

# การดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซล

## โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก

### Adsorption of Sterol Glucosides in Biodiesel

### using a Cation-Exchange Resin

รัตนากร ขวงสวัสดิ์<sup>1</sup> กษมาวรรณ เตารัตน์<sup>2</sup> ดวงกมล ณ ระนอง<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\* Email address: dnaranong@hotmail.com, knduangk@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

สเตอรอลกลูโคไซด์ (sterol glucosides : SGs) เป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในไบโอดีเซล งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองการดูดซับแบบกะและแบบต่อเนื่อง จากการทดลองแบบกะพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ SGs ไม่มากนัก โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับ SGs คือ 65°C และพบว่าโมโน-, ได- และไตรกลีเซอไรด์ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ SGs ลดลง การทดลองแบบต่อเนื่องทำโดยใช้หอดูดซับที่มีสเปตใหม่ 5 นาที พบว่าไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับมี SGs ลดลงจาก 95 ppm เหลือ 55 ppm หรือต่ำกว่า และสามารถเก็บได้นาน 18 วันโดยไม่เกิดตะกอน โดยหอดูดซับสามารถใช้งานได้ยังมีประสิทธิภาพนาน 10 ชั่วโมง

คำสำคัญ : สเตอรอลกลูโคไซด์, เรซินแลกเปลี่ยนประจุ, ไบโอดีเซล, การดูดซับ

#### Abstract

Sterol glucosides (SGs) are minor contaminants which cause precipitation in biodiesel. Adsorption of SGs in biodiesel was investigated using cation-exchange resin as an adsorbent. Experiments were performed in a batch and continuous modes. The results from batch adsorption indicated that temperature slightly influenced SGs adsorption efficiency and the suitable temperature for adsorption was 65 °C. Adsorption efficiency was decreased due to mono-, di- and triglycerides. The result from continuous adsorption revealed that the adsorber with the space time of 5 min had suitable efficiency in removal SGs for 10 h. After adsorption treatment, concentration of SGs was decreased from 95 ppm to 55 ppm or below. No precipitation in the treated biodiesel was observed within 18 days.

**Keywords :** Sterol glucosides, Ion-exchange resin, Biodiesel, Adsorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

ไบโอดีเซลถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เพราะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช โดยผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ประเทศไทยใช้น้ำมันปาล์มรวมทั้งผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลักเพื่อผลิตไบโอดีเซล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน มีนโยบายบังคับจำหน่ายน้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซลเป็นส่วนผสมร้อยละ 5 (B5) ทั่วประเทศ และจำหน่าย B10 เป็นพลังงานทางเลือกในปี 2556 [1] อย่างไรก็ตามการใช้ดีเซลผสมที่มีไบโอดีเซลในผสมอยู่มาก อาจทำให้เกิดการอุดตันภายในท่อและหัวฉีดของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งเกิดจากอนุภาคของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอนุภาคของแข็งหรือตะกอนในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชเกิดจากสารกลุ่มสเตอรอลกลูโคไซด์ (sterol glucosides; SGs) [2-4] เนื่องจากน้ำมันพืชทุกชนิดมี SGs และเอซิลสเตอรอลกลูโคไซด์ (acylated sterol glucosides; ASGs) เป็นองค์ประกอบ โดย ASGs ซึ่งละลายได้ดีในน้ำมันพืชจะถูกเปลี่ยนรูปเป็น SGs ในระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชภายใต้สภาวะต่าง ปริมาณ SGs ในไบโอดีเซลจึงอาจมากกว่าในวัตถุดิบ เนื่องจาก SGs มีค่าการละลายในไบโอดีเซลต่ำจึงมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นของแข็งและเกิดเป็นตะกอนในที่สุด [5] ปริมาณของ SGs ในไบโอดีเซลขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้และขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล สำหรับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มโดยทั่วไปมี SGs ในช่วง 55 - 275 ppm [6] ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเวลาที่ทำให้เกิดตะกอน คือ ปริมาณ SGs และอุณหภูมิ ผลการศึกษาการตกตะกอนในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มที่ 20 °C [7] แสดงว่า เมื่อไบโอดีเซลมี SGs 10 ppm จะไม่เกิดการตกตะกอนใน 27 ชั่วโมง แต่เมื่อไบโอดีเซลมี SGs 20 ppm จะเกิดการตกตะกอนใน 4.25 ชั่วโมง

