

การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของ
น้ำมันดอกทานตะวันที่มีหมู่แอลกอฮอล์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF PALM BIODIESEL BY ISOPROPYL ESTER OF
SUNFLOWER OIL CONTAINING ALKOXY GROUPS

Miss Kanoknun Vathanasakpubal



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล
จากน้ำมันปาล์มด้วยไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของน้ำมันดอก
ทานตะวันที่มีหมู่แอลกอฮอล์

โดย

นางสาวกนกนันท์ วัฒนศักดิ์ภูบาล

สาขาวิชา

ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวงนิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวนศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช อาชวาคม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อนุรักษ์ วินิตสร)

กนกนันท์ วัฒนศักดิ์ภูบาล : การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของน้ำมันดอกทานตะวันที่มีหมู่แอลคอกซี (IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF PALM BIODIESEL BY ISOPROPYL ESTER OF SUNFLOWER OIL CONTAINING ALKOXY GROUPS) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สมใจ เพ็งปรีชา, 73 หน้า.

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยฉบับนี้คือ สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมีจากไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของน้ำมันดอกทานตะวัน เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม สารเติมแต่งทางเคมีถูกสังเคราะห์โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน, อีพอกซิเดชัน และแอลคอกซิเลชันได้เป็น แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ นำสารเติมแต่งที่สังเคราะห์ได้ เติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้น 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 ส่วนในล้านส่วน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการเติมกับสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม จากผลการทดลองพบว่า สารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถลดค่าจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ ซึ่งความยาวของหมู่แอลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมี มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยหมู่แอลคอกซีที่ยาวนั้น จะทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงขัดขวางการรวมตัวกันของโมเลกุล ทำให้การเกิดผลึกเมื่ออุณหภูมิต่ำลงเป็นไปได้ยาก สำหรับสารเติมแต่งทางเคมีที่ให้ผลการปรับปรุงได้ดีที่สุด คือ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งสามารถลดค่าจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มจาก 19.4 องศาเซลเซียส เป็น 13.5 องศาเซลเซียส และจาก 11.2 องศาเซลเซียส เป็น 7.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเติมที่ความเข้มข้น 200,000 ส่วนในล้านส่วน

สาขาวิชา ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5571901023 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: COLD FLOW PROPERTIES / PALM BIODIESEL / CHEMICAL ADDITIVES / ALKOXYLATION

KANOKNUN VATHANASAKPUBAL: IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF PALM BIODIESEL BY ISOPROPYL ESTER OF SUNFLOWER OIL CONTAINING ALKOXY GROUPS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 73 pp.

The aim of this research is to synthesize chemical additives from isopropyl ester of sunflower oil in order to improve cold flow properties of palm biodiesel. The chemical additives which were synthesized via transesterification, epoxidation and alkoxylation are alkoxy isopropyl esters and they were characterized by $^1\text{H-NMR}$ technique. These synthetic additives were added into palm biodiesel at level of 50,000 100,000, 150,000 and 200,000 ppm to compare their effect to cold flow properties. The results showed that these synthetic additives can reduce cloud point (CP) and pour point (PP) of palm biodiesel. The length of alkoxy chain is also affected the cold flow properties of palm biodiesel. Long alkoxy chain makes the distance between molecules increased resulting in hindering molecular packaging, which unfavors crystallization when temperature drops. The best synthetic additive is given to 1-Octoxy isopropyl ester, which it decreases cloud point and pour point of palm biodiesel from $19.4\text{ }^\circ\text{C}$ to $13.5\text{ }^\circ\text{C}$ and $11.2\text{ }^\circ\text{C}$ to $7.0\text{ }^\circ\text{C}$, respectively, when adding in the amount of 200,000 ppm.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านคือบุคคลสำคัญในการให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ขวศิริ, กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อนวัช อาชวาคม และกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ดร.อนุรักษ์ วินิตสร สำหรับการให้ความรู้และคำชี้แนะ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ ยิ่งไปกว่านั้น ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง เพื่อน พี่ น้อง ในห้องปฏิบัติการ ทุกคน สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือตลอดมา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้แก่ผู้ทำวิจัยจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎี.....	3
2.1.1 ไปโอดีเซล.....	3
2.1.2 การผลิตไปโอดีเซล.....	4
2.1.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	4
2.1.2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	5
2.1.3 แหล่งที่มาของไปโอดีเซล.....	6
2.1.4 สมบัติของไปโอดีเซล.....	7
2.1.4.1 สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ.....	9
2.1.4.1.1 จุดขุ่น (Cloud point: CP).....	9
2.1.4.1.2 จุดเริ่มไหล (Pour point: PP).....	9

2.1.4.1.3 จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point: CFPP).....	9
2.1.4.1.4 การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flow test: LTFT).....	10
2.1.5 การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ.....	10
2.1.5.1 ผสมไบโอดีเซลเข้ากับน้ำมันดีเซล	10
2.1.5.2 วินเทอร์ไรเซชัน.....	10
2.1.5.3 การเปลี่ยนหมู่ปลายสายของไบโอดีเซล.....	10
2.1.5.4 การผสมไบโอดีเซลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน	11
2.1.5.5 การใช้สารเติมแต่งทางเคมี.....	11
2.1.6 อีพอกไซด์.....	12
2.1.6.1 การสังเคราะห์อีพอกไซด์	13
2.1.6.2 ปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์.....	13
2.1.6.2.1 การเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งกรด	13
2.1.6.2.2 การเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบส.....	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	18
3.1 สารเคมีและวัสดุดิบ.....	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.3 สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี.....	19
3.1.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	19
3.1.1.1 สังเคราะห์ ไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	19
3.1.2 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน	19

3.1.2.1	สังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติก	19
3.1.2.2	การสังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	20
3.1.3	ปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน	21
3.1.3.1	สังเคราะห์ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	22
3.1.3.2	สังเคราะห์ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	22
3.1.3.3	สังเคราะห์ 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	22
3.1.3.4	สังเคราะห์ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	22
3.1.3.5	สังเคราะห์ 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	23
3.1.3.6	สังเคราะห์ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	23
3.4	ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	23
3.5	วัดความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อผสมสารเติมแต่งทางเคมี	23
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	24
4.1	สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี.....	24
4.1.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	24
4.1.1.1	สังเคราะห์ไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	24
4.1.2	ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน	26
4.1.2.1	สังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติก	26
4.1.2.2	สังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	28
4.1.3	ปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน	30
4.1.3.1	สังเคราะห์แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	31
4.2	ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	34
4.2.1	ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์ม.....	35

4.2.1.1 ปริมาณในการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	35
4.2.1.2 ลักษณะที่แตกต่างกันของหมู่แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี	41
4.2.1.2.1 หมู่แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างต่างกันแต่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน	42
4.2.1.2.1 หมู่แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนต่างกันแต่มีโครงสร้าง เหมือนกัน	43
4.3 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.1 สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี.....	47
5.2 ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	48
5.3 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี.....	48
5.4 ข้อเสนอแนะ	49
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$	54
ภาคผนวก ข การคำนวณ	65
ภาคผนวก ค จุดชุนและจุดไหลเท	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	73

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	4
รูปที่ 2-2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	5
รูปที่ 2-3 โครงสร้างทั่วไปของสารเติมแต่งทางเคมี.....	12
รูปที่ 2-4 โครงสร้างของอีพอกไซด์ชนิดวงแหวนสาม.....	12
รูปที่ 2-5 ปฏิกริยาการสังเคราะห์อีพอกไซด์.....	13
รูปที่ 2-6 กลไกการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งกรด.....	14
รูปที่ 2-7 กลไกการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบส.....	14
รูปที่ 4-1 กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	25
รูปที่ 4-2 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์.....	25
รูปที่ 4-3 กลไกการสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก.....	26
รูปที่ 4-4 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาอีพอกไซด์ใน ในแต่ละอัตราส่วนโดยปริมาตรของกรดแอซิดิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	27
รูปที่ 4-5 กลไกการแตกของวงอีพอกไซด์เนื่องจากกรดแอซิดิก.....	28
รูปที่ 4-6 กลไกการเกิดปฏิกริยาอีพอกไซด์.....	28
รูปที่ 4-7 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในแต่ละ อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อกรดเปอร์ออกซีแอซิดิก.....	29
รูปที่ 4-8 กลไกการเกิดปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน.....	30
รูปที่ 4-9 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน ในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ต่อ 1-โพรพานอล (-OR คือหมู่ โพรพอกซี; -OCH ₂ CH ₂ CH ₃).....	31
รูปที่ 4-10 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของแอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (-OR คือหมู่แอลคอกซี).....	32
รูปที่ 4-11 โครงสร้างของสารเติมแต่งทางเคมี (แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์).....	33

รูปที่ 4-12 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน	36
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน	36
รูปที่ 4-14 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน	37
รูปที่ 4-15 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน	38
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน	39
รูปที่ 4-17 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	40
รูปที่ 4-18 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม	42
รูปที่ 4-19 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม	43
รูปที่ 4-20 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี และ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม	44
รูปที่ 4-21 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม	45
รูปที่ ก-1 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์	54
รูปที่ ก-2 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (3:1 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก).....	55

รูปที่ ก-16 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)	62
รูปที่ ก-17 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 2-โพรพานอล)	62
รูปที่ ก-18 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-บิวทานอล).....	63
รูปที่ ก-19 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 2-บิวทานอล).....	63
รูปที่ ก-20 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-เฮกซานอล).....	64
รูปที่ ก-21 ¹ H-NMR สเปกตรัม (CDCl ₃ , 400 MHz) ของ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-ออกทานอล).....	64

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 สมบัติของน้ำมันดีเซลเทียบกับไบโอดีเซล	3
ตารางที่ 2-2 แสดงวัตถุดิบการผลิตไบโอดีเซลในประเทศต่างๆ.....	6
ตารางที่ 2-3 แสดงปริมาณกรดไขมันแต่ละประเภทในน้ำมันชนิดต่างๆ.....	7
ตารางที่ 2-4 สมบัติของไบโอดีเซลในประเทศไทย.....	8
ตารางที่ 3-1 รายการสารเคมี	18
ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนโดยปริมาตรของกรดแอสติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	20
ตารางที่ 3-3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์และกรดเปอร์ออกซีแอสติก.....	21
ตารางที่ 3-4 อัตราส่วนโดยโมลของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 1-โพรพานอล	22
ตารางที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อผสมสารเติมแต่ง ทางเคมีแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ	34
ตารางที่ 4-2 โครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของหมู่แอลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมี.....	41
ตารางที่ 4-3 ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี.....	46
ตารางที่ ข-1 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี.....	70
ตารางที่ ค-1 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 50,000 พีพีเอ็ม	71
ตารางที่ ค-2 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 100,000 พีพีเอ็ม	71
ตารางที่ ค-3 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 150,000 พีพีเอ็ม	72
ตารางที่ ค-4 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและปัญหา

ไบโอดีเซล เป็นพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องด้วยไบโอดีเซลเป็นพลังงานสะอาดจากธรรมชาติที่ผลิตได้จากพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทดแทนได้ ยิ่งไปกว่านั้น ไบโอดีเซลยังมีสมบัติเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล ทั้งยังมีการปล่อยไอเสียที่เป็นอันตรายน้อยกว่า จึงลดปัญหาในด้านของมลพิษทางอากาศ จัดได้ว่าเป็นพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป [1]

นอกเหนือจากข้อดีที่กล่าวมานั้น ไบโอดีเซลยังมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป นั่นคือสมบัติในการไหลที่อุณหภูมิต่ำ โดยไบโอดีเซลจะแข็งตัวได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้เกิดการอุดตันในระบบของเครื่องยนต์หรือยานพาหนะ ซึ่งเป็นปัญหาเมื่อนำไปใช้ในภูมิภาคหรือประเทศที่มีอากาศหนาว [2, 3] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในประเทศไทยนิยมผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เนื่องด้วยปาล์มเป็นพืชที่ปลูกง่าย, ราคาถูก และให้ปริมาณน้ำมันที่สูง แต่ข้อเสียของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มก็คือ มีอุณหภูมิของจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่สูงกว่าไบโอดีเซลจากแหล่งอื่น เนื่องจากไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม มีปริมาณกรดไขมันอิสระชนิดไม่อิ่มตัวอยู่มาก ทำให้เกิดการแข็งตัวได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง เป็นเหตุให้มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี [4] อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล มีหลายวิธี ได้แก่ การผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล, วินเทอร์ไรเซชัน, การเปลี่ยนหมู่ตรงปลายสายของไบโอดีเซล, การผสมไบโอดีเซลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน, การใช้สารเติมแต่งทางเคมี

ในงานวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมีจากน้ำมันดอกทานตะวัน เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวัน ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระชนิดไม่อิ่มตัวอยู่มาก ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันดอกทานตะวัน กับไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นทำให้เกิดวงอีพอกไซด์ตรงตำแหน่งพันธะคู่ในสายโซ่ โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน แล้วจึงทำปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน กับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เพื่อเปิดวงอีพอกไซด์ จะได้สารเติมแต่งทางเคมี คือ แอลคอกซิไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ทำการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ได้ลงในไบโอดีเซลจากน้ำมัน

ปาล์มในปริมาณ 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม และเปรียบเทียบปริมาณที่เดิมกับผลที่ได้ในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 สังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของสารเติมแต่งทางเคมีที่ได้จากน้ำมันดอกทานตะวัน เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

1.2.2 ศึกษาผลการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม จากสารเติมแต่งทางเคมี

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ขั้นตอนแรก คือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวัน โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน กับไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนนี้คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวัน หรือไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากนั้นไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ถูกอีพอกซิไดส์โดยกรดเปอร์ออกซีแอซิติก ผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์คือ อีพอกซิไอโซโพรพิลเอสเทอร์ สำหรับขั้นตอนสุดท้าย คือการเปิดวงอีพอกไซด์ โดยผ่านปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ คือ โพรพานอล, ไอโซโพรพานอล, บิวทานอล, 2-บิวทานอล, เฮกซานอล และออกทานอล ได้ผลิตภัณฑ์คือ แอลคอกซิไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละขั้นตอนโดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

นำสารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ได้เติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในปริมาณต่างๆ แล้วเปรียบเทียบปริมาณที่เดิมกับผลการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เพื่อหาปริมาณการเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ได้ เทียบกับน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์ตามมาตรฐาน ประกอบด้วย ความหนืด (ASTM D 445), จุดขุ่น (ASTM D 2500) และจุดเริ่มไหล (ASTM D 97)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สารเติมแต่งทางเคมีจากไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของน้ำมันดอกทานตะวัน ซึ่งสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลหรืออัลคิลเอสเทอร์ เป็นพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่งที่สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ไบโอดีเซลได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องด้วยเป็นพลังงานสะอาดจากธรรมชาติที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช, น้ำมันจากสัตว์ รวมไปถึงน้ำมันที่ใช้แล้ว นอกจากนั้น ไบโอดีเซลยังมีสมบัติในด้านกำลังเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีการปล่อยไอเสียที่เป็นอันตรายน้อยกว่า เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ ทำให้การเผาไหม้ของไบโอดีเซลเกิดได้ค่อนข้างสมบูรณ์ จึงลดการปล่อย คาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน, ฝุ่นละออง อีกทั้งไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ ทำให้ลดมลพิษที่เกิดจากสารประกอบออกไซด์ของกำมะถัน กล่าวได้ว่าการใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดมลภาวะทางอากาศได้เป็นอย่างดี จากตาราง 2-1 แสดงสมบัติของน้ำมันดีเซลเทียบกับไบโอดีเซล [5]

ตารางที่ 2-1 สมบัติของน้ำมันดีเซลเทียบกับไบโอดีเซล

สมบัติ	ดีเซล	ไบโอดีเซล
ทดสอบตามมาตรฐาน	ASTM D 975	ASTM D 6751
ความจุความร้อนต่ำสุด (บีทียู/แกลลอน)	~129,050	~118,170
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (เซนติสโตกส์)	1.3 ถึง 4.1	1.9 ถึง 6.0
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 60°C	0.85	0.88
ความหนาแน่น (ปอนด์/แกลลอน)	7.079	7.328
น้ำและสิ่งปนเปื้อน (ร้อยละโดยปริมาตร)	สูงสุด 0.05	สูงสุด 0.05
ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	87	77
ปริมาณไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	13	12

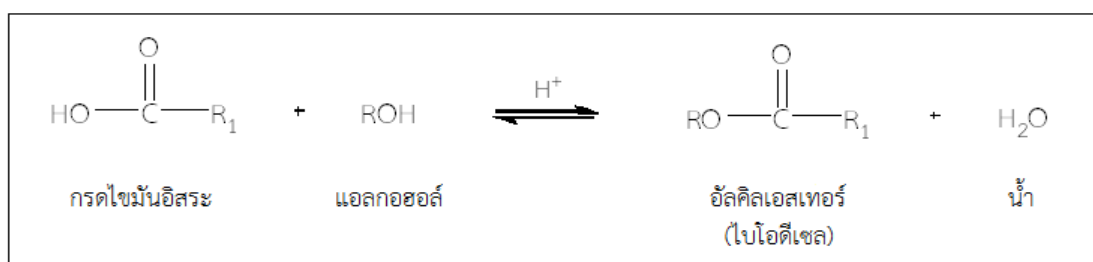
ปริมาณออกซิเจน	0	11
ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.0015	0.0 ถึง 0.0024
จุดเดือด (°C)	180 ถึง 340	315 ถึง 350
จุดวาบไฟ (°C)	60 ถึง 80	130 ถึง 170
จุดขุ่น (°C)	-15 ถึง 5	-3 ถึง 12
จุดเริ่มไหล (°C)	-35 ถึง -15	-15 ถึง 10
เลขซีเทน	40 ถึง 55	47 ถึง 65
ค่าการหล่อลื่น SLBOCLE (กรัม)	2,000 ถึง 5,000	มากกว่า 7,000
ค่าการหล่อลื่น HFRR (ไมครอน)	300 ถึง 600	น้อยกว่า 300

2.1.2 การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (อัลคิลเอสเทอร์) สามารถสังเคราะห์ได้โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง กรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ เรียกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น เมทานอล, เอทานอล, โพรพานอล และบิวทานอล แต่ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลส่วนใหญ่จะใช้ เมทานอล เพราะราคาถูก และ มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา [6]

2.1.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

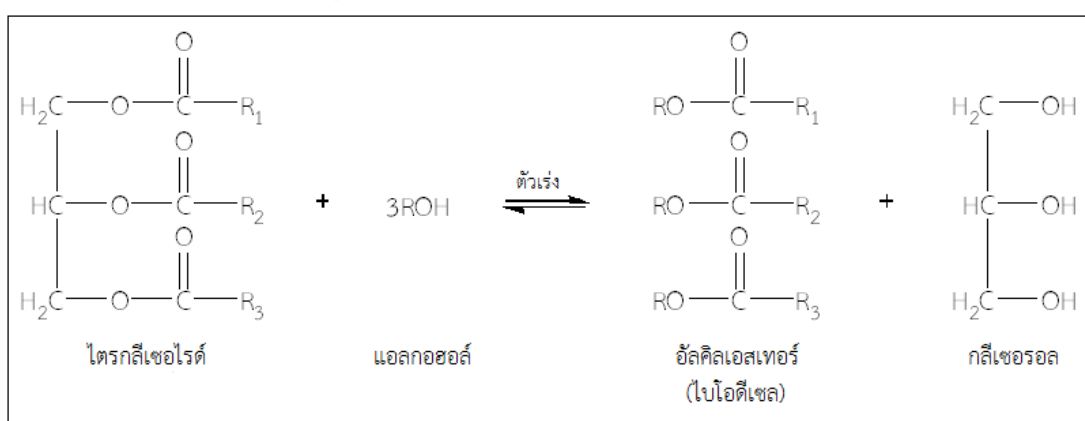
การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ จากรูป 2-1 จะเห็นว่า ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้า เกิดไปเป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น สำหรับตัวเร่งของปฏิกิริยาจะใช้ตัวเร่งที่เป็นกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ อัลคิลเอสเทอร์ หรือ ไบโอดีเซล และเกิดน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม [7]



รูปที่ 2-1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

2.1.2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลหรืออัลคิลเอสเทอร์ส่วนใหญ่ จะสังเคราะห์โดยผ่าน ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ จากรูป 2-2 ไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนโดยโมล ตามสมการคือ 1:3 จากสมการเห็นได้ว่า ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกริยาที่สามารถ ผันกลับได้ ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกริยาจึงต้องมีปริมาณมากเกินพอ เพื่อให้ปฏิกริยา ไปข้างหน้า ทำให้เกิดผลได้ของผลิตภัณฑ์มากขึ้น นอกจากนั้นยังมีการใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเพื่อเพิ่ม ความว่องไวในการเกิดปฏิกริยา ตัวเร่งปฏิกริยาสามารถใช้ได้ทั้ง ตัวเร่งเบส, ตัวเร่งกรด และตัวเร่ง เอนไซม์ สำหรับตัวเร่งเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกริยาน้อย, ได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมากและมีความบริสุทธิ์สูง แต่ข้อเสีย คือ สามารถใช้ตัวเร่งเบสได้กับน้ำมันหรือไขมันที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดสบู่ในกระบวนการผลิต ทำให้การแยกผลิตภัณฑ์ทำได้ยากขึ้น สำหรับตัวเร่งกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) สามารถแก้ไขข้อจำกัดของตัวเร่งเบส นั่นคือ สามารถใช้กับน้ำมันหรือไขมันที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ได้ แต่ข้อเสียของ ตัวเร่งกรดคือ ใช้เวลานานในการทำปฏิกริยา สำหรับตัวเร่งอีกประเภทคือ ตัวเร่งเอนไซม์ เช่น ไลเปส เป็นตัวเร่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้ได้กับน้ำมันหรือไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ อยู่มาก แต่ข้อเสียคือ ตัวเร่งเอนไซม์มีราคาแพง และใช้เวลาในการทำปฏิกริยานาน สำหรับปฏิกริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะเกิดกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม [8, 9]



รูปที่ 2-2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.1.3 แหล่งที่มาของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จาก น้ำมันพืช, ไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้ว ในประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย นิยมผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เพราะต้นปาล์มปลูกง่าย, ราคาถูก และให้ปริมาณน้ำมันที่มาก สำหรับประเทศอื่นๆจะใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ สภาพอากาศ, ภูมิประเทศ รวมไปถึงผลผลิตทางการเกษตร เช่น ในแถบยุโรป นิยมใช้น้ำมันจากเมล็ดองุ่น ส่วนในบราซิล, อเมริกา และรัสเซีย นิยมใช้น้ำมันถั่วเหลือง แต่ในแคนาดาและออสเตรเลีย นิยมใช้น้ำมันจากสัตว์ อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วจะลดต้นทุนการผลิตได้สูง ตารางที่ 2-2 แสดงวัตถุดิบการผลิตไบโอดีเซลในประเทศต่างๆ [10] ความแตกต่างของน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาผลิตไบโอดีเซล คือปริมาณกรดไขมันแต่ละประเภทที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่สูง จะแข็งตัวได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง สำหรับประเทศไทย นิยมผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่สูง ทำให้เป็นปัญหาหลักในการนำไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มไปใช้ในภูมิภาคที่มีอากาศเย็น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เพื่อแก้ไขจุดบกพร่องดังกล่าว ตารางที่ 2-3 แสดงปริมาณกรดไขมันแต่ละประเภทในน้ำมันชนิดต่างๆ [11]

ตารางที่ 2-2 แสดงวัตถุดิบการผลิตไบโอดีเซลในประเทศต่างๆ

ประเทศ	วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล
ไทย	ปาล์ม, สบู่ดำ, มะพร้าว
มาเลเซีย	ปาล์ม
อินโดนีเซีย	ปาล์ม, สบู่ดำ
จีน	สบู่ดำ, น้ำมันใช้แล้ว
เกาหลี	น้ำมันใช้แล้ว
เยอรมนี	องุ่น
ฝรั่งเศส	องุ่น, ทานตะวัน
อังกฤษ	องุ่น, น้ำมันใช้แล้ว
อเมริกา	ถั่วเหลือง, น้ำมันใช้แล้ว
แคนาดา	คาโนลา, ไขมันสัตว์
ออสเตรเลีย	น้ำมันใช้แล้ว, ไขมันสัตว์

