



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก
Adsorption of Steryl Glucosides in Biodiesel
using Cation-Exchange Resin

รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง
น.ส.สุทธิรัตน์ คำบุง
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

รช
๑153๗
2556

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **137792**
รับเดือนปี **๕16** ค.ศ. **2558**

12700836

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	III
สารบัญรูป	IV
บทคัดย่อภาษาไทย	VI
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	VII
กิตติกรรมประกาศ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4. คำสำคัญของการวิจัย	2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1. ไบโอดีเซล	3
2.2. คุณสมบัติของไบโอดีเซล	3
2.3. สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล	3
2.4. สเตอริลกลูโคไซด์	4
2.5. การดูดซับ	4
2.6. แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับ	6
2.7. จลนพลศาสตร์การดูดซับ	7
2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1. สารเคมี	9
3.2. อุปกรณ์	9
3.3. สภาพที่ใช้ในการดำเนินงาน	9
3.4. การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของไบโอดีเซลและสเตอริลกลูโคไซด์	9
3.5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง	10

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	5
3.1. แสดงสภาวะในการดำเนินงานสำหรับการดำเนินการในแต่ละส่วน	9
4.4.1. พารามิเตอร์ของสมการไอโซเทอร์มตามแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์, แบบฟรุนดลิช และแบบเชิงเส้น	20
4.5.1. ค่าคงที่จลนพลศาสตร์การดูดซับตามแบบจำลองแบบ pseudo-first-order และ pseudo-second-order	32



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	13
4.1. สมบัติของไปโอดีเซล	13
4.2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตอริลกลูโคไซด์ตามระยะเวลาการดูดซับ	13
4.3. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์	13
4.4. ไอโซเทอร์มการดูดซับ	15
4.5. จลนพลศาสตร์การดูดซับ	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	42
ประวัตินักวิจัย	45



ชื่อโครงการ การดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก
แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

ประจำปีงบประมาณ 2556

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556

หัวหน้าโครงการ รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับของสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยทำการทดลองดูดซับแบบกะในช่วงอุณหภูมิ 65 – 75 °C แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการดูดซับ, การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ใช้สามารถดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ได้ดี และการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ดูดซับได้ดีขึ้นในช่วง 65 – 70 °C แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ทำโดยพิจารณาแบบจำลองแลงเมียร์, ฟรุนดลิช และเชิงเส้น พบว่าแบบจำลองเชิงเส้น (linear isotherm) สามารถอธิบายพฤติกรรมการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี สำหรับการศึกษาลจลนพลศาสตร์การดูดซับทำโดยพิจารณาแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับสามารถอธิบายได้ดีโดยใช้แบบจำลอง pseudo-second-order

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์ม, การดูดซับ, สเตอรินกลูโคไซด์, เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก

	C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	
4.5.5.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70°C และใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	30
4.5.6.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 75°C และใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	31
4.5.7.	ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	34
4.5.8.	ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	35
4.5.9.	ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	36
4.5.10.	ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	37
4.5.11.	ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	38
4.5.12.	ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (---) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt	39

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	3
2.2.	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลเตทสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล	4
4.2.1.	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสเตริลกลูโคไซด์หลังการดูดซับด้วย C-IR ที่ 65 °C	13
4.3.1.	อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของ C-IR (ก) ความเข้มข้นของสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ, (ข) ปริมาณสเตริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับใน C-IR และ (ค) ร้อยละการลดลงของปริมาณสเตริลกลูโคไซด์	14
4.4.1.	ไอโซเทอร์มการดูดซับสเตริลกลูโคไซด์ที่อุณหภูมิ (ก) 65°C, (ข) 70°C และ (ค) 75°C	16
4.4.2.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรุนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 65 °C	17
4.4.3.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรุนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 70 °C	18
4.4.4.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรุนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 75 °C	19
4.4.5.	เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรุนดลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 65^\circ\text{C}$	21
4.4.6.	เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรุนดลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 70^\circ\text{C}$	22
4.4.7.	เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรุนดลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 75^\circ\text{C}$	23
4.5.1.	การดูดซับสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	25
4.5.2.	การดูดซับสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	26
4.5.3.	การดูดซับสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%	27
4.5.4.	ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65°C และใช้	29

Title: Adsorption of Steryl Glucosides in Biodiesel using Cation-Exchange Resin

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

Faculty: Engineering

Department: Chemical Engineering

ABSTRACT

Adsorption of steryl glucosides in palm oil derived biodiesel using cation-exchange resin was studied. Batch adsorption experiment was performed under isothermal condition in the temperature range of 65 – 75 °C in order to investigate effect of temperature on adsorption efficiency, adsorption isotherm and adsorption kinetics. The results revealed that steryl glucosides in biodiesel was effectively adsorbed on the selected cation-exchange resin. Increase of temperature in the range of 65 to 70 °C increased adsorption efficiency of the cation-exchange resin, however, the adsorption efficiency decreased when the temperature was increased beyond 70 °C. Adsorption isotherm was evaluated based on Langmuir, Freundlich and Linear models. Linear isotherm was the most suitable for predicting adsorption of steryl glucosides using cation-exchange resin. Kinetics study was evaluated according to pseudo-first-order and pseudo-second-order models. Behavior of steryl glucosides adsorption was suitably predicted by using pseudo-second-order model.

Keywords : biodiesel, palm oil, adsorption, steryl glucosides, cation exchange resin

กิตติกรรมประกาศ

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

รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไบโอดีเซลผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลที่จากการกลั่นน้ำมันดิบได้ โดยนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม แม้ว่าประเทศไทยจะมีศักยภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและภาครัฐก็มีนโยบายส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลเพื่อยกระดับราคาปาล์มน้ำมันก็ตาม แต่ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลยังคงจำกัดอยู่ เนื่องจากการผสมไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่สูงจะทำให้เกิดการตกตะกอนขาวขึ้น ส่งผลต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการใช้น้ำมันดีเซลผสม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของตะกอนขาวต่อเครื่องยนต์รายงานว่าตะกอนขาวดังกล่าวจะสะสมและเกิดการอุดตันในระบบเครื่องยนต์ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการเกิดตะกอนขาวในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มมีสาเหตุหลักมาจาก สเตอรอลกลูโคไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนรูปน้ำมันปาล์มเป็นไบโอดีเซล และ สเตอรอลกลูโคไซด์มีค่าการละลายในไบโอดีเซลต่ำจึงค่อยๆ รวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และเกิดการตกตะกอนในที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าในกรณีที่ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีสเตอรอลกลูโคไซด์สูงกว่า 50-60 ppm จะทำให้เกิดตะกอนขาวขึ้นรวดเร็วภายในกระบวนการผลิต ทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงบ่อยครั้งเพื่อลดการสะสมในอุปกรณ์จึงทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตไบโอดีเซลลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพสูง ไม่ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ และผู้บริโภคมีความมั่นใจในการใช้ไบโอดีเซลสูงขึ้น

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนากระบวนการดูดซับสำหรับประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล ศึกษาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุชนิดบวกเกรดการค้า (commercial grade cation exchange resin; C-IR) ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบกระบวนการดูดซับเพื่อลดปริมาณของ สเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1. ศึกษาการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก
- 1.2.2. ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก
- 1.2.3. ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. ศึกษาการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยทำการทดลองการดูดซับแบบกะที่อุณหภูมิคงที่ในช่วง 65 – 80°C
- 1.3.2. สร้างแบบจำลองอธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยพิจารณาแบบจำลอง 3 ชนิดที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์, แบบฟรุนดลิช และแบบเชิงเส้น
- 1.3.3. สร้างแบบจำลองอธิบายจลนพลศาสตร์การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยพิจารณาแบบจำลองที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แบบจำลอง pseudo-first-order และแบบจำลอง pseudo-second-order

1.4 คำสำคัญของการวิจัย

ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์ม, การดูดซับ, สเตอรอลกลูโคไซด์
biodiesel, palm oil, adsorption, sterol glucosides

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

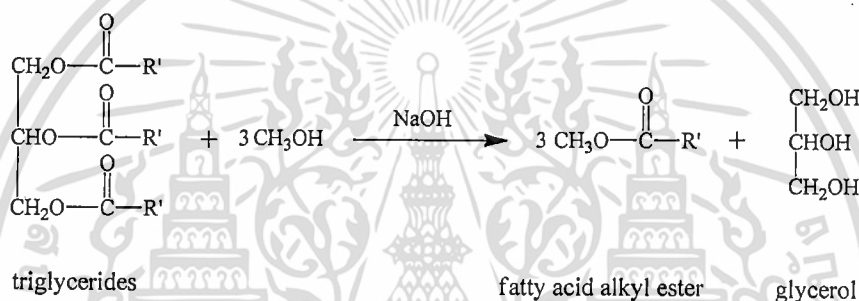
- 1.5.1. สามารถกำหนดสภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในการกำจัดสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการดูดซับที่มีตัวดูดซับเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกได้
- 1.5.2. กระบวนการกำจัดสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำจะส่งเสริมให้เกิดการนำไปใช้งานในกลุ่มผู้ผลิตได้กว้างขวาง
- 1.5.3. แบบจำลองไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์การดูดซับที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบหอดูดซับในกระบวนการขนาดใหญ่ได้
- 1.5.4. ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในคุณภาพไบโอดีเซลและเกิดการใช้ประโยชน์กว้างขวางขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ไบโอดีเซล (biodiesel)

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



รูปที่ 2.1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.2. คุณสมบัติของไบโอดีเซล

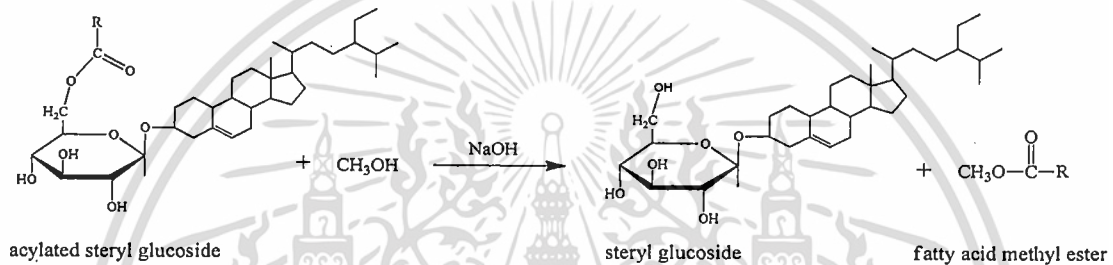
ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีข้อแตกต่างกันคือ ไบโอดีเซลเป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 °C ส่วนน้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 64 °C นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำและนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้งานกับเครื่องดีเซลรอบสูงได้

2.3. สิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

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

2.4. สเตอริลกลูโคไซด์ (steryl glucosides; SG)

สเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารประกอบระหว่างไฟโตสเตอรอลและกลูโคสซึ่งยึดเกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ในธรรมชาติมักพบสเตอริลกลูโคไซด์ในรูปของเอซิลเตตสเตอริลกลูโคไซด์ (acylated steryl glucosides; ASG) ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถละลายในไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วเช่นเดียวกันได้ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนอกจากน้ำมันจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้ว สารประกอบเอซิลเตตสเตอริลกลูโคไซด์ยังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยเช่นกัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบสเตอริลกลูโคไซด์ขึ้น และเนื่องจากสารประกอบสเตอริลกลูโคไซด์เป็นสารที่มีขั้วเล็กน้อย ความสามารถในการละลายในไบโอดีเซลจึงไม่ดีเทียบเท่ากับเอซิลเตตสเตอริลกลูโคไซด์ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความสามารถในการละลายของสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลก็ลดลงด้วย ก่อให้เกิดเป็นตะกอนสีขาวขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาตัวกรองของเครื่องยนต์อุดตัน



รูปที่ 2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเอซิลเตตสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

2.5. การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ถูกดึงดูดเข้ามาติดที่ผิวของสารดูดซับ (adsorbent) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิในการดูดซับ เวลาในการดูดซับ การดูดซับสามารถแบ่งตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ออกเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) ดังตารางที่ 21.