การกำจัด SGs และสิ่งเจือปนอื่นในไบโอดีเซลทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้เย็นและนำไปกรอง [8], การปั่นเหวี่ยงแล้วนำไปกรอง [9], การดูดซับ [9] และการกลั่น

สุญญากาศ [9] ในวิธีดังกล่าวข้างต้นการกลั่นสุญญากาศเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลด SGs สูงสุดจนเกือบหมด [9] เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานพบว่า การกลั่นสุญญากาศและการทำให้เย็นแล้วกรองต้องใช้พลังงานสูงจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

การดูดซับเป็นวิธีที่ดำเนินการง่าย และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงนักจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำการดูดซับโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุมาประยุกต์ในการกำจัด SGs ในไบโอดีเซล วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ SGs และการศึกษาอิทธิพลของสเปซไทม์ (space time; T) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ SGs

## 2. วิธีทดลอง

### 2.1. สารตั้งต้น

ไบโอดีเซลที่ใช้ เป็น ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มได้รับมาจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลแห่งหนึ่ง ตัวดูดซับที่ใช้เป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก

สารมาตรฐาน SGs จากบริษัท Matreva LLC., สารมาตรฐาน Monoglycerides (MGs), Diglycerides (DGs), Triglycerides (TGs) และ Glyceryl tridecanoate (ISTD) จากบริษัท Sigma-Aldrich Inc.

### 2.2. การดูดซับแบบกะ

การดูดซับแบบกะทำโดยนำไบโอดีเซล (25 g) และตัวดูดซับ (0.5 wt%) ใส่ในขวดขนาด 120 ml จากนั้นจึงนำไปเขย่า (210 rpm) พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ (65, 70 และ 75°C) และเก็บตัวอย่าง (0.1 g) ที่เวลาต่างๆ ไปวิเคราะห์หาปริมาณ SGs, MGs, DGs และ TGs

### 2.3. การดูดซับแบบต่อเนื่อง

การดูดซับแบบต่อเนื่อง ทำโดยป้อนไบโอดีเซลด้วยอัตราการไหลคงที่ (15.6 g/h) ผ่านท่อซึ่งบรรจุเรซิน (0.6875 g/cm<sup>3</sup>) ที่มีอุณหภูมิกคง (65 °C) และเก็บตัวอย่างที่ปากทางออกของท่อ 2 ตัวอย่าง โดยส่วนแรก (0.1 g) ถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ SGs และส่วนที่สอง (15 g) ถูกนำไปใช้สำหรับสังเกตการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสเปสไทม์ (T) ที่ใช้ทำการทดลอง คือ 2 และ 5 นาที ทำการปรับโดยเปลี่ยนปริมาณสารดูดซับในเบด

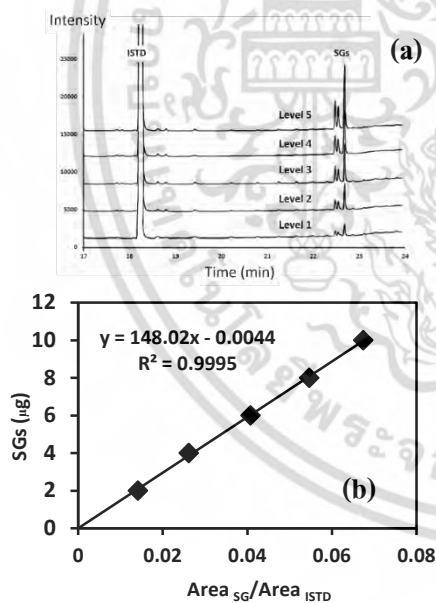
## 2.4. การทำปริมาณวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอริน, MGs, DGs, TGs และ SGs ทำตามวิธีมาตรฐาน EN14214 [12] โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟที่มีตัวตรวจวัดแบบเฟลมไอออไนซ์ (GC-2010 plus; Shimadzu) ใช้คอลัมน์ ZB5-HT แยกสาร และใช้ He เป็นแก๊สพา

