.42	1.22	0.72	14.01	18.63
60	56.18	46.90	3.41	2.64	1.16	0.61	17.57	22.75
120	51.05	37.73	4.44	3.56	0.77	-0.08	27.03	33.75
240	47.66	34.51	5.12	3.88	0.40	-0.51	46.91	61.89
360	44.27	30.32	5.79	4.30	-0.21	-1.71	62.13	83.80
480	43.98	31.29	5.85	4.20	-0.29	-1.28	82.00	114.32
600	40.22	28.52	6.60	4.48			90.85	134.03

3.2. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C

ตารางที่ ข.3.2.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 70 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5
15	61.64	59.04	1.55	0.95	1.44	1.07	9.67	15.82
30	58.52	55.56	1.97	1.18	1.34	0.99	15.25	25.43
45	60.23	53.96	1.74	1.29	1.40	0.95	25.87	34.98
60	59.55	53.90	1.83	1.29	1.37	0.95	32.80	46.48
120	57.15	46.74	2.15	1.77	1.29	0.75	55.82	67.86
240	47.49	31.24	3.44	2.80	0.85	0.07	69.80	85.66
360	40.41	22.84	4.38	3.36	0.34	-0.66	82.13	107.08
480	36.87	16.60	4.86	3.78	-0.07	-2.31	98.85	127.04
600	29.92	15.11	5.78	3.88			103.74	154.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.2.-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SB-R ที่ 70 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
15	63.89	63.46	1.88	0.98	1.68	1.39	8.00	15.30
30	66.17	56.82	1.42	1.64	1.76	1.20	21.14	18.24
45	64.27	54.25	1.80	1.90	1.69	1.12	25.00	23.66
60	58.52	52.71	2.95	2.06	1.45	1.07	20.33	29.19
120	59.40	52.66	2.78	2.06	1.49	1.07	43.24	58.24
240	51.11	31.84	4.43	4.14	1.03	-0.18	54.13	57.93
360	42.20	27.92	6.22	4.53	0.01	-0.82	57.89	79.38
480	37.78	23.77	7.10	4.95	-2.04	-3.63	67.58	96.97
600	37.13	23.50	7.23	4.98			82.95	120.56

ตารางที่ ข.3.2.-3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ WB-R ที่ 70 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
15	62.91	54.81	2.07	1.85	1.48	0.96	7.24	8.13
30	60.08	50.16	2.64	2.31	1.34	0.77	11.37	12.98
45	55.08	54.38	3.64	1.89	1.04	0.94	12.36	23.83
60	53.80	47.83	3.90	2.54	0.94	0.65	15.40	23.58
120	49.25	40.19	4.81	3.31	0.51	0.14	24.97	36.28
240	46.77	34.28	5.30	3.90	0.15	-0.58	45.26	61.55
360	41.89	34.35	6.28	3.89	-1.67	-0.57	57.34	92.48
480	40.95	31.91	6.47	4.14		-1.13	74.22	116.04
600		28.67		4.46				134.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 75°C

ตารางที่ ข.3.3.-1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับ SA-R ที่ 75 °C

time (min) %wt	C_{SG} (ppm)		q_t (mg _{SG} /g _{ad})		$\ln(q_e - q_t)$		t/q_t (min.g _{ad} /mg _{SG})	
	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	1.5
15	82.86	74.40	0.37	0.75	1.44	1.15	40.14	19.98
30	81.03	61.16	0.62	1.63	1.38	0.83	48.61	18.36
45	72.96	70.65	1.69	1.00	1.06	1.07	26.58	44.96
60	70.26	64.01	2.05	1.44	0.92	0.91	29.22	41.56
120	66.68	50.90	2.53	2.32	0.71	0.47	47.42	51.76
360	41.00	21.11	5.95	4.30			60.45	83.63
480	32.56	20.18	7.08	4.37			67.79	109.92
600	51.35	26.92	4.57	3.92			131.16	153.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้