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) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับพุ่งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

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)

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

2. ปริมาณการดูดซับ (adsorption amount)

สมการปริมาณการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของ ตัวดูดซับ คำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

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

3. การเลือกดูดซับ (selectivity)

สมการการเลือกดูดซับเป็นความสัมพันธ์ของการเลือกดูดซับโดยรวมของสาร A เมื่อเปรียบเทียบกับ สารอื่น 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 แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช 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

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

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 $q_t=q_t$

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

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

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] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บสารผสมระหว่าง ไบโอดีเซล กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อปริมาณของตะกอนในสารผสม โดย 8 ชั่วโมงแรกไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณตะกอนระหว่าง B20 กับ B100 แต่จะเห็นความแตกต่างเมื่อ 24 ชั่วโมงเป็นต้นไป และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นในสารผสมโดยใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า องค์ประกอบหลักเป็น สเตอริกลูโคไซด์

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

Na-Ranong และคณะ [4] ได้ศึกษาการลดปริมาณสเตอริกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวดูดซับเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ความสามารถในการดูดซับสเตอริกลูโคไซด์ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 128 mg_{SGS}/g_{Resin}

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. สารเคมี

ไบโอดีเซล (B100) ที่ใช้ผลิตจากน้ำมันปาล์ม มี FAME ร้อยละ 97.5 โดยมวล และมีสเตอรอลกลูโคไซด์ 73-79 ppm ตัวดูดซับที่ใช้คือเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange resin; C-IR)

3.2. อุปกรณ์

3.2.1. เครื่องเขย่าสาร

3.2.2. ไมโครปิเปต

3.3. สภาพที่ใช้ในการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1. แสดงสภาพในการดำเนินงานสำหรับการดำเนินการในแต่ละส่วน

สภาพในการทดลอง	การศึกษาไอโซเทอร์ม	การศึกษาจลนพลศาสตร์
ปริมาณเรซิน (%wt)	0.05-4	0.75, 1.5
อุณหภูมิ (°C)	65-75	65-75
ปริมาตร (ml)	10	65
ความเร็วรอบ (rpm)	230	230
เวลาในการดูดซับ (h)	10	10

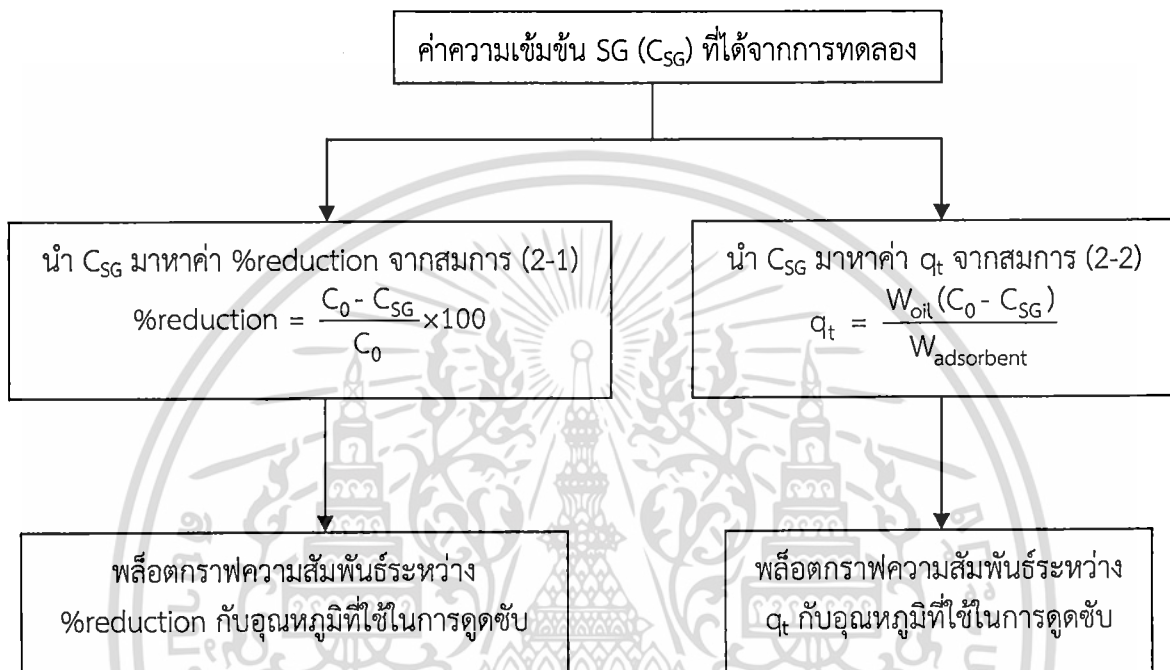
3.4. การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของไบโอดีเซลและสเตอรอลกลูโคไซด์

- วิเคราะห์หาปริมาณ FAME ตามวิธีมาตรฐาน EN 14103
- วิเคราะห์หาปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ โดยวิธีซึ่งดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM 2068

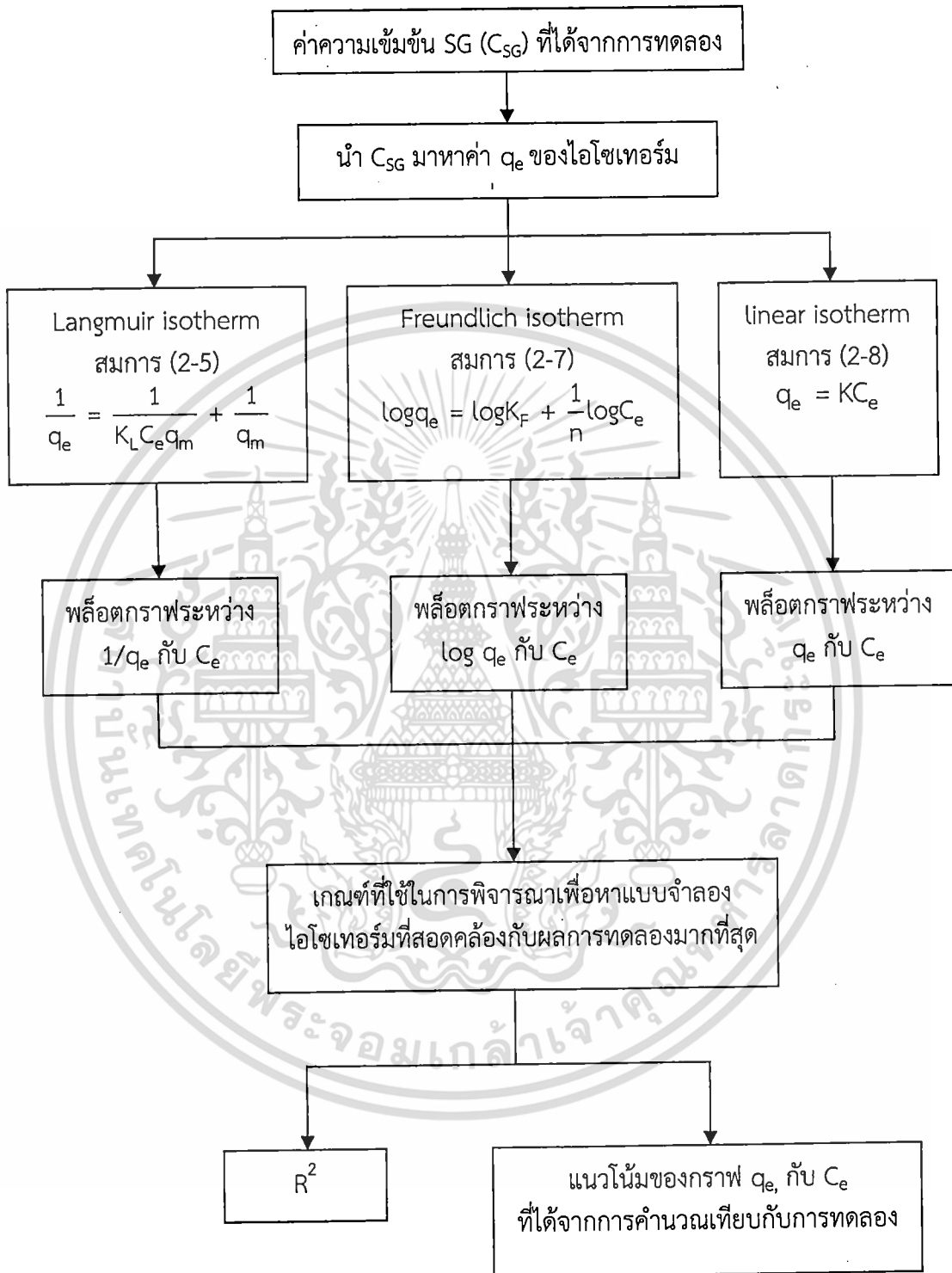
3.5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับ, การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับ และการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การดูดซับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

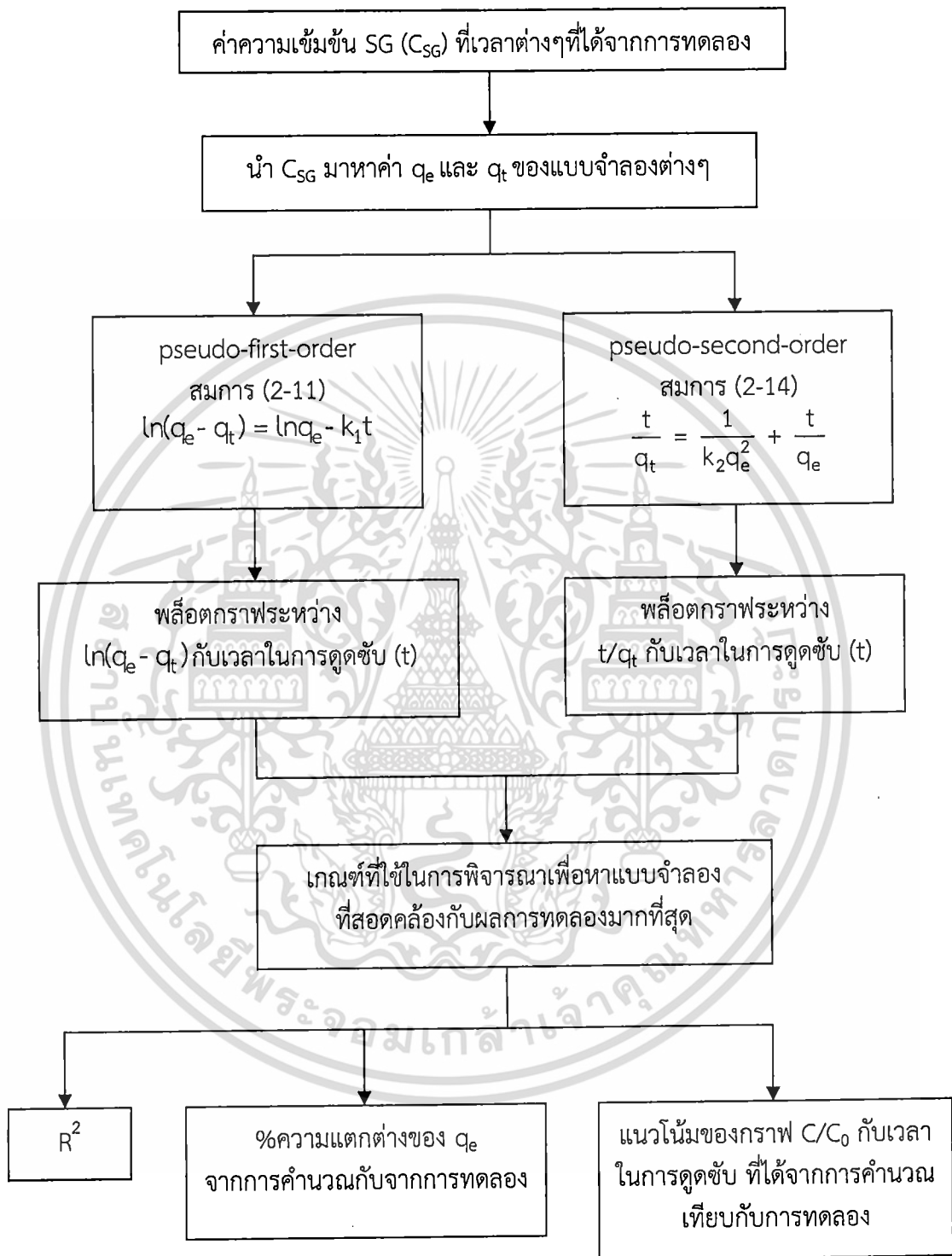
3.5.1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับ



3.5.2. การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับ



3.5.3. การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การดูดซับ



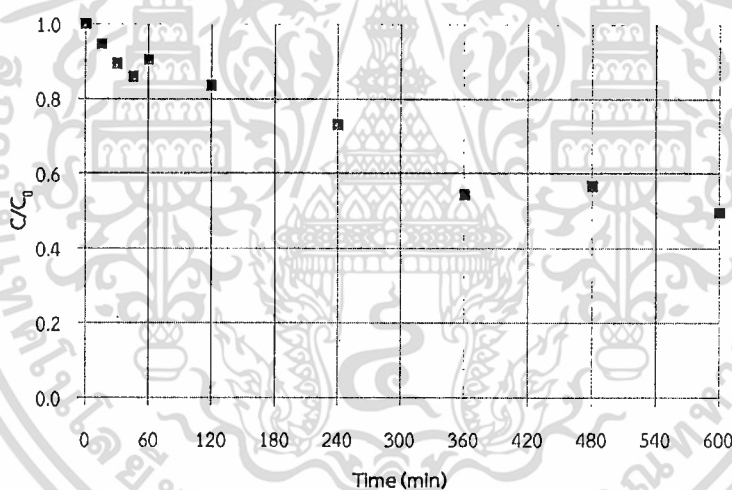
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. สมบัติของไบโอดีเซล

การทำปริมาณวิเคราะห์สเตอรินกลูโคไซด์ด้วย GC-FID พบว่าไบโอดีเซลที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและจลนพลศาสตร์การดูดซับมีความเข้มข้น 79 และ 73 ppm ตามลำดับ

4.2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตอรินกลูโคไซด์ตามระยะเวลาการดูดซับ

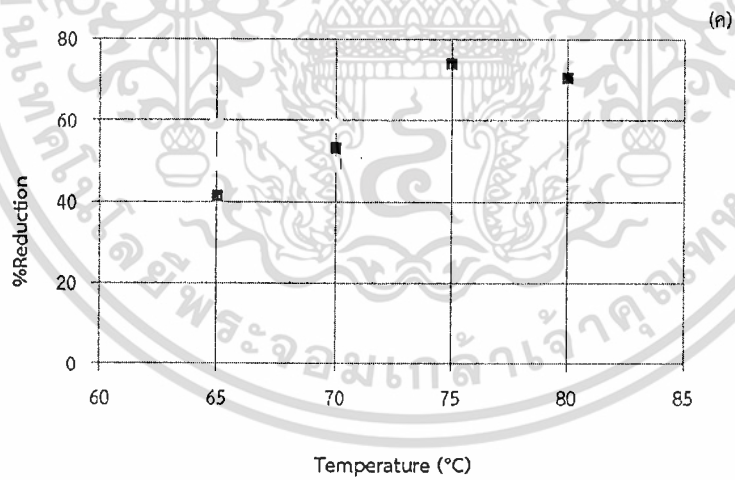
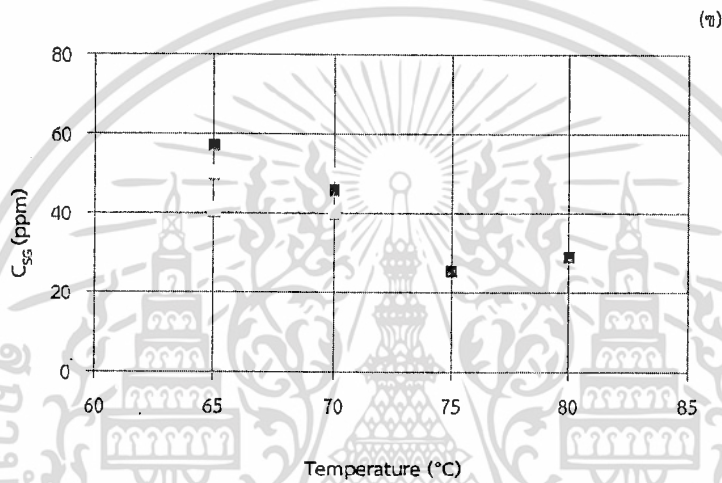
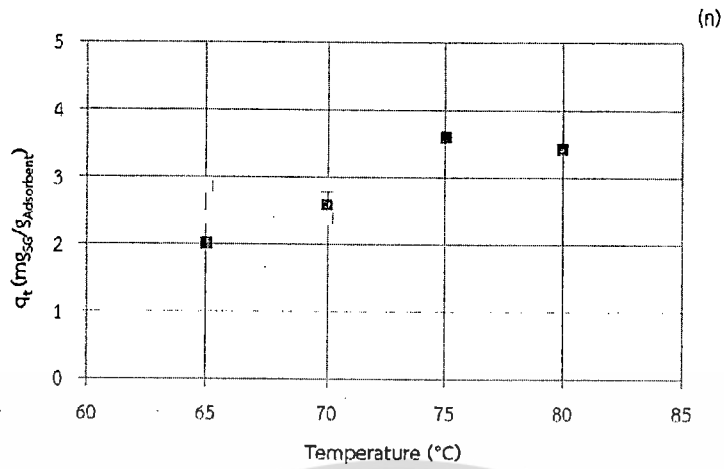
การหาเวลาที่ทำให้การดูดซับเข้าสู่สมดุลทำการทดลองโดยใช้ไบโอดีเซลที่มีสเตอรินกลูโคไซด์เข้มข้น 79 ppm ที่อุณหภูมิ 65°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2.1. จะเห็นได้ว่าการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR เริ่มเข้าสู่สมดุลเมื่อดูดซับเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป



รูปที่ 4.2.1. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสเตอรินกลูโคไซด์หลังการดูดซับด้วย C-IR ที่ 65 °C

4.3. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์

รูปที่ 4.3.1. แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ในช่วง 65–80°C จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 65–75°C มีผลให้ C-IR ดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ได้มากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของสเตอรินกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80°C จะทำให้ C-IR ดูดซับสเตอรินกลูโคไซด์ได้น้อยลง



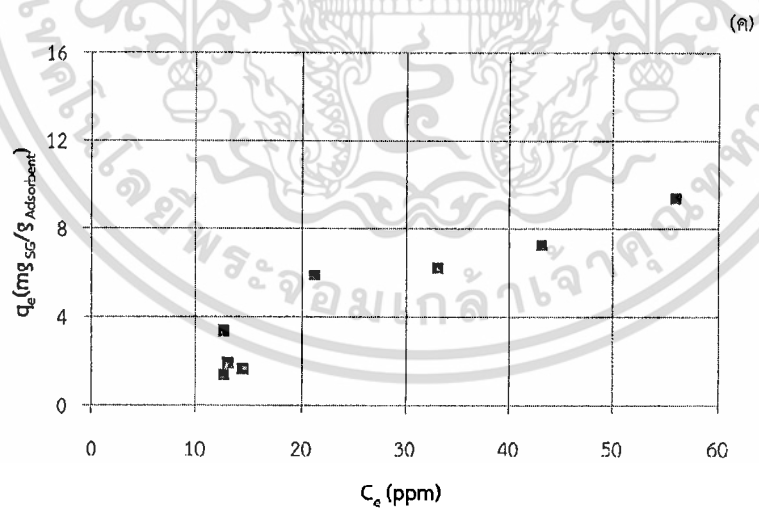
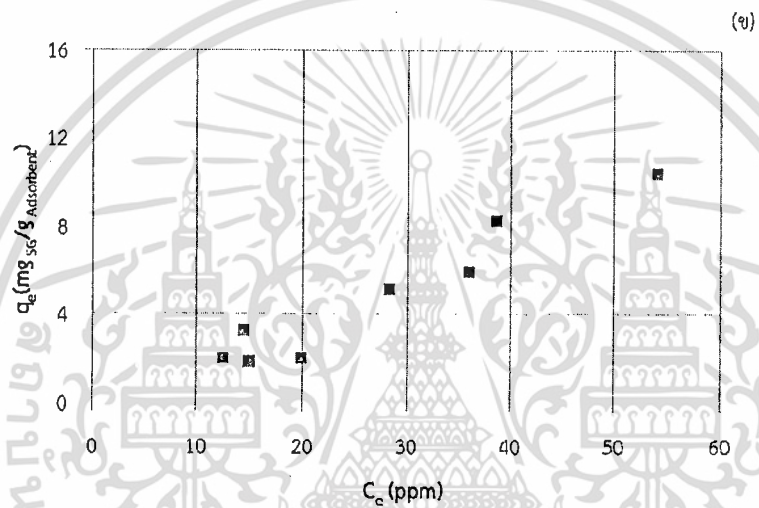
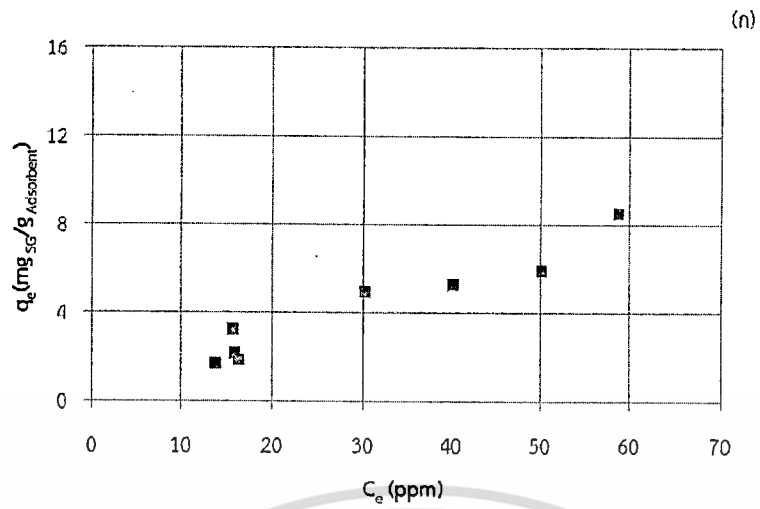
รูปที่ 4.3.1. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของ C-IR (ก) ความเข้มข้นของสเตอริลลูลูโคไซด์ในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ, (ข) ปริมาณสเตอริลลูลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับใน C-IR และ (ค) ร้อยละการลดลงของปริมาณสเตอริลลูลูโคไซด์

4.4. ไอโซเทอร์มการดูดซับ

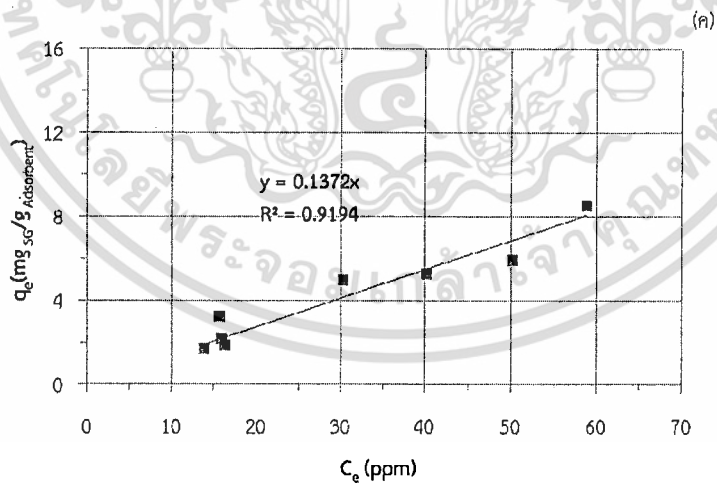
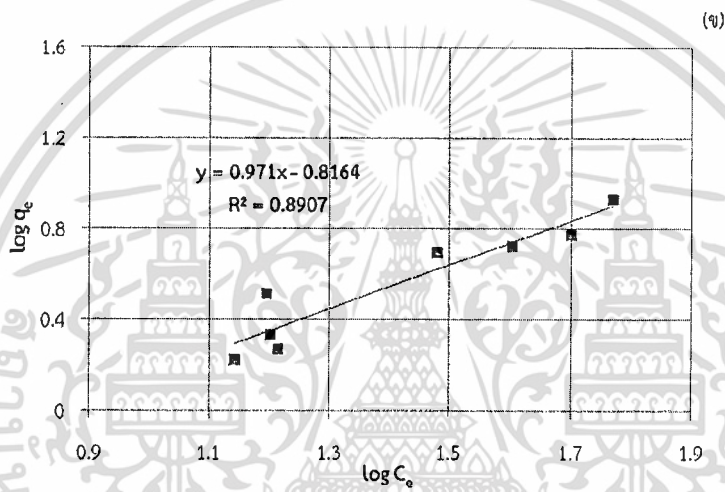
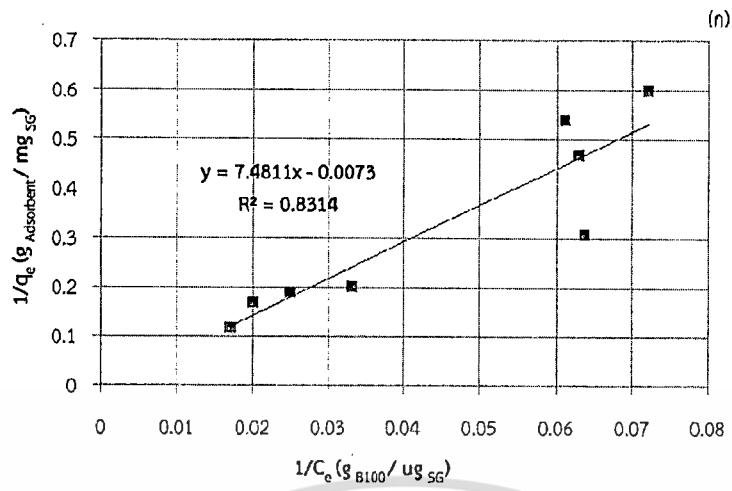
รูปที่ 4.4.1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสเตอริกลูโคไซด์ที่สมดุลกับความเข้มข้นสเตอริกลูโคไซด์เมื่อใช้ C-IR เป็นตัวดูดซับ ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75 °C จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับสเตอริกลูโคไซด์ที่สมดุลจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสเตอริกลูโคไซด์

เมื่อนำผลการทดลองในรูปที่ 4.4.1. ไปสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตามไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์, ฟรุนดลิช และเชิงเส้น จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4.2. – 4.4.4.