ตารางที่ 2-3 แสดงปริมาณกรดไขมันแต่ละประเภทในน้ำมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน (%)	ชนิดไขมันและน้ำมัน						
	คาโนลา	มะพร้าว	ปาล์ม	งุ่น	ทานตะวัน	ถั่วเหลือง	ไขมันวัว
คาโพรอิก (6:0)	-	0.5	-	-	-	-	-
คาโพรลิก (8:0)	-	8.0	-	-	-	-	-
คาพริก (10:0)	-	6.4	-	-	-	-	0.1
ลอริก (12:0)	-	48.5	0.3	-	0.5	-	0.1
ไมริสติก (14:0)	-	17.6	1.1	0.1	0.2	0.1	3.3
ปาล์มิติก (16:0)	3.9	8.4	45.1	2.8	6.8	10.9	25.5
ปาล์มิตอเลอิก(16:1)	0.2	-	0.1	0.2	0.1	0.1	3.4
สเตียริก (18:0)	1.9	2.5	4.7	1.3	4.7	4.2	21.6
โอเลอิก (18:1)	64.1	6.5	38.5	21.8	18.6	25.0	38.7
ลิโนเลอิก (18:2)	18.7	1.5	9.4	14.6	68.2	52.7	2.2
ลิโนเลนิก (18:3)	9.2	-	0.3	7.3	0.5	6.2	0.6
อะราคิดิก (20:0)	0.6	0.1	0.2	0.7	0.4	0.3	0.1
บีฮีนิก (22:0)	0.2	-	-	0.4	-	0.1	-
อีรูซิก (22:1)	-	-	-	34.8	-	-	-
กรดไขมันอิ่มตัว	6.6	92	51.4	5.3	12.6	15.6	50.7
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	92.2	8	48.3	78.7	87.4	84.0	44.9

2.1.4 สมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องด้วยมีสมบัติในด้านกำลังเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีการปล่อยไอเสียที่เป็นอันตรายน้อยกว่า ทำให้ช่วยลดมลพิษทางอากาศ สมบัติของไบโอดีเซลในประเทศไทยแสดงดังตาราง 2-4 [12]

ตารางที่ 2-4 สมบัติของไบโอดีเซลในประเทศไทย

ข้อกำหนด	ค่าที่กำหนด	วิธีทดสอบ
เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	860-900	ASTM D 1298
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (เซนติสโตกส์)	3.5-5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
กากถ่าน จากร้อยละ 10 ของส่วนที่เหลือจากการกลั่น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 4530
เลขซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
เถ้าซัลเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874
น้ำ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 500	EN ISO 12937
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 24	EN 12662
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่า หมายเลข1	ASTM D 130
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°C (ชั่วโมง)	ไม่ต่ำกว่า 10	EN 15751
ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม)	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
เมทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
โมนอกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.70	EN 14105
ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	En14105
กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	EN14105
กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.25	EN14105
โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14538

โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 5.0	EN14538
ฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.0010	EN 14107

อย่างไรก็ตามถึงแม้ข้อดีของไบโอดีเซลจะมีมากมายเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล แต่ข้อเสียบางประการ ทำให้ไม่สามารถนำไปโอดีเซลไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง นั่นคือ ไบโอดีเซลจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ไบโอดีเซลจะเริ่มแข็งตัวได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้อุดตันในระบบของเครื่องยนต์ จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้ในภูมิภาคที่มีอากาศเย็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล และการปรับปรุงสมบัติดังกล่าว

2.1.4.1 สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล สามารถวัดได้จากหลายตัวแปร คือ จุดขุ่น (Cloud point: CP), จุดเริ่มไหล (Pour point: PP), จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point: CFPP) และการทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flow test: LTFT) [13]

2.1.4.1.1 จุดขุ่น (Cloud point: CP)

จุดขุ่น คือ อุณหภูมิที่เกิดผลึกที่มองเห็นได้ผลึกแรก ภายใต้สภาวะที่ทำให้เย็นลง ซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 2500

2.1.4.1.2 จุดเริ่มไหล (Pour point: PP)

จุดเริ่มไหล คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ ภายใต้สภาวะที่ทำให้เย็นลง ซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 97

2.1.4.1.3 จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point: CFPP)

จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ คือ อุณหภูมิต่ำสุด ที่น้ำมันส่วนหนึ่งไม่สามารถไหลผ่านไส้กรองมาตรฐานภายในเวลาที่กำหนด ภายใต้สภาวะที่ทำให้เย็นลง ซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 6371

2.1.4.1.4 การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flow test: LTFT)

การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ คือ อุณหภูมิต่ำสุด ที่น้ำมันส่วนหนึ่งไม่สามารถไหลผ่านไส้กรองมาตรฐาน ใน 60 วินาที หรือน้อยกว่า ภายใต้สภาวะที่ทำให้เย็นลงซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 4539

2.1.5 การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

ไบโอดีเซลมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี จึงมีการศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล ซึ่งมีหลายวิธี [14-18]

2.1.5.1 ผสมไบโอดีเซลเข้ากับน้ำมันดีเซล

วิธีการผสมไบโอดีเซลเข้ากับน้ำมันดีเซล เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล เนื่องด้วยน้ำมันดีเซลมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีกว่าไบโอดีเซล ดังนั้น การผสมน้ำมันดีเซลเข้ากับไบโอดีเซลจึงช่วยให้ไบโอดีเซลมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น

2.1.5.2 วินเทอร์ไรเซชัน

วินเทอร์ไรเซชัน เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล โดยการลดอุณหภูมิเพื่อตกผลึกแยกส่วนที่อึดตัวในไบโอดีเซลซึ่งแข็งตัวได้ง่ายออก ทำให้เหลือส่วนที่ไม่อึดตัวซึ่งแข็งตัวได้ยากกว่า จึงมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น

2.1.5.3 การเปลี่ยนหมู่ปลายสายของไบโอดีเซล

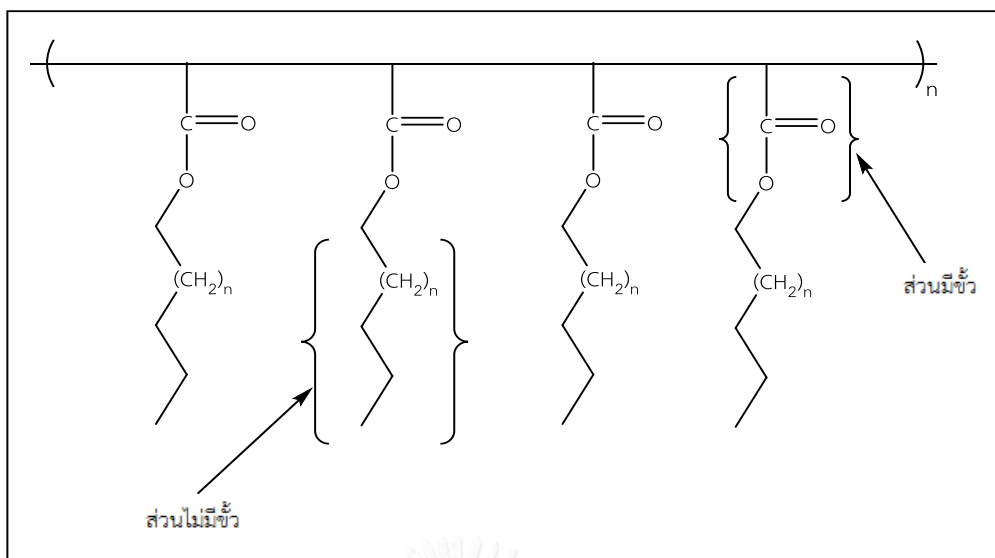
ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจะใช้เมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์โซ่ตรงสายสั้นเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการเปลี่ยนหมู่ปลายสายของไบโอดีเซล คือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แอลกอฮอล์โซ่กิ่ง แทนการใช้เมทานอล เช่น ไอโซโพรพานอล, ไอโซบิวทานอล และ 2-บิวทานอล โดยแอลกอฮอล์โซ่กิ่งจะช่วยเพิ่มความเกาะกันในสายโซ่ ทำให้ลดโอกาสในการจับตัวเป็นก้อนและแข็งตัวในไบโอดีเซล จึงทำให้มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น

2.1.5.4 การผสมไบโอดีเซลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน

ความแตกต่างของน้ำมันแต่ละชนิดในการผลิตไบโอดีเซล คือปริมาณของกรดไขมันแต่ละประเภท ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูง จะแข็งตัวได้ง่ายกว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูง สำหรับในบางประเทศนิยมผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูง เหตุเพราะมีค่าการผลิตที่ต่ำกว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูง แต่ข้อเสียคือแข็งตัวได้ง่ายกว่า ดังนั้น วิธีการผสมไบโอดีเซลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน คือการผสมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงเข้าไป เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูง แข็งตัวได้ยากขึ้น มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีขึ้น

2.1.5.5 การใช้สารเติมแต่งทางเคมี

การใช้สารเติมแต่งทางเคมี เป็นอีกทางเลือกในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล โดยการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซล จะสามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซล เนื่องจากโครงสร้างของสารเติมแต่งทางเคมีโดยทั่วไปนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่มีขั้ว จากรูป 2-3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสารเติมแต่งทางเคมี ไบโอดีเซลโดยปกติจะเริ่มแข็งตัวหรือเริ่มเกิดผลึกแว็กซ์เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงถึงจุดขุ่น แต่เมื่อมีการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงไป ส่วนที่ไม่มีขั้วในสารเติมแต่งทางเคมีจะเกิดผลึกร่วมกับแว็กซ์ ในขณะที่ส่วนที่มีขั้วนั้น จะขัดขวางการเกิดผลึกแว็กซ์ เป็นเหตุให้การสร้างโครงข่ายผลึกแว็กซ์เพื่อเกิดเป็นผลึกที่ใหญ่พอในการขัดขวางการไหลนั้น เป็นไปได้ยากขึ้น ทำให้อุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลลดลง มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีขึ้น

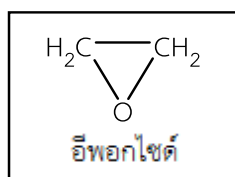


รูปที่ 2-3 โครงสร้างทั่วไปของสารเติมแต่งทางเคมี

สำหรับงานวิจัยนี้ จะปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล โดยสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี ที่สามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซลได้ดียิ่งขึ้น จากโครงสร้างโดยทั่วไปของสารเติมแต่งทางเคมีนั้น ส่วนที่ขัดขวางการเกิดผลึกแวกซ์คือส่วนที่มีขี้ แต่ส่วนที่ไม่มีขี้ยังเกิดผลึกร่วมกับแวกซ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพิจารณาส่วนที่ไม่มีขี้ที่เกิดผลึก ร่วมกับแวกซ์ โดยจะใช้หมู่ที่มีความกะกะมาแทนที่ เพื่อช่วยขัดขวางการรวมตัวกัน ทำให้การเกิดผลึก นั้นเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารเติมแต่งทางเคมี ในการลดอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซล ได้ดียิ่งขึ้น

2.1.6 อีพอกไซด์

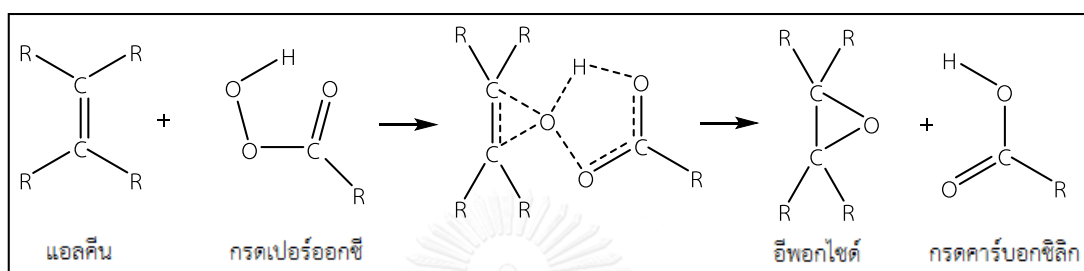
อีพอกไซด์ หรือออกซิเรน เป็นอีเทอร์ชนิดที่เป็นวงแหวน อีพอกไซด์ชนิดง่ายคือ เอทิลีน ออกไซด์ หรืออีพอกซีอีเทน ซึ่งเป็นอีเทอร์ชนิดเป็นวงแหวนสาม ประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม และอะตอมของคาร์บอน 2 อะตอม ดังรูป 2-4 อีพอกไซด์เป็นวงแหวนที่มีความเครียด จึงมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในการเตรียมสารอินทรีย์อื่น ๆ มากมาย