## 3. ผลการทดลองและอภิปราย

### 3.1. การทำปริมาณวิเคราะห์ SGs

รูปที่ 1 (a) แสดงโครมาโตแกรมของ SGs ที่ใช้ทำการหาปริมาณสำหรับทำปริมาณวิเคราะห์ 5 ระดับ (2, 4, 6, 8 และ 10  $\mu\text{g}$ ) รูปที่ 1 (b) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SGs กับอัตราส่วน  $\text{Area}_{\text{SG}} : \text{Area}_{\text{ISTD}}$  ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้มีค่า  $R^2 = 0.9995$



รูปที่ 1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (a) โครมาโตแกรมของ SGs ที่ 2, 4, 6, 8 และ 10  $\mu\text{g}$  และ (b) กราฟมาตรฐาน SGs

### 3.2. ปริมาณ SGs และสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของ SGs, กลีเซอริน, MGs, DGs และ TGs ในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ จะเห็นว่าไบโอดีเซลมี SGs เท่ากับ 0.008 wt% และมีสิ่งเจือปนคือ กลีเซอริน, MGs, DGs และ TGs ในปริมาณ 0.023, 0.704,

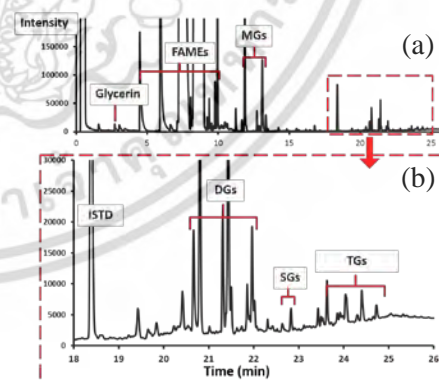
0.177 และ 0.022 wt% ตามลำดับ และมีค่า Total glyceride เท่ากับ 0.23 wt% จึงสรุปได้ว่าไบโอดีเซลมี MGs, DGs, TGs และ Total glyceride ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน EN14214 แต่มี Glycerin เกินค่ากำหนดเล็กน้อย

### ตารางที่ 1 ปริมาณ SGs และสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

สาร	ปริมาณ (%mass)	ค่ากำหนด [12] (%mass)
Glycerin	0.023	$\leq 0.02$
MGs	0.704	$\leq 0.80$
DGs	0.177	$\leq 0.20$
TGs	0.022	$\leq 0.20$
Total glycerides	0.230	$\leq 0.25$
SGs	0.008-0.0095	*

\*สำหรับ SGs ซึ่งไม่มีมาตรฐานใดกำหนดปริมาณในไบโอดีเซล

รูปที่ 2 แสดงโครมาโตแกรมขององค์ประกอบและสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล กลุ่มพีคของ SGs ปรากฏขึ้นระหว่างกลุ่มพีคของ DGs และกลุ่มพีคของ TGs จากโครมาโตแกรมจะเห็นว่าไบโอดีเซลมี Fatty acid methyl esters (FAMES) เป็นองค์ประกอบหลักมี SGs และสิ่งเจือปนปริมาณเล็กน้อย โดย SGs มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสิ่งเจือปนอื่นในไบโอดีเซล เมื่อปล่อยไบโอดีเซลทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดการตกตะกอนภายใน 1 วัน



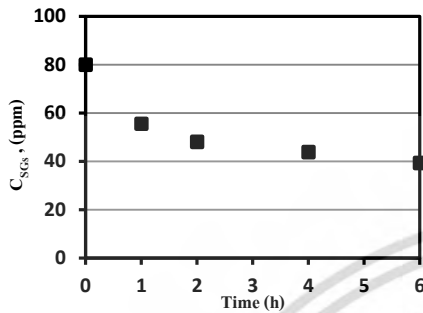
รูปที่ 2 โครมาโตแกรมของไบโอดีเซลแสดง (a) องค์ประกอบทั้งหมด (b) ส่วนขยายเฉพาะบริเวณ DGs, SGs และ TGs

### 3.3. การดูดซับแบบกะ

รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลเทียบกับเวลาที่ทำการดูดซับ จะเห็นว่าไม่มีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ SGs ลดลงจาก 80 ppm และเริ่มคงที่ที่ 40 ppm หลังทำการดูดซับ 6 ชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณพบว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุมีค่าความจุของการดูดซับ