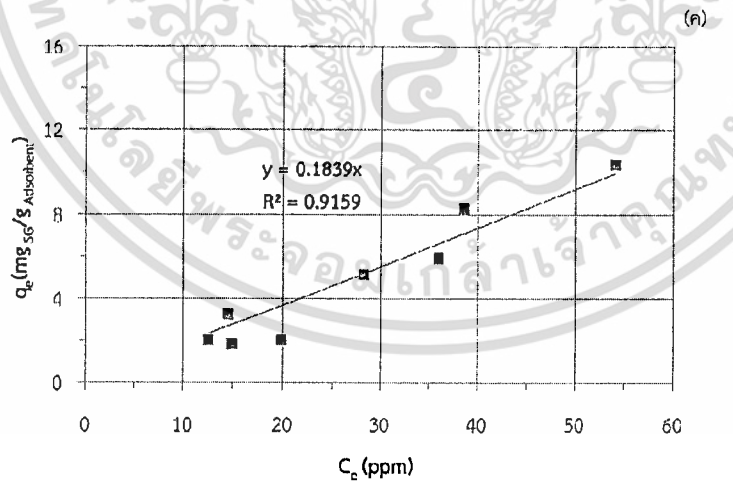
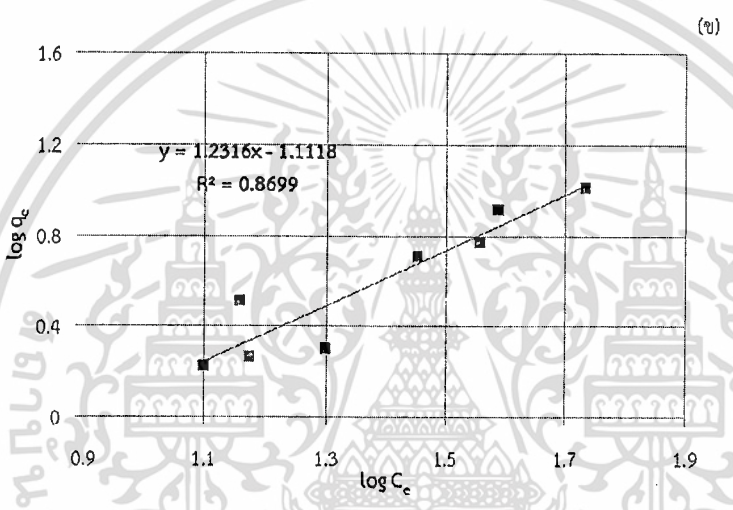
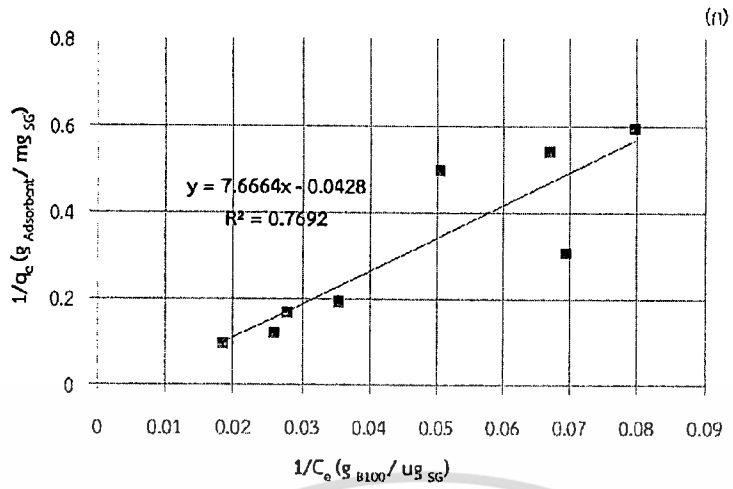




รูปที่ 4.4.1. ไอโซเทอร์มการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ที่อุณหภูมิ (ก) 65°C, (ข) 70°C และ (ค) 75°C

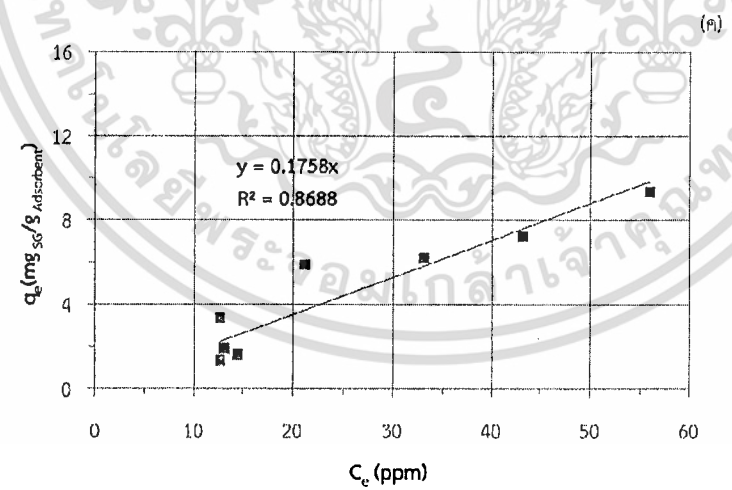
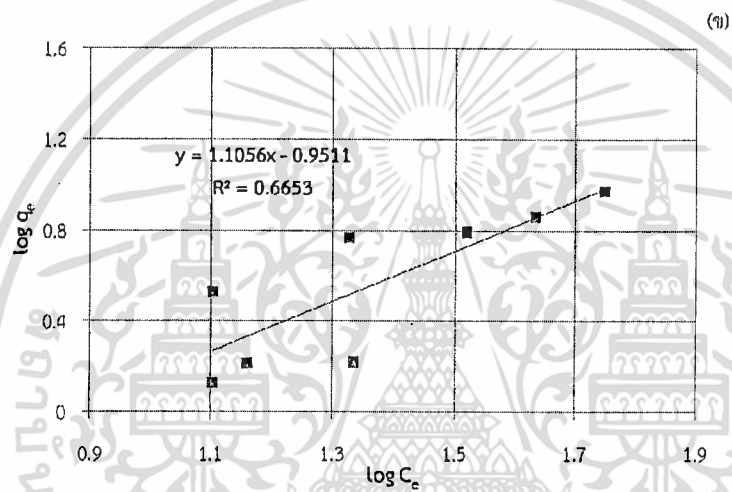
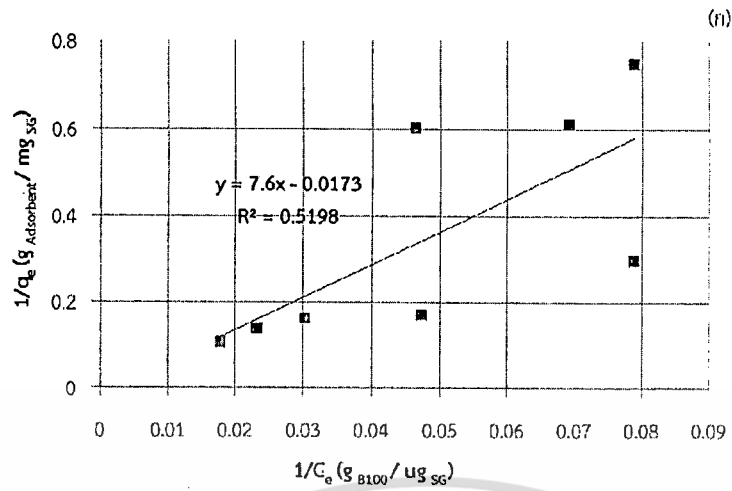


รูปที่ 4.4.2. ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรอนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 65 °C



รูปที่ 4.4.3. ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรอนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.4. ความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับที่ได้จากแบบจำลองแบบ (ก) แลงเมียร์, (ข) ฟรอนดลิช และ (ค) เชิงเส้น ที่อุณหภูมิ 75 °C

เมื่อนำค่าจุดตัดแกน y และความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปที่ 4.4.2- 4.4.4. ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการดูดซับสเตอร์ริกไลต์แต่ละแบบ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4.1

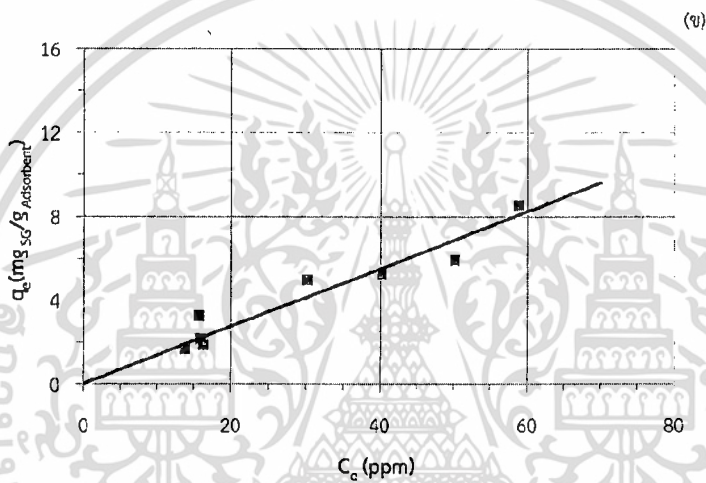
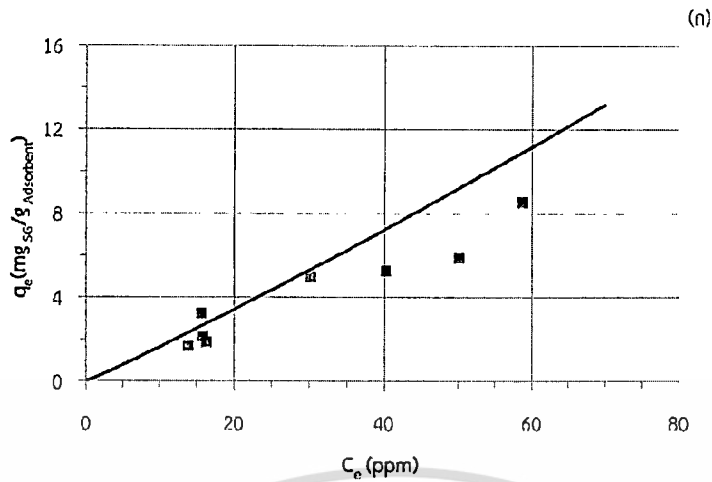
ตารางที่ 4.4.1 พารามิเตอร์ของสมการไอโซเทอร์มตามแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์, แบบฟรุนด์ลิช และแบบเชิงเส้น