รูปที่ 2-4 โครงสร้างของอีพอกไซด์ชนิดวงแหวนสาม

2.1.6.1 การสังเคราะห์อีพอกไซด์

อีพอกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลคีนและกรดเปอร์ออกซี ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอีพอกไซด์และกรดคาร์บอกซิลิก ปฏิกิริยาแสดงดังรูป 2-5 สำหรับกรดเปอร์ออกซีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์อีพอกไซด์ คือ กรดเมตา-คลอโรเพอเบนโซอิก (mCPBA) [19]



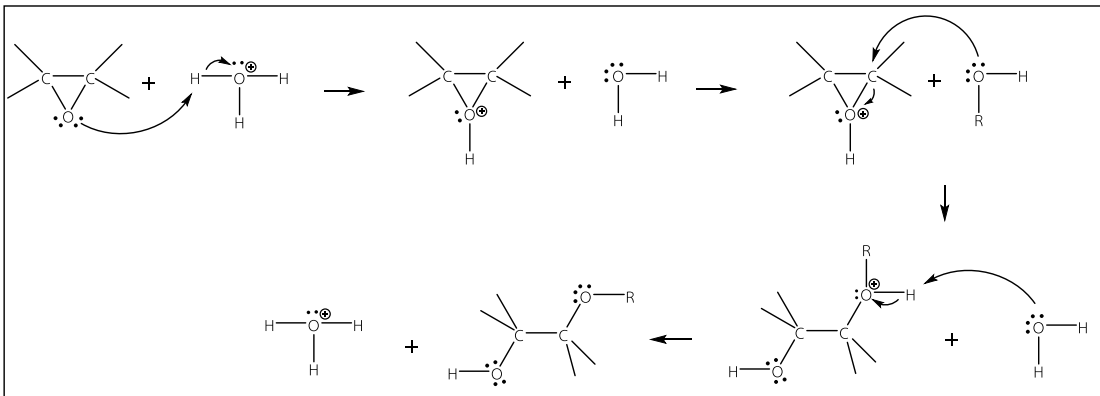
รูปที่ 2-5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีพอกไซด์

2.1.6.2 ปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์

อีพอกไซด์เป็นวงแหวนที่มีความเครียด ดังนั้นจึงมีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่าอีเทอร์ชนิดอื่น ปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์นั้นสามารถทำได้โดยใช้นิวคลีโอไฟล์กริเอนต์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [20]

2.1.6.2.1 การเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งกรด

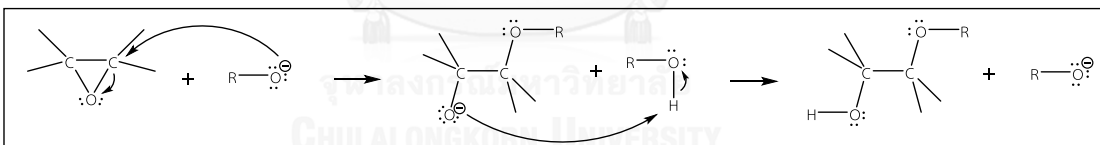
สำหรับปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น นิวคลีโอไฟล์อย่างอ่อน (weak nucleophile) เช่น น้ำ, แอลกอฮอล์ หรือ เอมีน จะเข้าชนตรงตำแหน่งคาร์บอนอะตอมใดอะตอมหนึ่งของอีพอกไซด์ ในกรณีที่วงอีพอกไซด์นั้นสมมาตร กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูป 2-6 แต่ในกรณีที่วงอีพอกไซด์ไม่สมมาตร นิวคลีโอไฟล์จะเข้าชนตรงตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่มีสิ่งกีดขวางมากที่สุด โดยปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งกรด เกิดผ่านกลไกแบบ S_N1



รูปที่ 2-6 กลไกการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งกรด

2.1.6.2.2 การเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบส

ปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบสนั้น จะใช้เบส เช่น แอลคอกไซด์ไอออน หรือ ไฮดรอกไซด์ไอออน ทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์อย่างแรง (strong nucleophile) เข้าชนตรงตำแหน่งคาร์บอนอะตอมใดอะตอมหนึ่งของอีพอกไซด์ ในกรณีที่วงอีพอกไซด์นั้นสมมาตร กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูป 2-7 แต่ในกรณีที่วงอีพอกไซด์ไม่สมมาตร นิวคลีโอไฟล์จะเข้าชนตรงตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุด โดยปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบส เกิดผ่านกลไกแบบ S_N2



รูปที่ 2-7 กลไกการเปิดวงอีพอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งเบส

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2009 Bhale และคณะ [21] ได้ศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากต้นมะขาง ซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้ในประเทศอินเดีย โดยศึกษาถึงผลของการเติมและไม่เติมสารลดจุดเริ่มไหลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากต้นมะขาง โดยใช้เอทานอลและคีโรซีนหรือน้ำมันก๊าด เติมลงในไบโอดีเซลจากต้นมะขางที่สังเคราะห์ได้เพื่อลดอุณหภูมิของจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซล ซึ่งใส่เอทานอลและคีโรซีนในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเติมสารลดจุดเริ่มไหล ซึ่งก็คือ เอทานอลและคีโรซีน ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ลงในไบโอดีเซลจะได้ผลที่ดีที่สุด โดยเติมเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ ลงในมะขางไบโอดีเซลสามารถลดจุดขุ่นได้ 10 องศาเซลเซียส และลดจุดเริ่มไหลได้ 11 องศาเซลเซียส สำหรับการเติมคีโรซีน 20 เปอร์เซ็นต์ลงในมะขางไบโอดีเซลจะสามารถลดจุดขุ่นได้ 13 องศาเซลเซียส และลดจุดเริ่มไหลได้ 15 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีการเติมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์กับดีเซล 10 เปอร์เซ็นต์ลงในไบโอดีเซล พบว่าสามารถลดจุดเริ่มไหลได้ถึง 23 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยนี้ทำให้พบว่าการเติมสารลดจุดเริ่มไหลลงในไบโอดีเซลนั้น สามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลให้ดีขึ้นได้

ในปี 2009 Smith และคณะ [4] ได้ศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการปรับปรุง โดยการนำน้ำมันคาโนลา ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับ เมทานอล, เอทานอล และ บิวทานอล จากนั้นทำการอีพอกซิไดส์และเติมหมู่แอลคอกซีโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเกิดเป็นหมู่อีเทอร์ต่อเพิ่มบนโครงสร้างหลักของน้ำมัน พบว่าในขั้นตอนการอีพอกซิไดส์ สภาวะที่เหมาะสมคือการใช้อัตราส่วนโมล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ H_2O_2 : น้ำมันไบโอดีเซล = 2:1, อัตราส่วนกรดแอซิดิก: น้ำมันไบโอดีเซล = 0.2:1, กรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และทำปฏิกิริยาที่ $60^{\circ}C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และในขั้นตอนการเติมหมู่แอลคอกซีประกอบด้วย เมทอกซี, เอทอกซีและบิวทอกซี มีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาลดลงตามความยาวของหมู่แอลคอกซีที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้พบว่า จุดขุ่นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเติมหมู่เมทอกซีและเอทอกซี มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเอสเทอร์ของเมทิลและเอทิล ตามลำดับ ในขณะที่การเติมหมู่บิวทอกซี ทำให้ค่าของจุดขุ่นลดลงเมื่อเทียบกับเอสเทอร์ของ บิวทิล คือมีค่าเปลี่ยนจาก $-3^{\circ}C$ เป็น $-4^{\circ}C$

ในปี 2010 Smith และคณะ [22] ได้ทำการสังเคราะห์บิวทิลไบโอดีเซลจากน้ำมันคาโนลา และปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันกับกรดเปอร์ออกซีแอซิดิกและปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน โดยการเติมหมู่แอลคอกซีชนิดต่างๆ เพื่อไปทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ในสายโซ่ของไบโอดีเซล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัยพบว่า การเติม

หมู้อัลลคอกซีที่มีสายโซ่ยาวหรือมีขนาดใหญ่ จะทำให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล ดีขึ้น โดยทำให้อุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลลดลงได้มากกว่าการเติมหมู้อัลลคอกซีที่มีสายโซ่สั้น

ในปี 2010 Boshui และคณะ [23] ได้ศึกษาผลของการเติมสารลดจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซล น้ำมันถั่วเหลือง เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้สารลดจุดเริ่มไหลสามชนิด ได้แก่ โอลิฟินส์-เอสเทอร์ โคพอลิเมอร์, เอทิลีน ไวนิล แอซีเตต โคพอลิเมอร์ และ พอลิเมทิล อะครีเลต เติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 0.00, 0.01, 0.03 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเปรียบเทียบชนิดของสารลดจุดเริ่มไหลทั้งสามชนิด และปริมาณที่เติมลงไป กับอุณหภูมิจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจากงานวิจัยพบว่าการเติม โอลิฟินส์-เอสเทอร์ โคพอลิเมอร์ ที่ความเข้มข้น 0.03 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิจุดเริ่มไหล ลดลงได้มากที่สุด คือ ลดจาก -1 องศาเซลเซียส ไปเป็น -9 องศาเซลเซียส

ในปี 2011 Joshi และคณะ [24] ได้ศึกษาผลของการเติม เอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล ที่ได้จากน้ำมันหรือไขมันที่มีกรดไขมันอิสระ ชนิดอิ่มตัวอยู่ในปริมาณที่สูง เพราะพบว่าน้ำมันหรือไขมันที่มีกรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง จะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ไม่ดีมากกว่า น้ำมันหรือไขมันที่มีกรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัว ในปริมาณน้อยกว่า โดยงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดฝ้าย และจากไขมัน ของสัตว์ปีก ซึ่งมีกรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง จากนั้นจึงเติม เอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 2.5, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ลงในไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ทั้งสองตัว แล้วศึกษาถึงผลของการเติม เอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอตในปริมาณต่างๆ ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล โดยวัดจากอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงไป ของไบโอดีเซล ซึ่งพบว่าการเติมเอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถปรับปรุงสมบัติการไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดฝ้าย และจากไขมันของสัตว์ปีก ได้ดีที่สุด โดยสามารถทำให้อุณหภูมิจุดขุ่น ลดลงไปได้ 4-5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจุดเริ่มไหล ลดลงไปได้ 3-4 องศาเซลเซียส ซึ่งจากงานวิจัยนี้กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณเอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต สามารถทำให้สมบัติการไหลของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ดีขึ้นได้ เพราะจุดเยือกแข็งของเอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต อยู่ที่อุณหภูมิ -79 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดขุ่นของไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดฝ้ายซึ่งอยู่ที่ 5 องศาเซลเซียส และไบโอดีเซลจากไขมันของสัตว์ปีกซึ่งอยู่ที่ 8 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้ การเติมเอทิล 4-ออกโซเพนทาโนเอต ลงในไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ จึงสามารถทำให้ของผสมของ เอทิล4-ออกโซเพนทาโนเอตกับไบโอดีเซล มีอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลลดลง กล่าวคือ มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีขึ้น

ในปี 2013 Rios และคณะ [25] ได้ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์ม โดยเปรียบเทียบผลของการเติม กลีเซอรอล คีทาล, กลีเซอรอล แอซีเตต

และกรดไขมันที่มีแอลกอฮอล์เป็นอนุพันธ์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้ ได้แก่ ไอโซโพรพานอล, 2-บิวทานอล และไอโซบิวทานอล โดยจะทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาก็จะได้เป็น ไอโซบิวทิลเอสเทอร์, ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทิลเอสเทอร์ จากนั้นนำสารทุกตัวที่สังเคราะห์ได้มาเติมในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ในปริมาณต่างๆ คือ 1, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงไป จากการเติมสารต่างชนิดที่ปริมาณต่างๆกัน จากงานวิจัยนี้พบว่า การเติม 2-บิวทิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยจะสามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลได้ 6 องศาเซลเซียส โดยการเติม 2-บิวทิลเอสเทอร์ ลงไปนั้น จะสามารถไปขัดขวางการตกผลึกของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ทำให้ลดการที่น้ำมันจะรวมตัวเป็นก้อนแข็งเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง นอกจากนี้ งานวิจัยนี้กล่าวว่า จากการสำรวจนั้นพบว่า โครงสร้างของตัวเติมนั้น มีผลกับการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ โดยตัวเติมที่มีความเกาะกันในสายโซ่นั้น จะให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดี

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีและวัตถุดิบ

รายการสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ แสดงดังตารางที่ 3-1 น้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี คือ น้ำมันดอกทานตะวันยี่ห้ออมรगत ไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้จากบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

ตารางที่ 3-1 รายการสารเคมี

สารเคมี	เกรด	บริษัท
1-โพรพานอล	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
2-โพรพานอล (ไอโซโพรพานอล)	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
1-บิวทานอล	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
2-บิวทานอล	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
1-เฮกซานอล	เกรดวิเคราะห์	Merck
1-ออกทานอล	เกรดวิเคราะห์	Merck
น้ำ DI		
กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	เกรดวิเคราะห์	Merck
กรดแอสติติก	เกรดวิเคราะห์	Merck
คลอโรฟอร์มดี	เกรดเอ็นเอ็มอาร์	Merck
เฮกเซน	เกรดวิเคราะห์	Merck
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	เกรดวิเคราะห์	Merck
โซเดียมไฮดรอกไซด์	เกรดวิเคราะห์	Merck
โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
โซเดียมซัลเฟต	เกรดวิเคราะห์	Merck
โซเดียมแอสซิเตด	เกรดวิเคราะห์	Merck
โซเดียมคลอไรด์	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba
แคลเซียมคลอไรด์	เกรดวิเคราะห์	Thai pure science

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ จุดขุ่น (cloud point) และจุดเริ่มไหล (pour point) กำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 2500 และ ASTM D 97
2. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน Buchi Rotary evaporator model R-200
3. เครื่องวัดความหนืด Cannon viscometer model CAV-3
4. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ Varian NMR Spectrometer model Mercury 400MHz

3.3 สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี

3.1.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

3.1.1.1 สังเคราะห์ ไอโซโพรพิลเอสเทอร์

สังเคราะห์ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ผ่านปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยทำปฏิกริยาระหว่าง น้ำมันดอกทานตะวันกับไอโซโพรพานอล และใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ขั้นตอนการสังเคราะห์เริ่มจาก นำน้ำมันดอกทานตะวันและไอโซโพรพานอล ใส่ลงในขวดก้นกลม ในอัตราส่วน 1:20 โดยโมล ใส่กรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ในปริมาณ 2% ของน้ำหนักน้ำมันดอกทานตะวัน จากนั้นนำของผสมไปตั้งรีฟลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา และของผสมเย็นลง จึงนำของผสมใส่ในกรวยแยก ใส่เฮกเซนเพื่อช่วยในการแยก ล้างของผสมด้วยน้ำ DI และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมล/ลิตร จนกระทั่งใส จึงไขออกมา และดูตุน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟต จากนั้นนำไปเข้าเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนเพื่อระเหยเฮกเซนออก พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$, หาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ และผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์

3.1.2 ปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน

3.1.2.1 สังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก

สังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิกโดยทำปฏิกริยาระหว่าง กรดแอซิดิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยกำหนดอัตราส่วนโดยปริมาตรที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3-2 ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ขั้นตอนการสังเคราะห์คือ ใส่กรดแอซิดิกและไฮโดรเจน

เปอร์ออกไซด์แต่ละอัตราส่วน ลงในขวดก้นกลม ใส่กรดซัลฟิวริกในปริมาณ 1.5% ของปริมาตรของผสม เพื่อเร่งปฏิกิริยา จากนั้นใช้การคนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำโซเดียมแอสซิเตดใส่ลงในของผสม เพื่อเปลี่ยนกรดซัลฟิวริกเป็นกรดแอสติติกกับโซเดียมซัลเฟต

ขั้นตอนต่อมาหลังจากได้กรดเปอร์ออกซีแอสติติกในแต่ละอัตราส่วน ดังตารางที่ 3-2 คือการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยในขั้นตอนนี้เป็นการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยการใส่ไอโซโพรพิลเอสเทอร์และกรดเปอร์ออกซีแอสติติก ลงในขวดก้นกลม ในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร จากนั้นใช้การคนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำของผสมที่ได้ใส่ในกรวยแยก รอให้แยกชั้น จากนั้นไซ้ชั้นล่างทิ้ง เติมเฮกเซนลงในกรวยแยก ล้างด้วยสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตอิ่มตัว และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว จนกระทั่งใส จึงนำออกมาแล้วดูหน้าด้วยโซเดียมซัลเฟต จากนั้นนำไปเข้าเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนเพื่อระเหยเฮกเซนออก พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนโดยปริมาตรของกรดแอสติติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กรดแอสติติก	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
3	1
2	1
1	1
1	2
1	3
1	4

3.1.2.2 การสังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ในการสังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จะใช้ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ออกซีแอสติติก ที่สังเคราะห์ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการทำปฏิกิริยาจะกำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตร ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อกรดเปอร์ออกซีแอสติติก ที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3-3 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนการสังเคราะห์เริ่มจาก ใส่ไอโซโพรพิลเอสเทอร์และกรดเปอร์ออกซีแอสติกลงในขวดก้นกลมตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นใช้การคนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำของผสมที่ได้ใส่ในกรวยแยก รอให้แยกชั้น จากนั้นไซ้ชั้นล่างทิ้ง เติมเฮกเซนลงในกรวยแยก ล้างด้วยสารละลาย

โซเดียมไบคาร์บอเนตอิ่มตัวและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว จนกระทั่งใส จึงนำออกมา แล้วคูดน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟต จากนั้นนำไปเข้าเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนเพื่อระเหยเฮกเซนออก พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

ตารางที่ 3-3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์และกรดเปอร์ออกซีแอซิติก

ไอโซโพรพิลเอสเทอร์	กรดเปอร์ออกซีแอซิติก
1	3
1	5
1	7
1	9

3.1.3 ปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน

ปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน เป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน คือ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ มาทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆกัน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการทำปฏิกริยาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้น จะใช้ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ทำปฏิกริยากับ 1-โพรพานอล ที่อัตราส่วนโดยโมล ดังตารางที่ 3-4 และใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกริยา ขั้นตอนการทำปฏิกริยา เริ่มจากใส่อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 1-โพรพานอล ลงในขวดก้นกลม ตามอัตราส่วนที่กำหนด ใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้นในปริมาณ 2.5% ของน้ำหนัก อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากนั้นคนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา และของผสมเย็นลง จึงนำของผสมใส่ในกรวยแยก ใส่เฮกเซนเพื่อช่วยในการแยก ล้างด้วยน้ำDI, สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตอิ่มตัว และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว จนกระทั่งใส จึงนำออกมา แล้วคูดน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟต จากนั้นนำไปเข้าเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนเพื่อระเหยเฮกเซนออก พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

ตารางที่ 3-4 อัตราส่วนโดยโมลของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 1-โพรพานอล

อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	1-โพรพานอล
1	1
1	3
1	5
1	7

3.1.3.1 สังเคราะห์ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ คือ ใส่อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 1-โพรพานอล ลงในขวดก้นกลม ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ใส่กรดซัลฟิวริก เข้มข้นในปริมาณ 2.5% ของน้ำหนัก อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากนั้นคนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา และของผสมเย็นลง จึงนำของผสมใส่ในกรวยแยก ใส่เฮกเซน เพื่อช่วยในการแยก ล้างด้วยน้ำ DI, สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตอิ่มตัว และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว จนกระทั่งใส จึงนำออกมา แล้วดูด้วยโซเดียมซัลเฟต จากนั้นนำไปเข้าเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนเพื่อระเหยเฮกเซนออก พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

3.1.3.2 สังเคราะห์ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.1.3.1 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 2-โพรพานอล และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

3.1.3.3 สังเคราะห์ 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.1.3.1 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 1-บิวทานอล และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

3.1.3.4 สังเคราะห์ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.1.3.1 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 2-บิวทานอล และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 7 ชั่วโมง

3.1.3.5 สังเคราะห์ 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.1.3.1 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 1-เฮกซานอล และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง

3.1.3.6 สังเคราะห์ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ขั้นตอนการสังเคราะห์ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.1.3.1 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 1-ออกทานอล และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง

3.4 ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ขั้นตอนต่อมาหลังจากได้สารเติมแต่งทางเคมี คือการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ในขั้นตอนนี้จะนำสารเติมแต่งทางเคมีมาเติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่ความเข้มข้น 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม จากนั้นจึงวัดอุณหภูมิจุดขุ่น และ จุดเริ่มไหล ตามมาตรฐาน ASTM D 2500 และ ASTM D 97 เพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม จากการเติมสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละชนิด

3.5 วัดความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อผสมสารเติมแต่งทางเคมี

เลือกความเข้มข้นที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลได้มากที่สุด ของสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละตัว นำมาวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 445 สมการคำนวณค่าความหนืด แสดงดังนี้

$$\text{Viscosity} = Ct$$

Viscosity = ความหนืด (เซนติสโตกส์ หรือ cSt)

C = ค่าคงที่ของหลอดวัดความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาทีกำลังสอง หรือ mm^2/s^2)

t = เวลาในการเคลื่อนที่ของของผสมในหลอดวัดความหนืดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดที่กำหนด (วินาที หรือ s)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

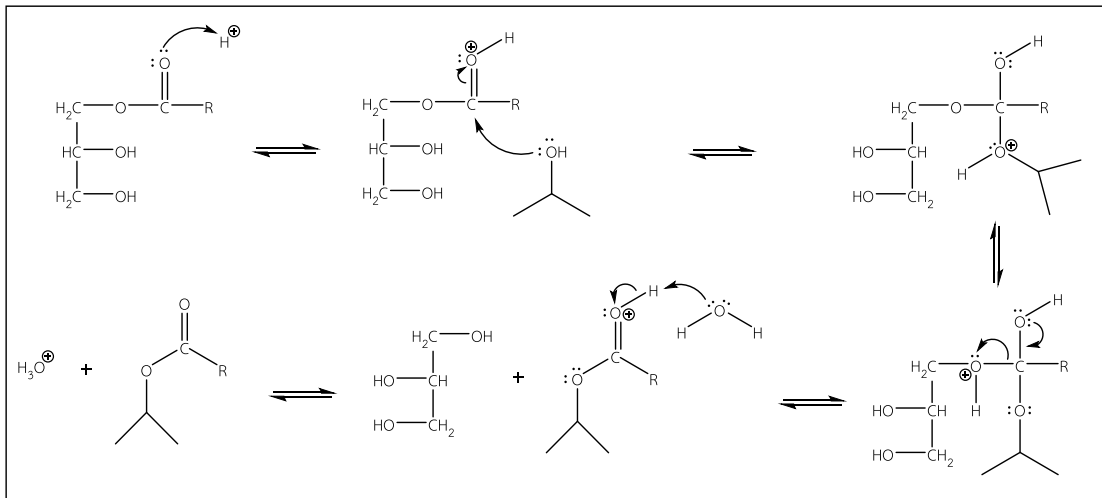
4.1 สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี

สารเติมแต่งทางเคมีในรูปของ แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ สามารถสังเคราะห์ โดยผ่านปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, อีพอกซิเดชัน และแอลคอกซิเลชัน ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