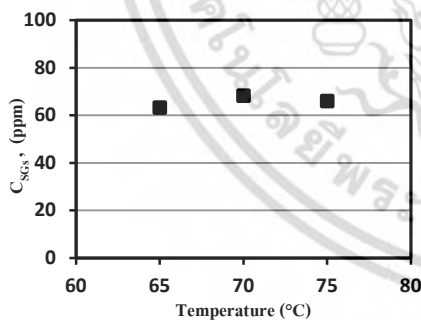
SGs เท่ากับ  $0.008 \frac{g_{SGs}}{g_{Resin}}$



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น SGs ในไบโอดีเซล หลังทำการดูดซับ ( $T = 65^{\circ}C$ ,  $W_{ads} = 1 \text{ wt}\%$ )

3.4. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ SGs จะเห็นว่าการเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง 65-75 °C มีผลต่อปริมาณ SGs ที่เหลือในไบโอดีเซลน้อย ดังนั้นการดูดซับที่อุณหภูมิ 65°C จึงเหมาะสมที่สุดเพราะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด



รูปที่ 4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล ( $W_{ads} = 0.5 \text{ wt}\%$ ;  $t_{ads} = 30 \text{ min}$ )

3.5. อิทธิพลของสิ่งเจือปนที่มีต่อการดูดซับ

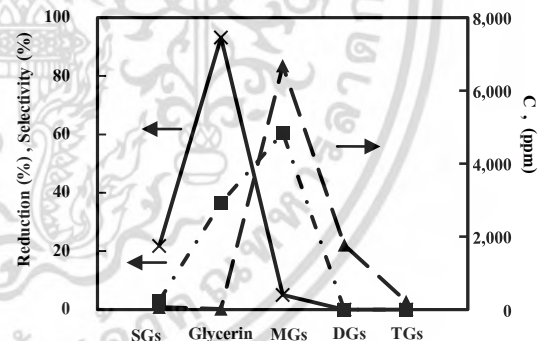
รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุเมื่อทำการดูดซับนาน 30 นาที ในเทอมของค่าร้อยละการลดลง (Reduction) และค่าการเลือกดูดซับ (Selectivity) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{Reduction of A} = [(C_{A,0} - C_{A,t})/C_{A,0}] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Selectivity of A} = [q_A/(q_A + q_B + q_C)] \times 100 \quad (2)$$

จากรูปจะเห็นว่าการใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกจะทำให้ปริมาณของ SGs, Glycerin และ MGs ลดลง 21.81, 93.23 และ 5.00% ตามลำดับ โดยมีค่าการเลือกดูดซับเท่ากับ 3.03, 36.47 และ 60.50% ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุสามารถดูดซับทั้ง SGs, Glycerin และ MGs สำหรับค่าการลดลงและค่าการเลือกดูดซับของ DGs และ TGs มีค่าเป็นศูนย์ จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า Glycerin และ MGs ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับ SGs ลดลง

การที่ SGs มีค่าการเลือกดูดซับน้อยกว่า Glycerin และ MGs เนื่องจากในไบโอดีเซลมีปริมาณ SGs น้อยกว่า Glycerin และ MGs จึงส่งผลให้โอกาสที่ SGs จะถูกดูดซับมีน้อย ส่วนการที่ MGs มีค่าการลดลงน้อยกว่า SGs และ Glycerin เป็นเพราะในไบโอดีเซลมี MGs มาก แต่ถูกดูดซับน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ



รูปที่ 5 ผลของสิ่งปนเปื้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ SGs ในไบโอดีเซล ระยะเวลา 30 min อุณหภูมิ 65°C (X) Reduction ; (■) Selectivity ; (▲) Concentration

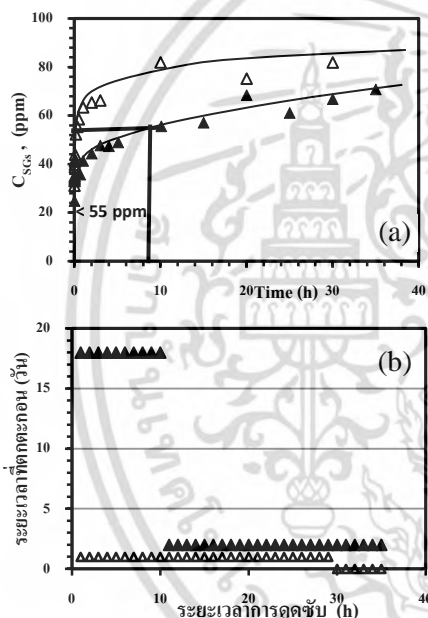
3.6 อิทธิพลของสเปคไทรมที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