T (°C)	Langmuir			Freundlich			Linear	
	q_m	K_L	R^2	N	K_F	R^2	K	R^2
65	-136.96	-9.80×10^{-4}	0.8314	1.0793	0.1344	0.7607	0.1372	0.9194
70	-23.36	-5.58×10^{-3}	0.7692	1.2316	0.0773	0.8699	0.1839	0.9159
75	-136.99	-9.60×10^{-4}	0.5198	1.105	0.1119	0.6653	0.1758	0.8688

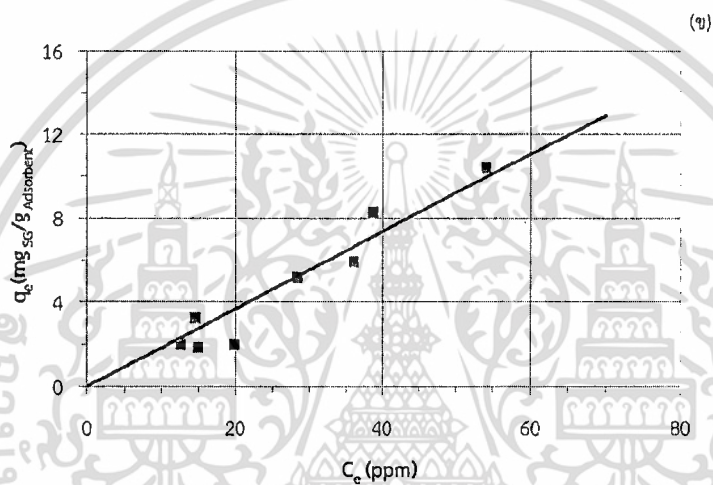
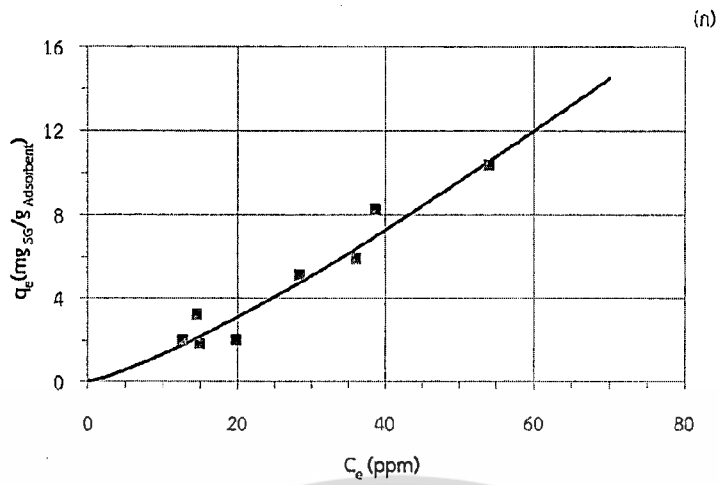
เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.4.1. จะพบว่า q_m และ K_L ที่ได้จากสมการเส้นตรงของแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ซึ่งขัดแย้งกับความหมายเชิงกายภาพของพารามิเตอร์ทั้งสอง ทั้งนี้เพราะ q_m หมายถึงปริมาณการดูดซับสเตอร์ริกไลต์ที่จุดอิ่มตัวสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว และ K_L หมายถึงค่าคงที่สมดุลการดูดซับ ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจึงต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ไม่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับของระบบที่ศึกษาได้ สำหรับแบบจำลองแบบฟรุนด์ลิชและแบบจำลองเชิงเส้น พบว่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ คือ n และ K_F สำหรับแบบจำลองแบบฟรุนด์ลิช และ K สำหรับแบบจำลองเชิงเส้น เป็นค่าที่เป็นไปได้ตามความหมายเชิงกายภาพ ดังนั้นในขั้นถัดมาจึงพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองจากค่า R^2 พบว่าสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นให้ค่า R^2 สูงกว่าสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช สอดคล้องกันทั้ง 3 อุณหภูมิที่ทำการศึกษา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองการดูดซับแบบเชิงเส้นเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาอธิบายการดูดซับสเตอร์ริกไลต์ในไบโอดีเซลโดยใช้ C-IR

ในขั้นสุดท้ายจึงนำสมการแบบจำลองพร้อมทั้งค่าคงที่ไปคำนวณหาค่า q_e ที่ C_e ต่างๆ และนำผลการคำนวณที่ได้มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่ได้สามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้ใกล้เคียงผลการทดลองหรือไม่ จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4.5. - 4.4.7.

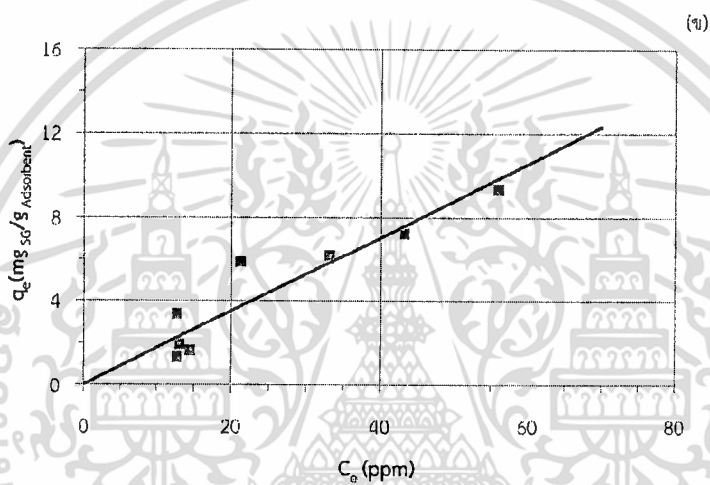
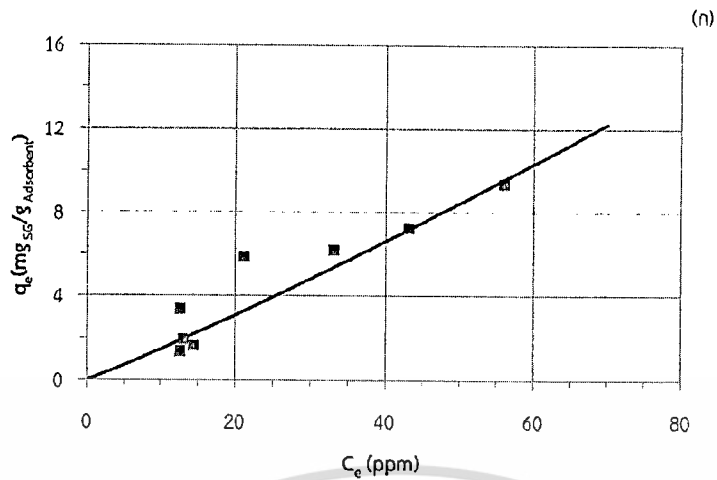
ผลที่ได้ในรูปที่ 4.4.5. - 4.4.7. แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองแบบเชิงเส้นสอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่าความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ C_e ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองแบบฟรุนด์ลิช จึงเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองแบบเชิงเส้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับสเตอร์ริกไลต์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ซึ่งเป็นระบบที่สารถูกดูดซับมีความเข้มข้นต่ำ



รูปที่ 4.4.5. เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรันทลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 65^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.4.6. เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรันทลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 70^{\circ}\text{C}$



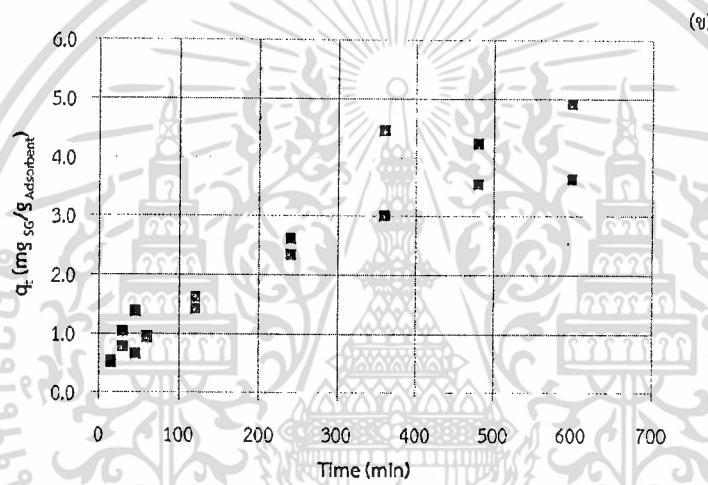
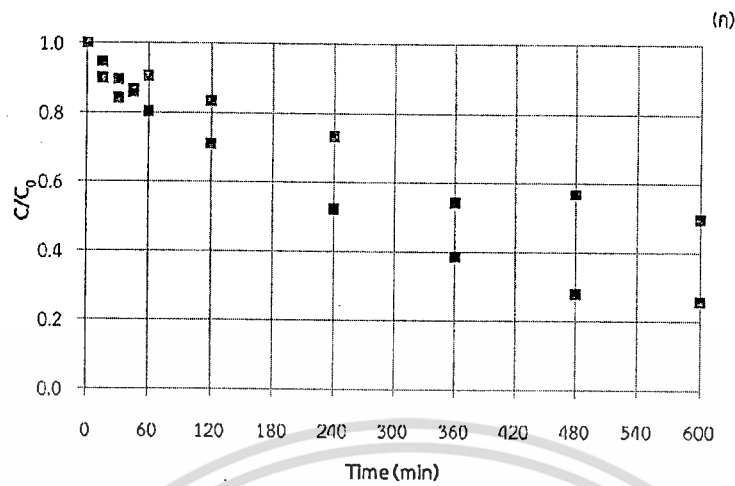
รูปที่ 4.4.7. เส้นกราฟแสดงผลการคำนวณ q_e ที่ C_e ต่างๆ โดยใช้แบบจำลอง (ก) ฟรันทลิช และ (ข) เชิงเส้น เปรียบเทียบกับ (■) ผลการทดลองที่ $T = 75^\circ\text{C}$

4.5. จลนพลศาสตร์การดูดซับ

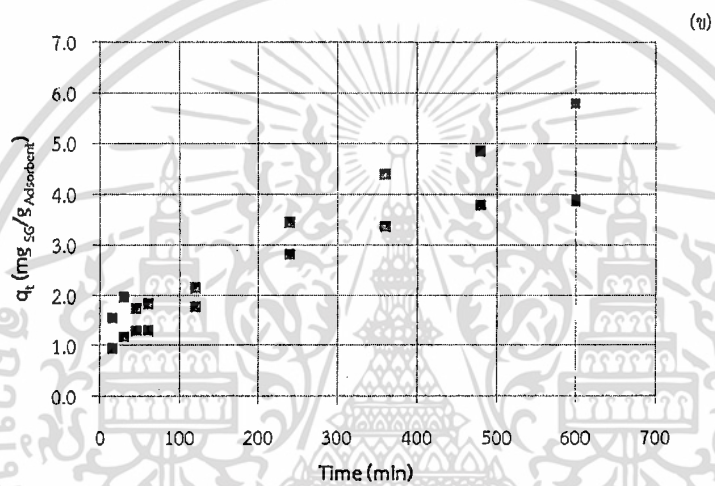
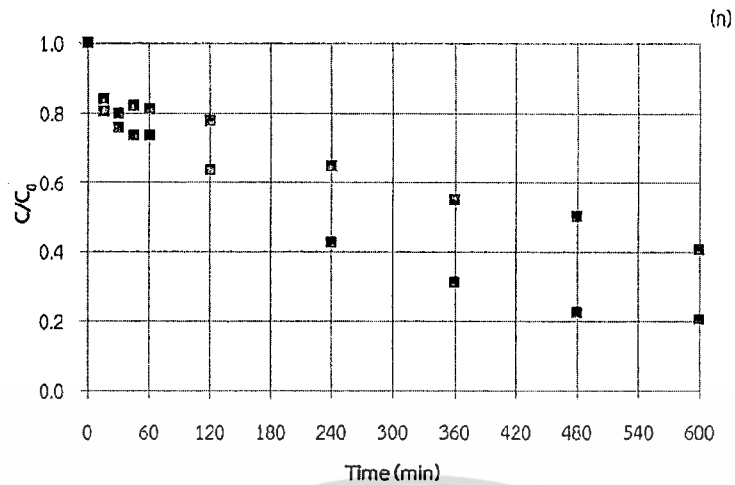
4.5.1. พฤติกรรมการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.5.1. - 4.5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล และการเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับเทียบกับเวลา เมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับ C-IR ปริมาณ 0.75 และ 1.5 wt% ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75°C ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับเมื่อทำการดูดซับนาน 6 ชั่วโมง