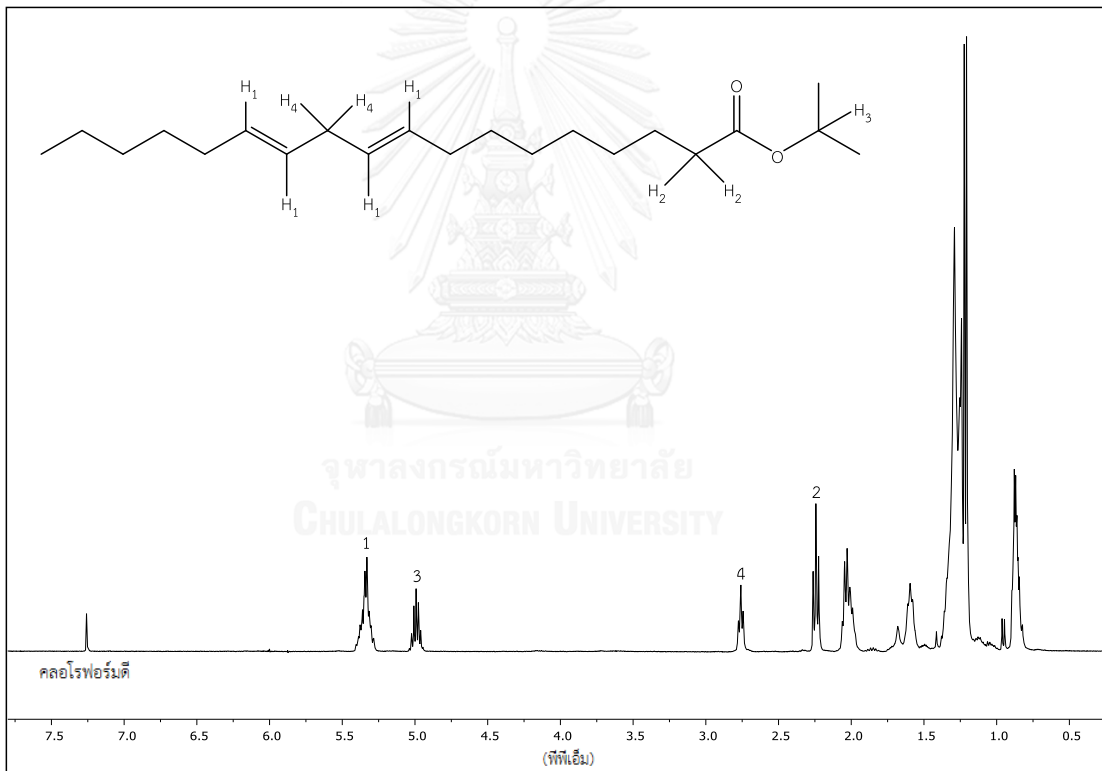
4.1.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

4.1.1.1 สังเคราะห์ไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี โดยเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันดอกทานตะวันกับไอโซโพรพานอล และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกการเกิดปฏิกิริยา สำหรับโมโนกลีเซอไรด์แสดงดังรูป 4-1 เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุด จึงใส่เฮกเซน เพื่อช่วยในการแยก จากนั้นล้างด้วยน้ำ DI และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมล/ลิตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 81% และมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น ไปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ 98% พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ แสดงดังรูป 4-2 จากสเปกตรัมที่ได้ แสดงพีคของ $\text{HC}=\text{CH}$ ที่ตำแหน่ง 5.38 พีพีเอ็ม พีคของ $\text{H}_2\text{CC}=\text{O}$ ที่ตำแหน่ง 2.32 พีพีเอ็ม และพีคของ $\text{O}-\text{CH}$ ที่ตำแหน่ง 4.93-5.03 พีพีเอ็ม



รูปที่ 4-1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

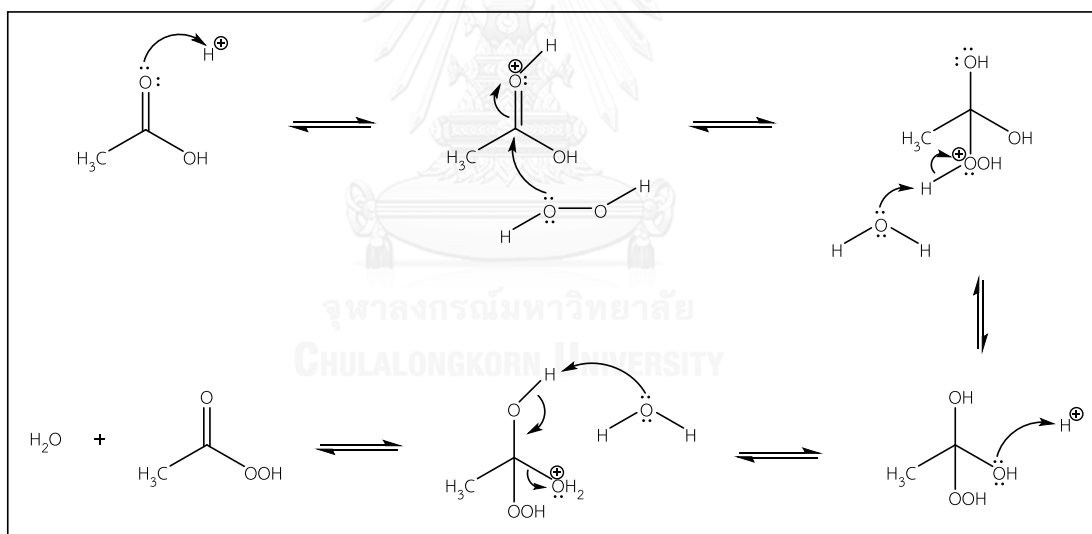


รูปที่ 4-2 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์

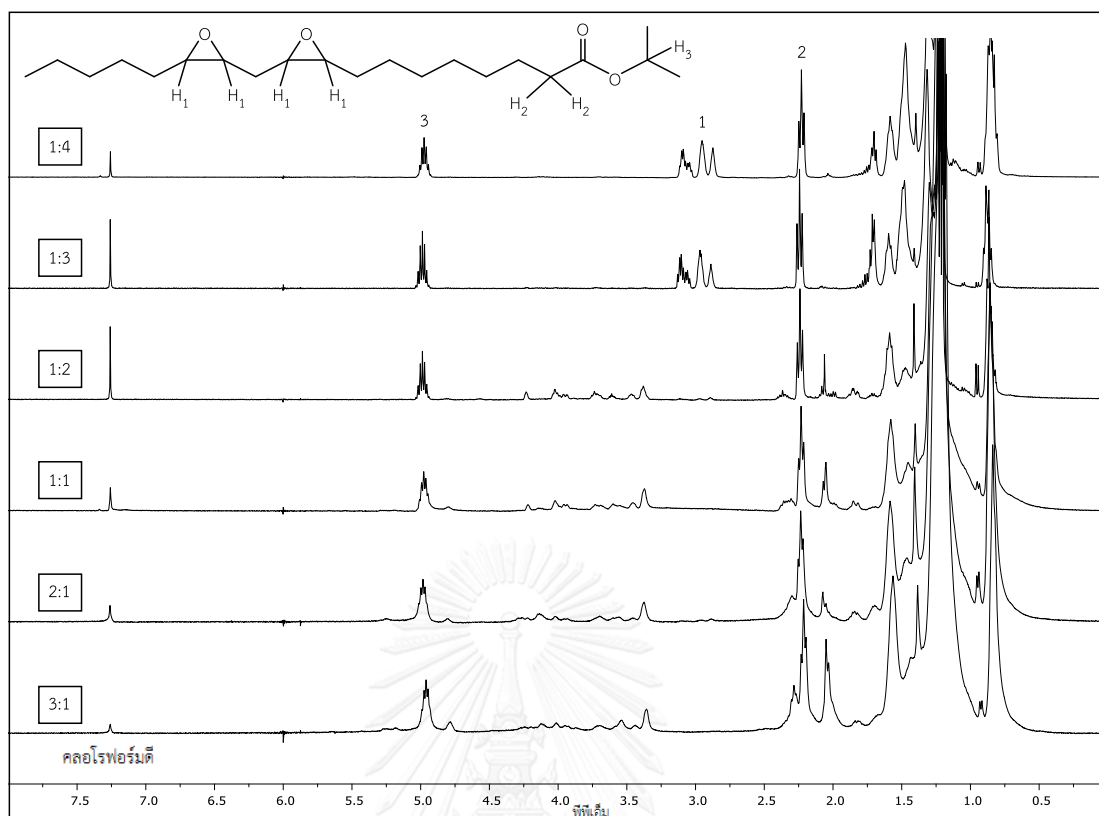
4.1.2 ปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน

4.1.2.1 สังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติก

กรดเปอร์ออกซีแอซิติก สังเคราะห์ได้จากปฏิกริยาระหว่าง กรดแอซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกริยา กลไกการเกิดปฏิกริยา แสดงดังรูป 4-3 สำหรับการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติก เพื่อนำไปสังเคราะห์ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อนั้น จะนำกรดเปอร์ออกซีแอซิติกที่ได้ จากแต่ละอัตราส่วน ดังตารางที่ 3-2 มาทำปฏิกริยาอีพอกซิเดชันกับไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรคือ 1:10 (ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิติก) เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ จึงนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ รูปที่ 4-4 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ ผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน ในแต่ละอัตราส่วนโดยปริมาตรของกรดแอซิติกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

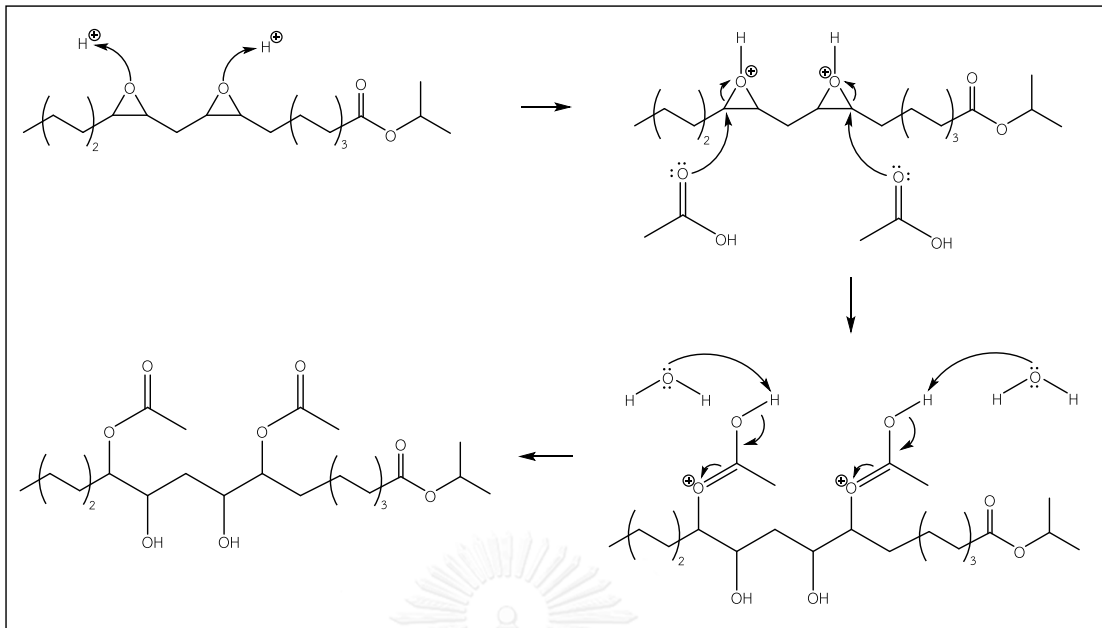


รูปที่ 4-3 กลไกการสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติก



รูปที่ 4-4 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ในแต่ละอัตราส่วนโดยปริมาตรของกรดแอซิดิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จาก $^1\text{H-NMR}$ ที่ได้ (รูปที่ 4-4) แสดงพีคของ $\text{H}_2\text{CC}=\text{O}$ ที่ตำแหน่ง 2.32 พีพีเอ็ม และพีคของ O-CH ที่ตำแหน่ง 4.93-5.03 พีพีเอ็ม ในทุกอัตราส่วน แต่สำหรับพีคของ HC-O-CH ซึ่งเป็นโปรตอนที่ติดกับวงอีพอกไซด์ ที่เกิดขึ้นตำแหน่ง 2.97 พีพีเอ็มนั้น ปรากฏให้เห็นในอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 (กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) เท่านั้น สำหรับอัตราส่วนอื่น เกิดพีคของโปรตอนที่ติดกับหมู่ไฮดรอกซิล (HC-OH) ที่ตำแหน่ง 3.38-3.97 พีพีเอ็ม และพีคของโปรตอนที่ติดกับหมู่ อะเซทอกซี (HC-O-C(=O)CH_3) ที่ตำแหน่ง 3.40-4.27 ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลกับอะเซทอกซีนั้นเกิดจากการแตกของวงอีพอกไซด์ แสดงให้เห็นว่า การสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิกโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในอัตราส่วนน้อยนั้น ทำให้มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอในการเข้าทำปฏิกิริยาการฟอร์มตัวของกรดเปอร์ออกซีแอซิดิกจึงเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดจึงทำให้เหลือกรดแอซิดิก ซึ่งสามารถเข้าชนอะตอมของคาร์บอนตรงวงอีพอกไซด์ทำให้วงแตก เกิดหมู่ไฮดรอกซิลและอะเซทอกซี ดังรูป 4-5