ประสิทธิภาพของหอดูดซับแบบต่อเนื่องสามารถพิจารณาได้จากความเข้มข้นของ SGs ที่ปากทางออกของหอดูดซับ (รูปที่ 6 (a)) และระยะเวลาที่เกิดตะกอนในไบโอดีเซลหลังผ่านการกำจัด SGs (รูปที่ 6 (b)) จากผลการทดลองในรูปที่ 6 (a) จะเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นความเข้มข้น

เชิงกลศาสตร์เป็นอีกกลวิธีหนึ่งในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ของงานวิจัยนี้ จึงได้จัดทำเอกสารนี้ขึ้นเพื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้ศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

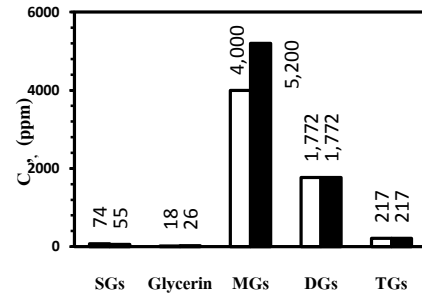
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGs ในไบโอดีเซลลดลงเหลือประมาณ 20 ppm และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกรณี  $\tau_{5 \text{ min}}$  กับ  $\tau_{2 \text{ min}}$  จะเห็นว่าความเข้มข้น SGs ของกรณี  $\tau_{5 \text{ min}}$  มีค่าต่ำกว่ากรณี  $\tau_{2 \text{ min}}$  ทุกช่วงเวลา ผลการทดลองในรูปแบบที่ 6 (b) แสดงให้เห็นว่าสำหรับกรณี  $\tau_{5 \text{ min}}$  ไบโอดีเซลที่ออกจากหอดูดซับใน 10 ชั่วโมงแรกไม่เกิดการตกตะกอนใน 18 วัน แต่ไบโอดีเซลที่ออกจากหอดูดซับหลังทำการดูดซับนานกว่า 10 ชั่วโมง จะตกตะกอนใน 2 วัน จากการพิจารณาสรุปที่ 6 (a) และ (b) ร่วมกันจะสามารถสรุปว่าควรลด SGs ในไบโอดีเซลให้ต่ำกว่า 55 ppm จึงทำให้ไบโอดีเซลมีเสถียรภาพสูง



รูปที่ 6 (a) ความเข้มข้นของ SGs ในไบโอดีเซลที่ปากทางออกที่เวลาใดๆ (b) ผลของ Tau ที่มีต่อระยะเวลาการเกิดตะกอน ( $\Delta$ )  $\tau_{2 \text{ min}}$ ; ( $\blacktriangle$ )  $\tau_{5 \text{ min}}$

รูปที่ 7 แสดงปริมาณ SGs, Glycerin, MGs, DGs และ TGs ในไบโอดีเซลที่เก็บจากปากทางออกของหอดูดซับที่มี สเปสไทม์ 2 และ 5 นาที ที่เวลา 10 ชั่วโมง จะเห็นว่าปริมาณของ Glycerin และ MGs ในไบโอดีเซลที่ปากทางออกกรณี  $\tau_{5 \text{ min}}$  มีน้อยกว่ากรณี  $\tau_{2 \text{ min}}$  แต่ปริมาณ DGs และ TGs ทั้งสองกรณีไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 7 ปริมาณสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลหลังทำการดูดซับแบบต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 h กรณี  $\tau$  ( $\square$ ) 2 และ ( $\blacksquare$ ) 5 นาที

#### 4. สรุป

เรซินแลกเปลี่ยนประจุสามารถนำมาใช้ในการดูดซับเพื่อลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 65 °C กลีเซอรินและโมโนกลีเซอไรด์ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสเตอรอลกลูโคไซด์ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุลดลง เมื่อทำการดูดซับแบบต่อเนื่อง พบว่าหอดูดซับที่มีสเปสไทม์ 5 นาที มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสเตอรอลกลูโคไซด์ลงจนทำให้ไบโอดีเซลตกตะกอนช้ามาก นาน 10 ชั่วโมง โดยไบโอดีเซลที่ได้ไม่เกิดตะกอนใน 18 วัน