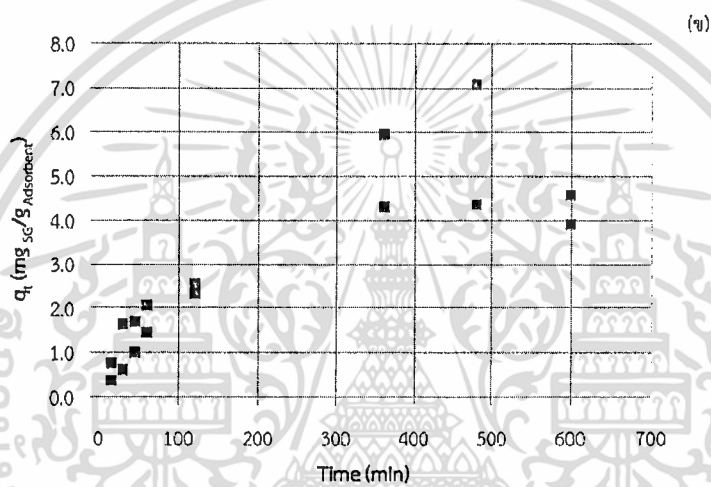
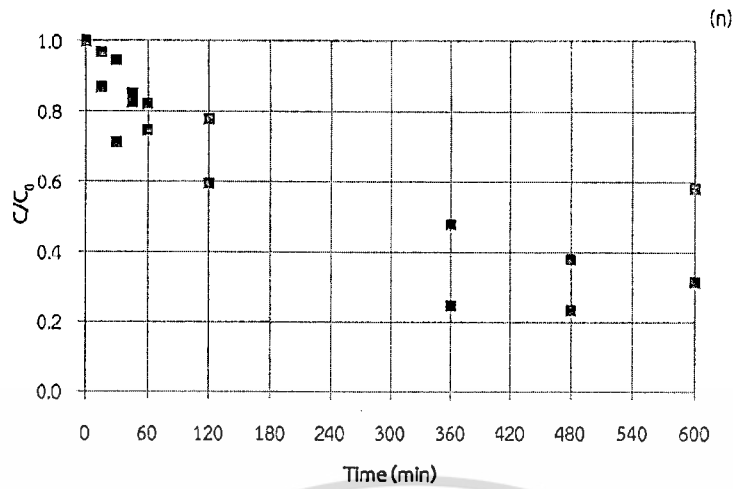




รูปที่ 4.5.1. การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 65°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%



รูปที่ 4.5.2. การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 70°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (●) 1.5 wt%

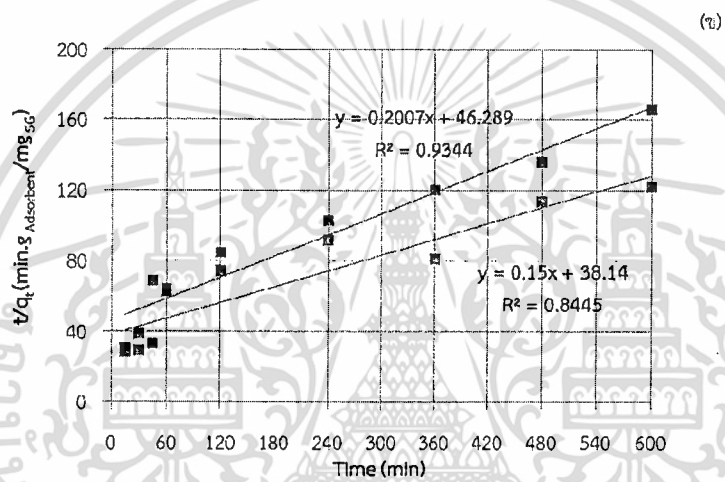
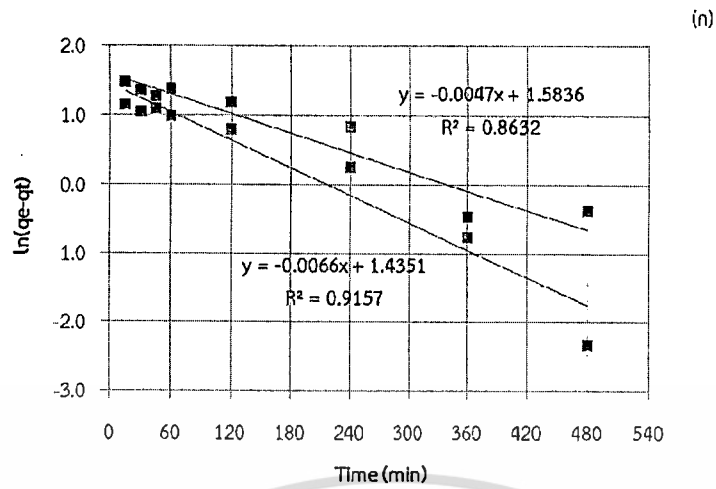


รูปที่ 4.5.3. การดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR ที่อุณหภูมิ 75°C (ก) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลา, (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสเตอริลกลูโคไซด์ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา; เมื่อใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%

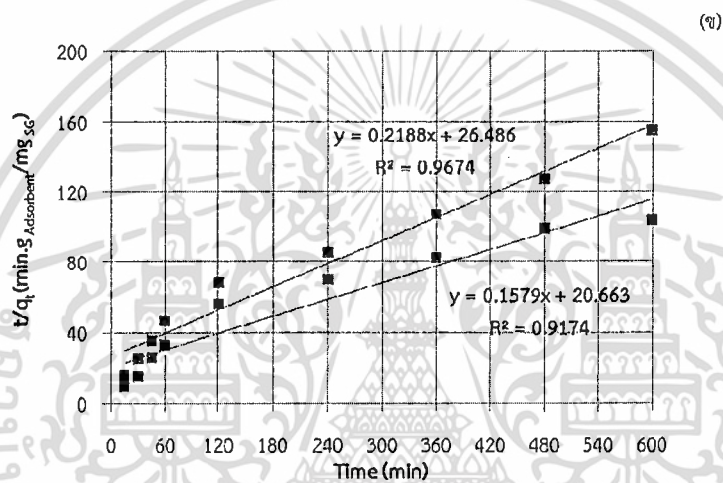
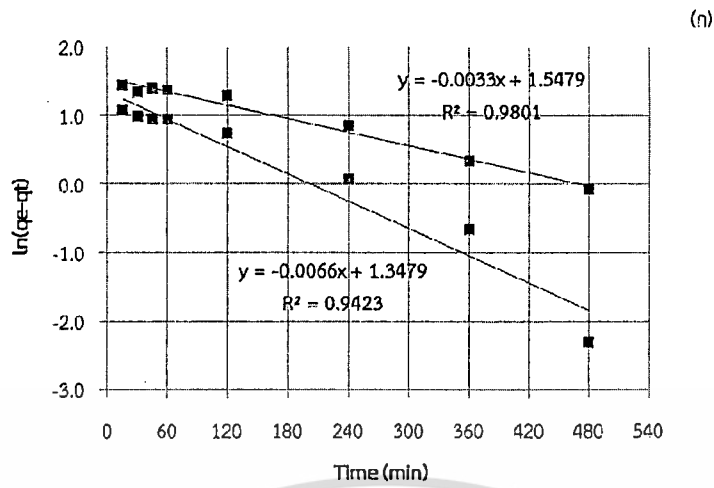
4.5.2. การสร้างแบบจำลองจลนพลศาสตร์

รูปที่ 4.5.4. – 4.5.6. แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง q_t กับเวลา ตามรูปแบบที่ได้จากการพิจารณาจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-first-order และ pseudo-second-order ค่าจุดตัดแกน y และความชันของสมการตามแบบจำลอง pseudo-first-order และ pseudo-second-order สามารถนำมาใช้คำนวณค่าคงที่อัตราเร็วของการดูดซับ (k_1 , k_2) และปริมาณการดูดซับสเทอริกกลูโคไซด์ที่สมดุล (q_e) ของ C-IR ได้ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5.1.

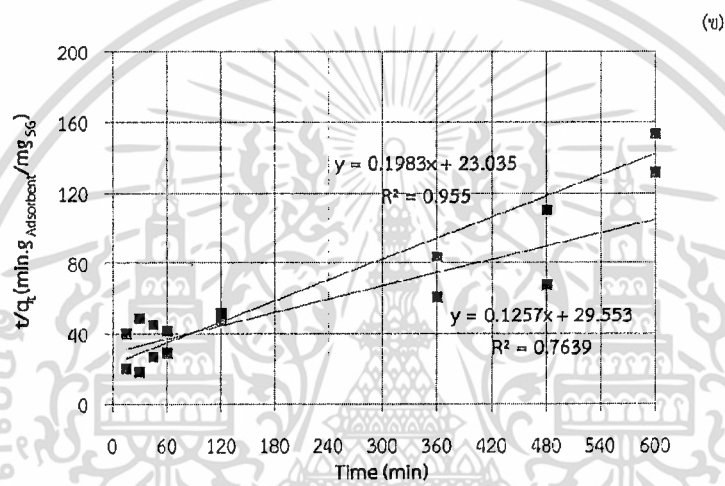
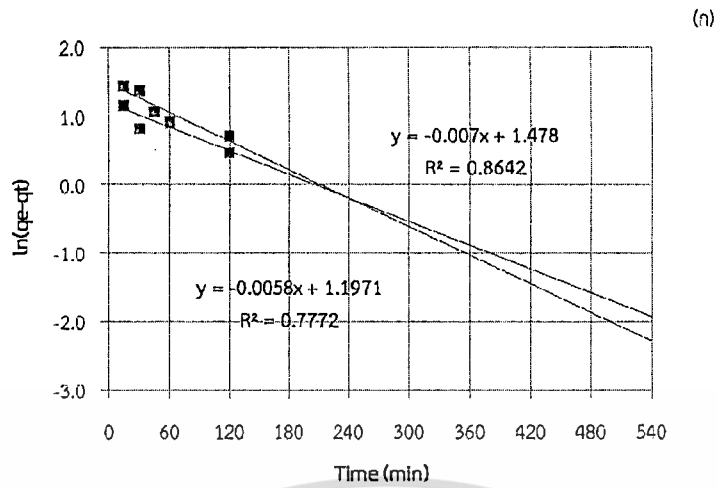




รูปที่ 4.5.4. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65°C และใช้ C-IR (■) 0.75 และ (●) 1.5 wt%



รูปที่ 4.5.5. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70°C และใช้ C-IR (■) 0.75 และ (□) 1.5 wt%



รูปที่ 4.5.6. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ (ก) pseudo first order และ (ข) pseudo second order; เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 75°C และใช้ C-IR (■) 0.75 และ (■) 1.5 wt%

ตารางที่ 4.5.1. ค่าคงที่จลนพลศาสตร์การดูดซับตามแบบจำลองแบบ pseudo-first-order และ pseudo-second-order

T (°C)	%wt	q _{e, exp}	pseudo-first-order				pseudo-second-order			
			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

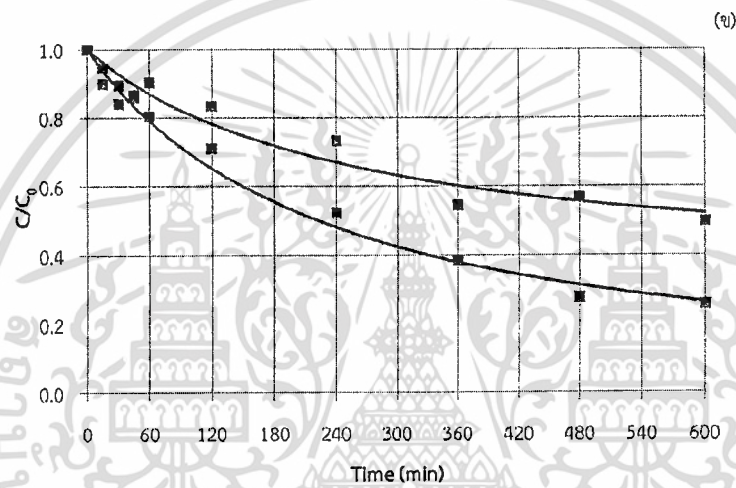
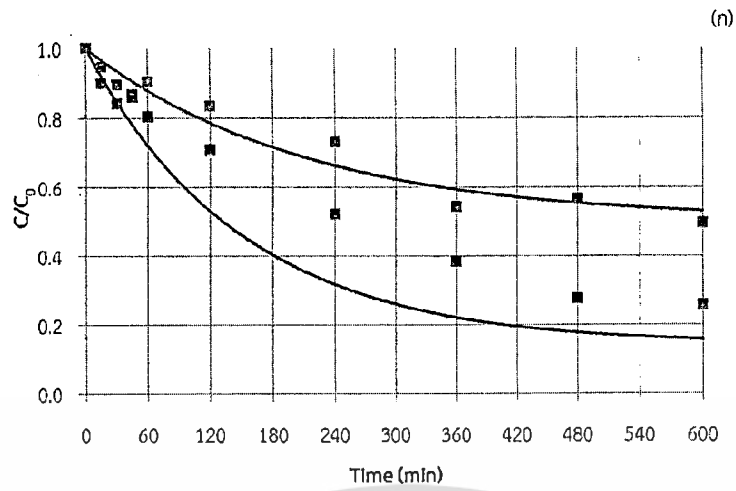