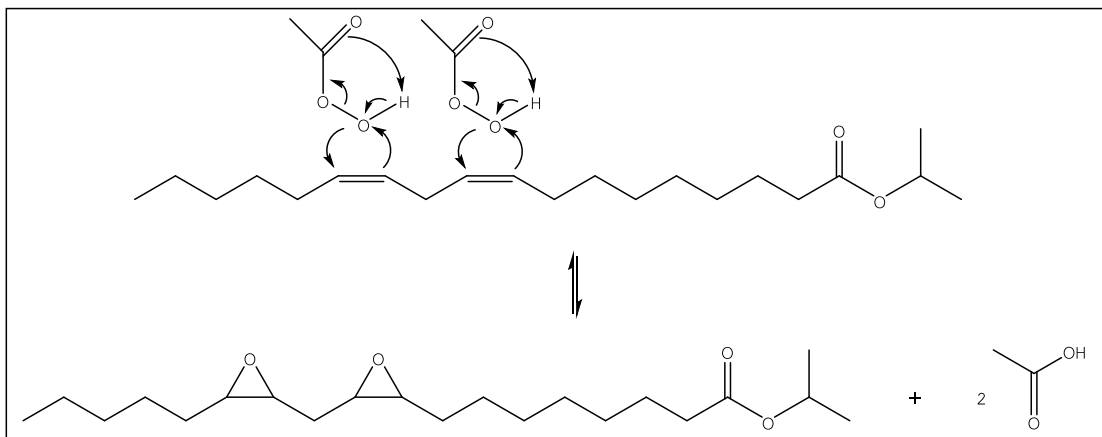


รูปที่ 4-5 กลไกการแตกของวงอีพอกไซด์เนื่องจากกรดแอซิติค

ดังนั้น อัตราส่วนที่สามารถใช้ในการสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิติคโดยไม่ทำให้เกิดการแตกของวงอีพอกไซด์ คือ 1:3 และ 1:4 (กรดแอซิติค: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) จึงเลือกอัตราส่วน 1:3 ในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเพื่อสังเคราะห์ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ในขั้นต่อไป

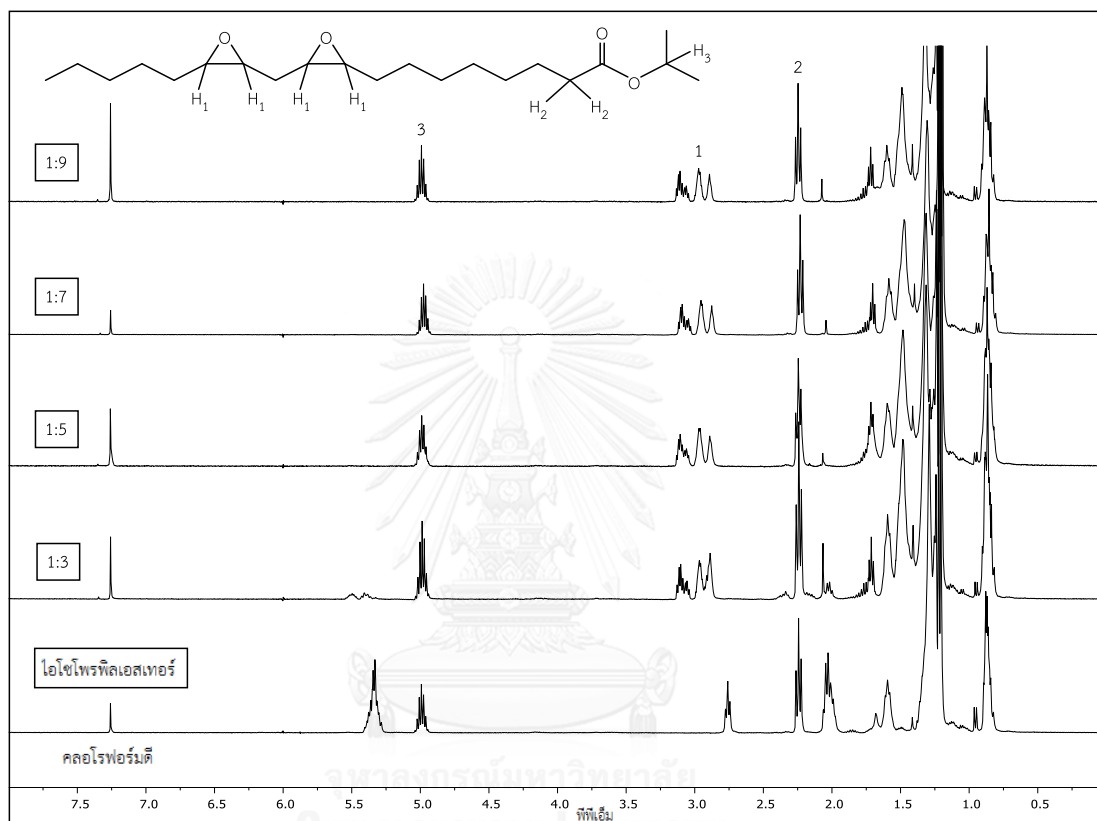
4.1.2.2 สังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ระหว่างไอโซโพรพิลเอสเทอร์กับกรดเปอร์ออกซีแอซิติค โดยเป็นการทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ในสายโซ่ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ เพื่อให้เกิดวงอีพอกไซด์ กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูป 4-6



รูปที่ 4-6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

ในการสังเคราะห์นั้นจะกำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อกรดเปอร์ออกซีแอซิดิก ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3-3 เพื่อหาอัตราส่วนในการสังเคราะห์อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ที่เหมาะสมที่สุด รูปที่ 4-7 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในแต่ละอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อกรดเปอร์ออกซีแอซิดิก

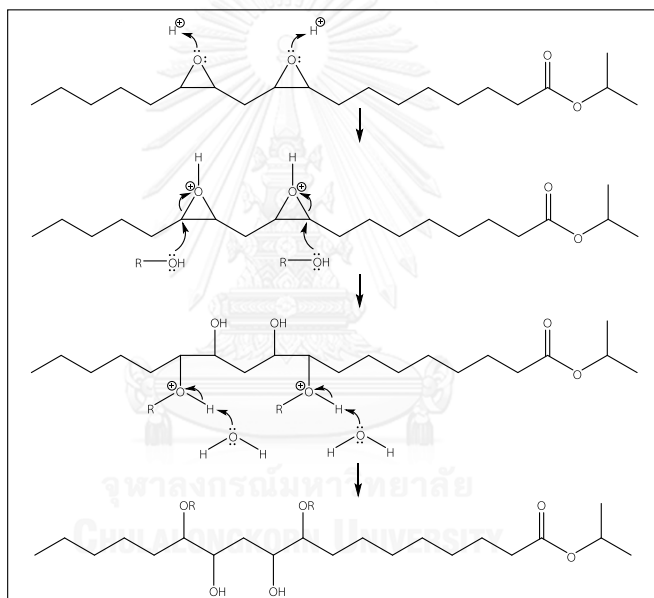


รูปที่ 4-7 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในแต่ละอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ต่อกรดเปอร์ออกซีแอซิดิก

จาก $^1\text{H-NMR}$ ที่ได้ แสดงพีคของ $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ ที่ตำแหน่ง 2.32 พีพีเอ็ม พีคของ O-CH ที่ตำแหน่ง 4.93-5.03 พีพีเอ็ม และพีคของโปรตอนที่อยู่ติดกับวงอีพอกไซด์ (HC-O-CH) ที่ตำแหน่ง 2.97 พีพีเอ็ม ในทุกอัตราส่วน แต่สำหรับอัตราส่วน 1:3 นั้น เหลือพีคของ $\text{HC}=\text{CH}$ ที่ตำแหน่ง 5.38 พีพีเอ็ม แสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิดิกในอัตราส่วนน้อยนั้น สามารถเกิดวงอีพอกไซด์ได้บางส่วนแต่ยังเหลือพันธะคู่ในสายโซ่ แสดงว่าปฏิกิริยายังเกิดไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกรดเปอร์ออกซีแอซิดิกจะเห็นว่าไม่เหลือพีคของพันธะคู่ แสดงถึงการเกิดวงอีพอกไซด์ตรงตำแหน่งพันธะคู่ในสายโซ่ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ คือ 1:5 (ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 83%

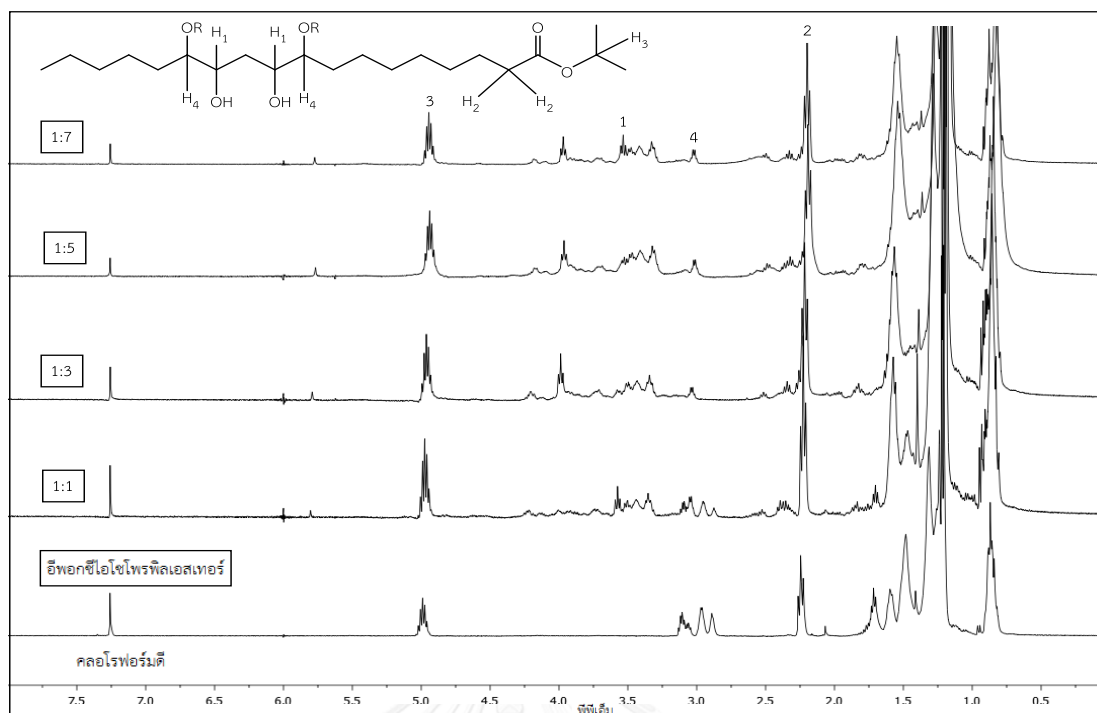
4.1.3 ปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน

ปฏิกริยาแอลคอกซิเลชันเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี โดยเป็นการนำ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ มาทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก เป็นตัวเร่งปฏิกริยา กลไกการเกิดปฏิกริยา*แสดงดังรูปที่ 4-8 ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คือแอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ สำหรับการหาอัตราส่วนในการทำปฏิกริยาแอลคอกซิเลชันที่เหมาะสมที่สุดนั้น จะใช้ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ทำปฏิกริยากับ 1-โพรพานอล ในอัตราส่วนโดยโมลที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3-4 จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละอัตราส่วนด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ รูปที่ 4-9 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาแอลคอกซิเลชันในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ต่อ 1-โพรพานอล



รูปที่ 4-8 กลไกการเกิดปฏิกริยาแอลคอกซิเลชัน

* กลไกการเกิดปฏิกริยาแอลคอกซิเลชันด้านบนนั้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เพียงแบบเดียว แต่ในการทำปฏิกริยาจริงจะมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเข้าชนของแอลกอฮอล์ตรงคาร์บอนอะตอมอีกด้านของวงอีพอกไซด์รวมอยู่ด้วย