#### 5. รายการสัญลักษณ์

$\tau$	Space time	[min]
$C$	ความเข้มข้นของสารใดๆ	[ppm]
$C_{i,0}$	ความเข้มข้นสาร i เริ่มต้น	[ppm]
$C_{i,t}$	ความเข้มข้นสาร i ที่เวลาใดๆ	[ppm]
A, B, C	สารที่ถูกระบบดูดซับ	[-]
$q_i$	ปริมาณสาร i ที่ถูกดูดซับที่เทียบกับน้ำหนักตัวดูดซับ	[g/g <sub>resin</sub> ]
$A_{SGs}$	พื้นที่ได้กราฟของ SGs	[-]
$A_{ISTD}$	พื้นที่ได้กราฟของ ISTD	[-]

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณบางส่วนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ในเชิงประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, [Online]. Available : [www.dede.go.th/dede/images/stories/Biodiesel/RED\\_P\\_Biodiesel\\_5\\_Years.pdf](http://www.dede.go.th/dede/images/stories/Biodiesel/RED_P_Biodiesel_5_Years.pdf). [June 15,2013]
- [2] D. Na-Ranong, P. Kitchaiya, R. Yuangsawad. "Removal of Steryl Glucosides in Palm Oil based Biodiesel by Adsorption on an Acid treated Resin".[Online]. Available.[www.chisa.cz/2012/admin/contrib\\_get\\_abstract\\_edited.asp?id\\_02=1147](http://www.chisa.cz/2012/admin/contrib_get_abstract_edited.asp?id_02=1147) [June 15, 2013]
- [3] H. Tang, R. C. D. Guzman, S. O. Salley, K. Y. S. Ng, "Formation of Insoluble in Palm Oil-, Yellow Grease- and Soybean Oil-Based Biodiesel Blends After Cold Soaking at 4 °C", J Am Oil Chem Soc, vol.85, pp.1173–1182, 2008
- [4] H. Wang, H. Tang. S. Salley, K.Y. S. Ng, "Analysis of Sterol Glycosides in Biodiesel and Biodiesel Precipitates", J Am Oil Chem Soc, vol.87, pp.215–221, 2010
- [5] I. P. L. Lee, G. B. Poppe, E. Powers, T. Haines, "The Role of Sterol Glucosides on Filter Plugging" Biodiesel Mag, vol.4, pp.105-112, 2007
- [6] V. V. Hoed, N. Zyaykina, W. D. Greyt, J. Maes, R. Verhe, K. Demeestere, "Indentification and Occurrence of Steryl Glucosides in Palm and Soy Biodiesel", J Am Oil Chem Soc, vol.85, pp.701-709, 2008
- [7] K. Petdee, K. Panjindawan, "Reduction of Sterol Glucoside in Biodiesel by Batch Adsorption", The Thesis of The Degree of Bachelor in Chemical Engineering Faculty of Engineering, KMITL, 2012
- [8] M. F. Danzer, T. L. Ely, S. A. Kingery, W. W. McCalley, W. M. McDonald, J. Mostek, M. L. Schultes (2007) Biodiesel cold filtration process. US Patent Application 20070175091, filed 02/01/2007
- [9] H. Tang, R. D. Guzman, S. Salley, K. Y. S. Ng, "Comparing Process Efficiency in Reducing Steryl Glucosides in Biodiesel", J Am Oil Chem Soc, vol.87, pp.337–345, 2010
- [10] S. Chongkhong, C. Tongurai, P. Chtpattananondh, C. Bunyakan, "Biodiesel Production by Esterification of Palm Fatty Acid Distillate", Elsevier Ltd, 2007
- [11] P. Nakpong, S. Wootthikanokkhan, "Optimization of Biodiesel Production from Jatropha Curcas L. Oil via Alkali-catalyzed Methanolysis", Journal of Sustainable Energy and Environment, vol.1, pp.105-109, 2010
- [12] "EN14214 Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for Diesel Engines, Requirements and Ttest Methods", European Committee for Standardization: Management Centre, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้