4.5.3. การพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลอง

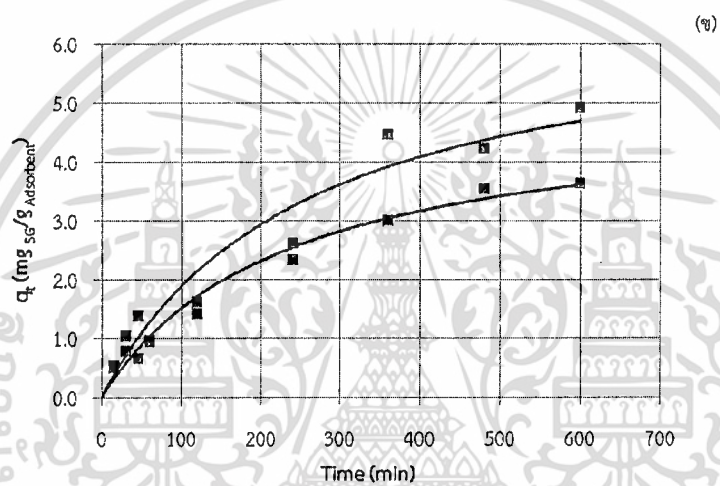
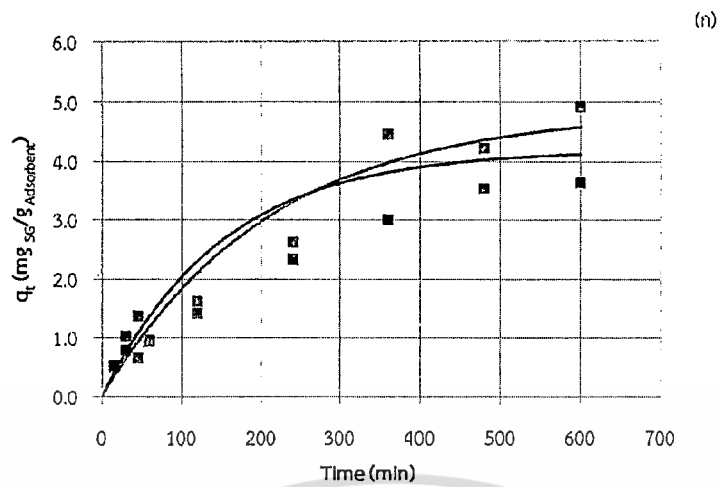
จากตารางที่ 4.5.1. เมื่อพิจารณา R^2 ที่ได้จากแบบจำลองจลนพลศาสตร์ทั้งสองแบบเปรียบเทียบกัน พบว่าในกรณีที่ใช้ C-IR 0.75 wt% แบบจำลอง pseudo-first-order ให้ค่า R^2 สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-second-order และในกรณีที่ใช้ C-IR 1.5 wt% แบบจำลอง pseudo-second-order ให้ค่า R^2 สูงกว่าแบบจำลอง pseudo-first-order นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณกับค่า q_e ที่ได้จากการทดลอง พบว่าแบบจำลอง pseudo-first-order ให้ค่า q_e ที่สอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่าแบบจำลอง pseudo-second-order

เนื่องจากทั้งค่า R^2 และ q_e ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ในขั้นถัดมาจึงพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา และ q_t กับเวลาที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทั้งสอง เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง (รูป 4.5.7. – 4.5.12.) พบว่าผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง pseudo-second-order ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ t และ q_t กับ t ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่า pseudo-first-order

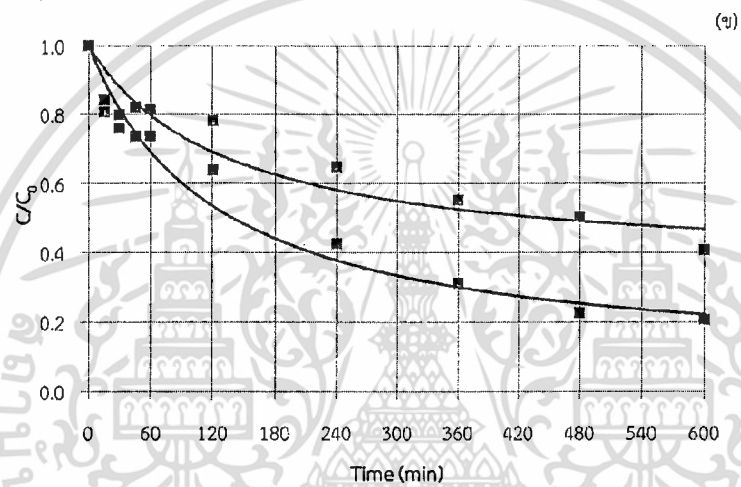
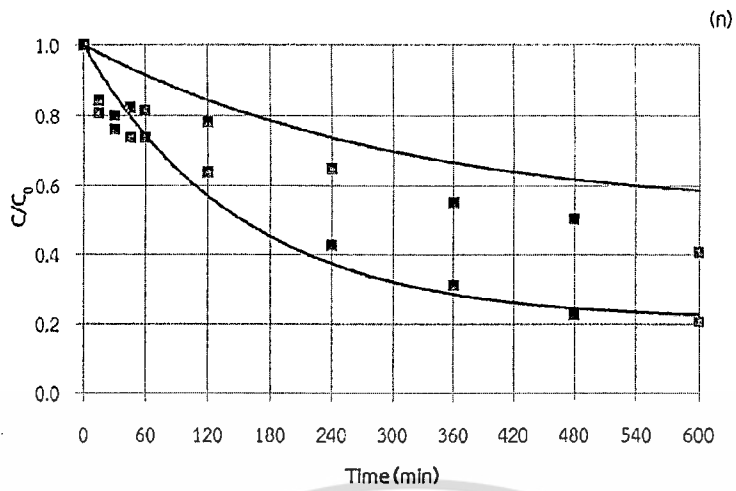
จากการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างผลการคำนวณที่ได้เมื่อใช้แบบจำลองทั้งสอง กับ ผลการทดลองตามวิธีข้างต้น ทำให้สรุปได้ว่า แบบจำลอง pseudo-second-order ที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้อธิบายจลนพลศาสตร์การดูดซับสเตริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลด้วย C-IR



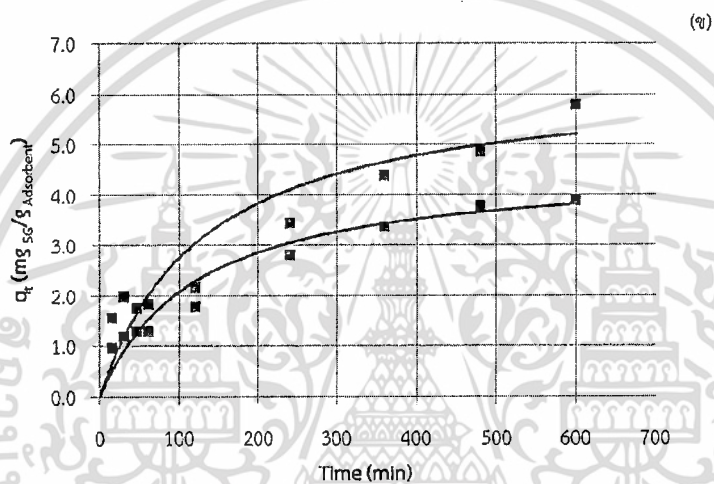
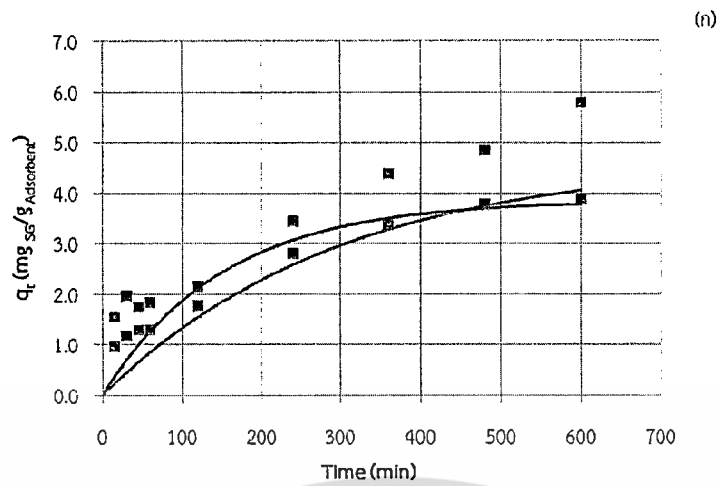
รูปที่ 4.5.7. ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (□) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt



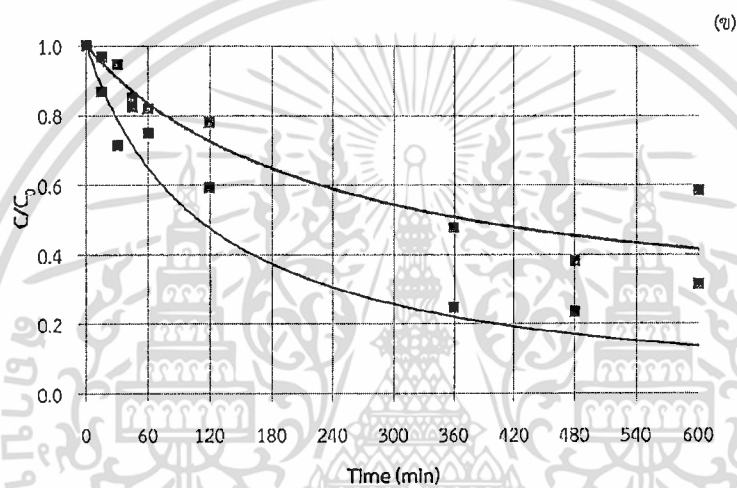
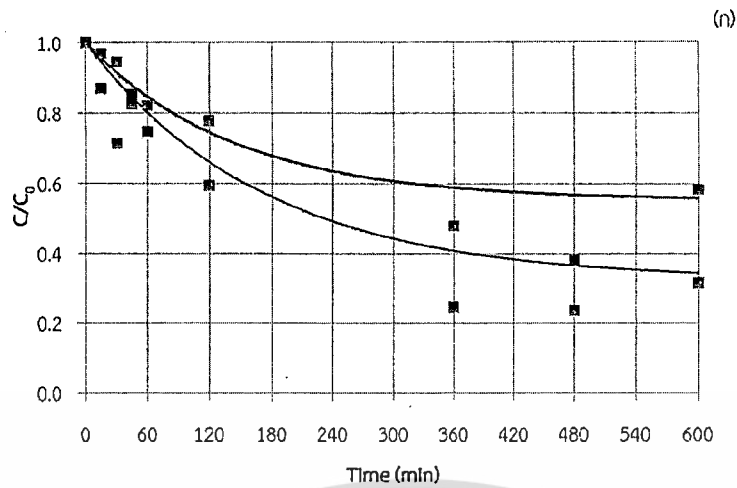
รูปที่ 4.5.8. ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 65 °C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (□) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt



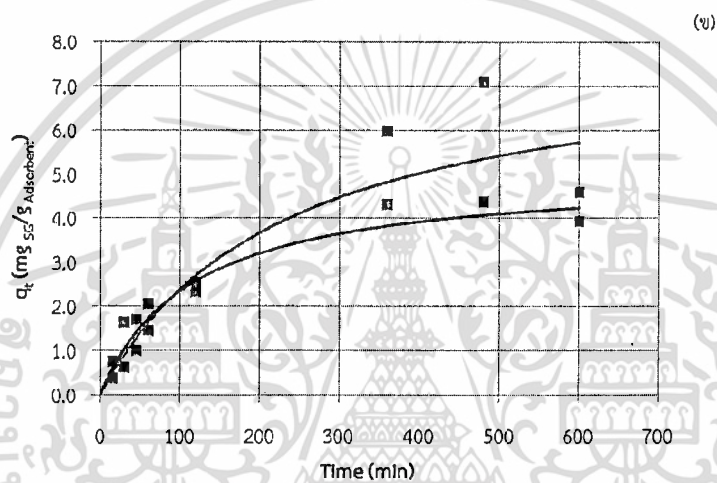
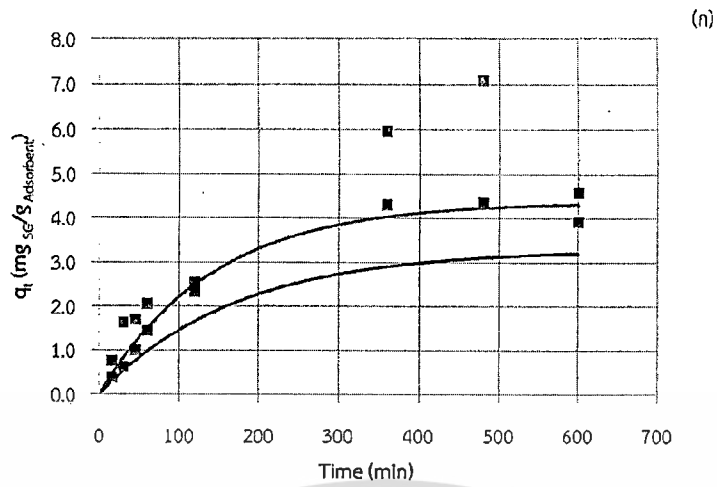
รูปที่ 4.5.9. ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (□) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt



รูปที่ 4.5.10. ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 70°C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt



รูปที่ 4.5.11. ความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C เมื่อกำหนดโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (●) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (---) 1.5 %wt



รูปที่ 4.5.12. ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t กับ เวลา ที่อุณหภูมิ 75°C เมื่อคำนวณโดยใช้แบบจำลอง (ก) pseudo-first-order และ (ข) pseudo-second-order; ผลการทดลอง (■) 0.75 %wt, (■) 1.5 %wt; ผลการคำนวณ: (—) 0.75 %wt, (—) 1.5 %wt

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกสามารถนำมาใช้ดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 65-75 องศาเซลเซียส จะทำให้การดูดซับเกิดดีขึ้น แต่หากเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่านี้ตัวดูดซับจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ลดลง การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับในช่วงอุณหภูมิ 65 - 75 องศาเซลเซียส ทำให้ทราบว่าพฤติกรรมของการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่สมดุลสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองแบบเชิงเส้น (Linear isotherm) และการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับในช่วงอุณหภูมิ 65 - 75 องศาเซลเซียส ทำให้ทราบว่าแบบจำลอง pseudo-second-order สามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของการดูดซับสเตอริลกลูโคไซด์ที่เวลาต่างๆ ได้ดี



เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. 2552. *ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 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.



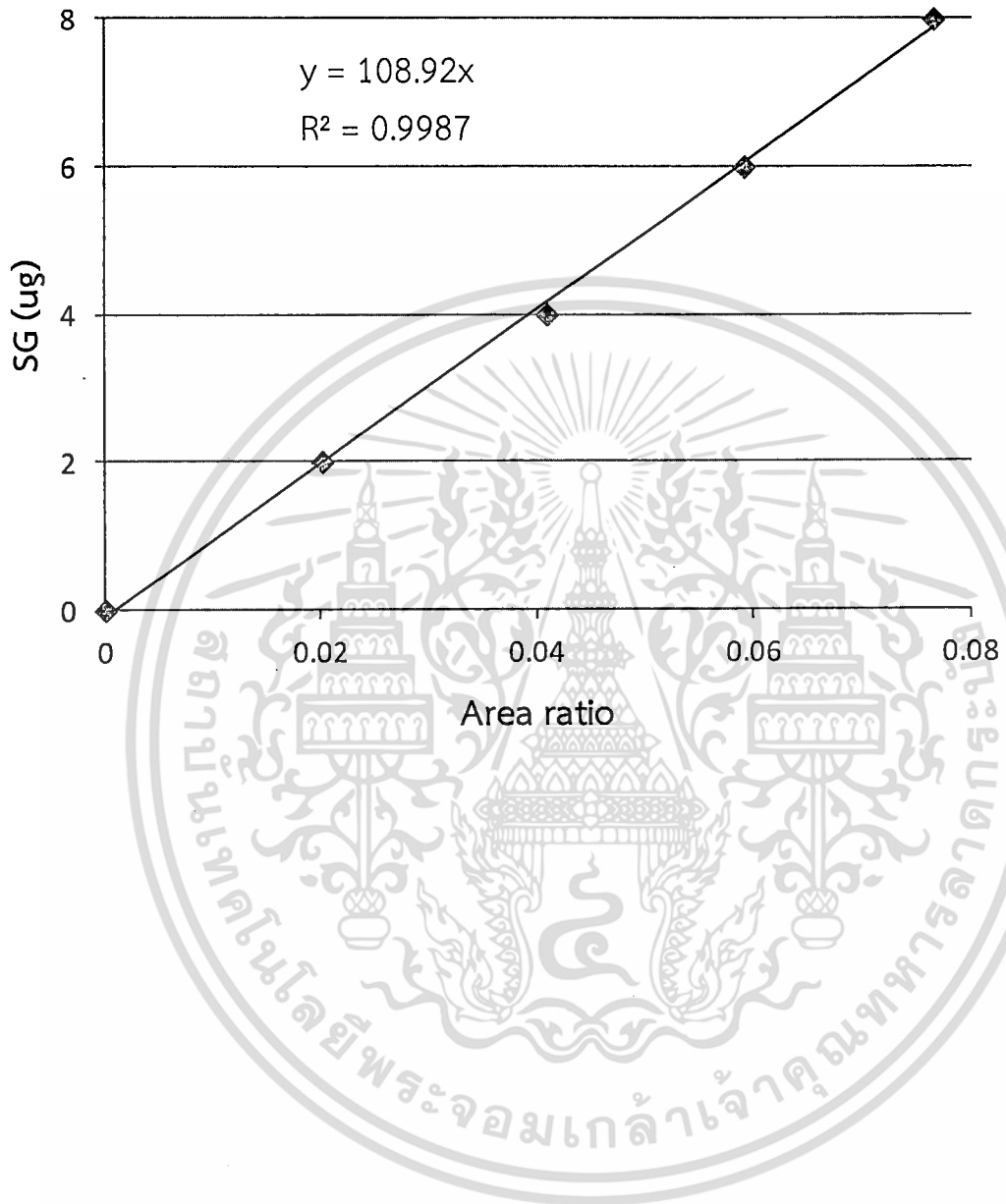
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์ (standard calibration curve)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลผลิตงานวิจัย

ผลผลิตจากงานวิจัย ได้แก่

1. บทความวิชาการ เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ฐานข้อมูล ISI)
เรื่อง Adsorptive removal of steryl glucosides from palm oil based biodiesel using cation exchange resin
สถานภาพ กำลังจัดเตรียมต้นฉบับ
2. ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ปีการศึกษา 2556



ประวัติผู้วิจัย

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

4. ประวัติการศึกษา

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

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

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

6. ประสบการณ์ผลงานวิจัย

6.1 หัวหน้าโครงการ

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

- โครงการ “Performance of Heterogeneous Catalytic Reactors Under Unsteady Condition” สกว. ฝ่ายวิชาการ

6.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

6.2.1 แหล่งทุนย้อนหลัง 5 ปี

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

6.2.2 ผลงานวิจัยย้อนหลัง 5 ปี

วารสารวิชาการระดับนานาชาติ

- Takuya Yoshikawa, Duangkamol Na-Ranong, Teruoki Tago and Takao Masuda, “Oxidative Cracking of Aromatic Compounds Related to Lignin Constituents with Steam Using $ZrO_2-Al_2O_3-FeO_x$ Catalyst”, Journal of the Japan Petroleum Institute, 53 (2010) 178-183. (IMF = 0.591)

• Duangkamol Na-Ranong, Ratanaporn Yuangsawad, Prakob Kitchaiya and Takashi Aida, "Application of Periodic Operation to Kinetic Study of NO-CO Reaction over Rh/Al₂O₃" *Chemical Engineering Journal*, 146 (2009) 275-286. (IMF = 1.707)

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

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

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

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

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

• Ratiporn Chantayapaibool, Pasinee Saeng-arayakul, Nuntaporn Trisinsomboon, Ratanaporn Yuangsawad and Duangkamol Na-Ranong "Synthesis of CeO₂ZrO₂ Nanofibers by Electrospinning Technique" *the 22nd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 22)*, Maastricht, the Netherlands, Sep, 2012

• D. Na-Ranong, P. Kitchaiya and R. Yuangsawad "Removal of steryl glucosides in palm oil based biodiesel by adsorption on an acid treated resin" *the anniversary 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 and the 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2012*, Prague, Czech Republic, Aug, 2012

• D. Na-Ranong and R. Yuangsawad, "Removal of phosphate in wastewater using an oyster shell derived CaO" *the anniversary 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 and the 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2012*, Prague, Czech Republic, Aug, 2012

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

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

วารสารวิชาการระดับชาติ

● รัตนากร ยวงสวัสดิ์, ชยกร บวรณยศ, สุรางคณา ฉายชูวงศ์, ศุภวรรณ นิยะ, ดวงกมล ณ ระนอง "การเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลโดยซัลเฟต-เซอร์โคเนียที่ผ่านการปรับสมบัติ" *วิศวกรรมลาดกระบัง* ปีที่ 29 ฉบับที่ 3, 2555, 67-72

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

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

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

● ประมินทร์ ขวัญนอน, พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์, ดวงกมล ณ ระนอง "การเตรียมซีโอไลต์ชนิดเอบนตัวรองรับอะลูมินาเมมเบรนเพื่อแยกเอทานอล-น้ำ" *วิศวกรรมลาดกระบัง* ปีที่ 25 ฉบับที่ 3, 2551, 48-53

● ดวงกมล ณ ระนอง, ณัฐนิชา ณัฐนรากร, สุชาดา ที่รัก, วิศรุต ใหญ่ยอด, อภาภรณ์ จันทระปรีกษ์, กัญรัตน์ บัวเกตุ, พัฒนา เอี่ยมวิลาวัลย์ และพรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล "การปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาเพื่อใช้ผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยารีฟอร์มมิงเอทานอลด้วยไอน้ำ" *วิศวกรรมลาดกระบัง* ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, 2550

การประชุมวิชาการระดับชาติ

● หฤษฎ์ ไทยกรรม และ ดวงกมล ณ ระนอง "การศึกษาหากลั่นแบบมีปฏิกิริยาสำหรับสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโอเลอินกับเมทานอล" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

- อรุณโรจน์ สุภกร, กรณ์มนัส เพชรดี, โฆษิต พันธุ์จินดาวรรณ และ ดวงกมล ณ ระนอง "สเตอรอลกลูโคไซด์กับการเกิดตะกอนขาวในไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

- อินทิรา ลัดถอย , อรุณโรจน์ สุภกร และ ดวงกมล ณ ระนอง "การจำลองการดูดซับ สเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลในหลอดดูดซับแบบเบดบรรจุ" จะนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 17-18 ตุลาคม 2556

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

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

- กันยรัตน์ บัวเกตุ, เยาวเรศ จันทโรภากร, ละอองตา ธนชัยวิวัฒน์ และดวงกมล ณ ระนอง, "อิทธิพลของตัวส่งเสริมต่อการสะสมของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ในปฏิกิริยาฟอรัมมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำ" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, พัทยา, 2008

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

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

สิทธิบัตร:

- สิ่งประดิษฐ์ "เครื่องแยกและนำกลับโพลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อนแบบต่อเนื่อง" เลขที่คำขอ 0901000967 ผู้ร่วมประดิษฐ์ สุรพิชญ ลอยกุลนันท์, ฉวีวรรณ คงแก้ว, ดวงกมล ณ ระนอง และชัยวุฒิ สายแสงธรรม

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