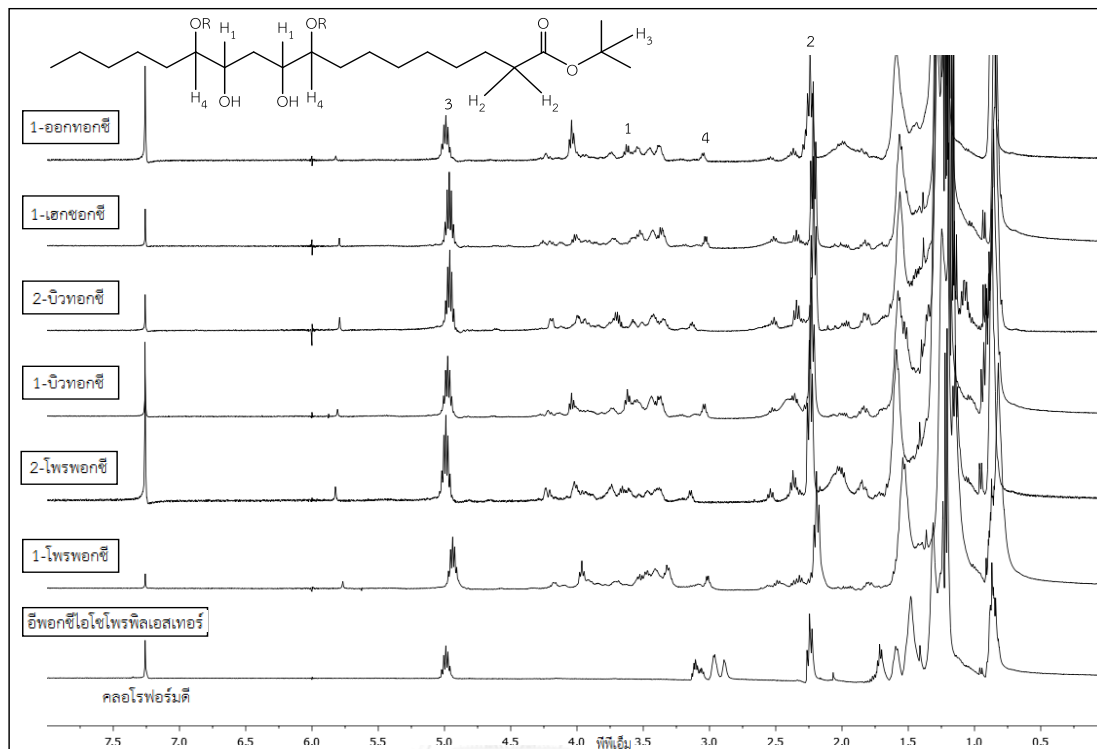
รูปที่ 4-9 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแอลคอกซิลเลชันในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ต่อ 1-โพรพานอล (-OR คือหมู่โพรพอกซี; $-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$)

จาก $^1\text{H-NMR}$ อัตราส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาแอลคอกซิลเลชันได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ปรากฏอีพอกไซด์หลงเหลืออยู่ในสายโซ่นั้น คืออัตราส่วน 1:3, 1:5 และ 1:7 โดยทั้งสามอัตราส่วน แสดงพิกของโปรตอนที่ติดกับหมู่แอลคอกซี (HC-OR) ที่ตำแหน่ง 3.10 พีพีเอ็ม และไม่หลงเหลือพิกที่ตำแหน่ง 2.97 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นพิกของโปรตอนที่ติดกับวงอีพอกไซด์ (HC-O-CH) ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:5 (อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: แอลกอฮอล์) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาแอลคอกซิลเลชัน

4.1.3.1 สังเคราะห์แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

ในการสังเคราะห์แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จะใช้ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆกัน ได้แก่ 1-โพรพานอล, 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล, 2-บิวทานอล, 1-เฮกซานอล และ 1-ออกทานอล โดยในการสังเคราะห์ จะใช้อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาแอลคอกซิลเลชันที่กล่าวข้างต้น คือ 1:5 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับเวลาในการทำปฏิกิริยากับชนิดของแอลกอฮอล์ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ 1-โพรพอกซี, 2-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 2-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี

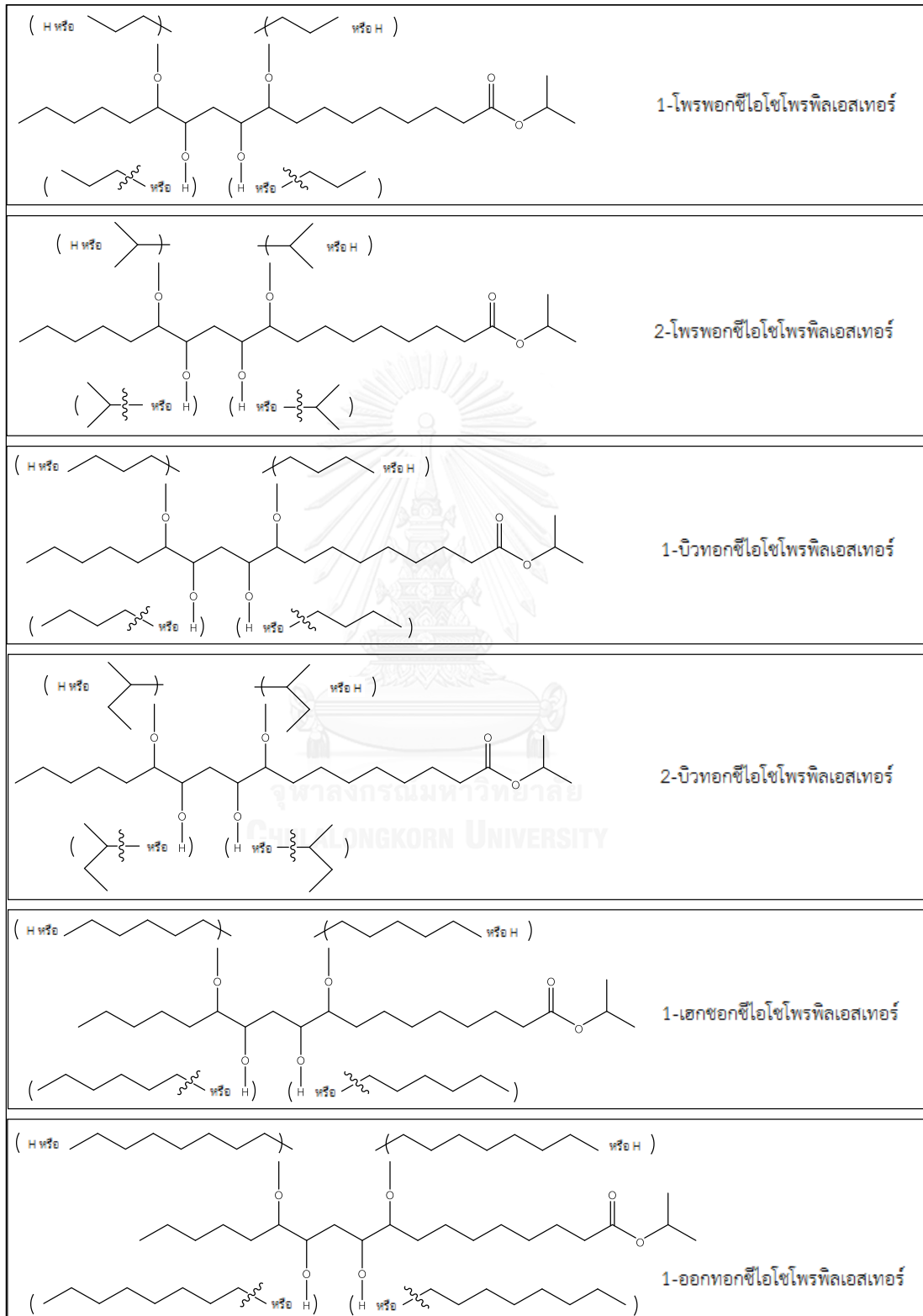
และ 1-ออกทอกซี ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งมีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 50%, 58%, 37%, 40%, 29% และ 18% ตามลำดับ รูปที่ 4-10 แสดง $^1\text{H-NMR}$ ของแอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์



รูปที่ 4-10 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของแอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (-OR คือหมู่แอลคอกซี)

จาก $^1\text{H-NMR}$ ของ 1-โพรพอกซี, 2-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 2-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี และ 1-ออกทอกซี ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ แสดงพีคของโปรตอนที่ติดกับหมู่แอลคอกซี (HC-OR) ที่ตำแหน่ง 3.10 พีพีเอ็ม พีคของโปรตอนในสายโซ่ของหมู่แอลคอกซี และโปรตอนที่ติดกับหมู่ไฮดรอกซี ที่ตำแหน่ง 3.14-4.21 พีพีเอ็ม โดยทุกผลิตภัณฑ์ ไม่หลงเหลือพีคของโปรตอนที่ติดกับวงอีพอกไซด์ (HC-O-CH) ที่ตำแหน่ง 2.97 พีพีเอ็ม แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาแอลคอกซีเลชัน ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจากขั้นตอนข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด เริ่มจากการสังเคราะห์โดยผ่านปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน, อีพอกซิเดชัน และแอลคอกซีเลชัน ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ทำให้ได้สารเติมแต่งทางเคมีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4-11 จากนั้นจึงนำสารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ได้แต่ละชนิดมาเติมลงในไปโอดีเซล

จากน้ำมันปาล์ม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในขั้นต่อไป



รูปที่ 4-11 โครงสร้างของสารเติมแต่งทางเคมี (แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์)

4.2 ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยนำสารเติมแต่งทางเคมีที่สังเคราะห์ได้แต่ละชนิด เติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้น 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม จากนั้นวัดอุณหภูมิจุดขุ่น (Cloud point: CP) และจุดเริ่มไหล (Pour point: PP) ในของผสมแต่ละชนิด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม จากการเติมสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละชนิด ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการวัดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล ในของผสมที่ได้จากการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในความเข้มข้นต่างๆแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อผสมสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ

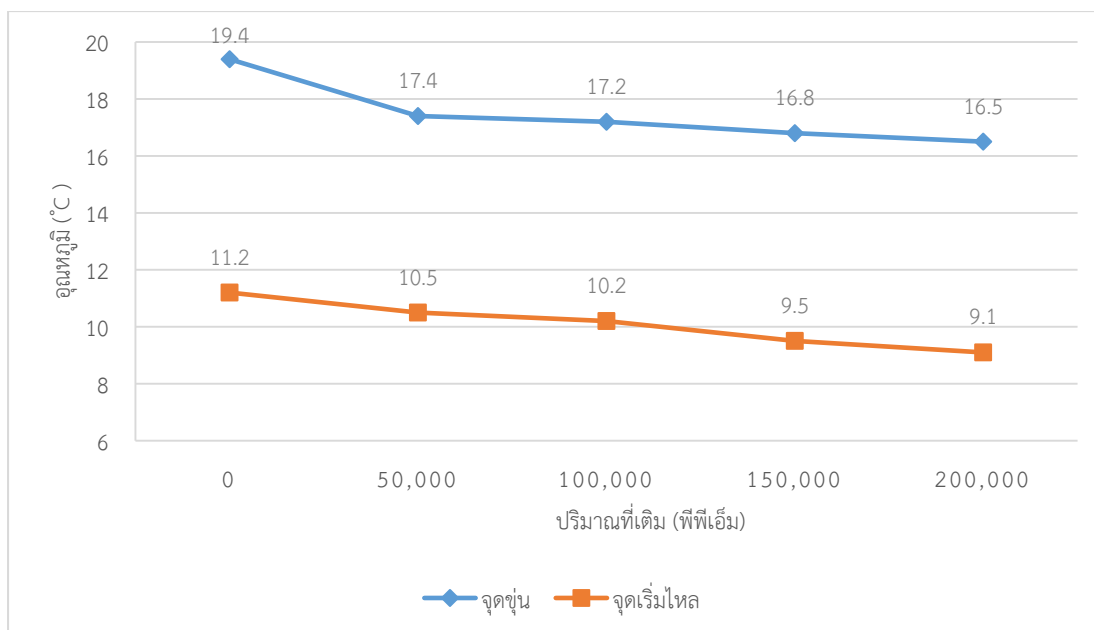
สิ่งที่นำมาวัด	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	จุดขุ่น (°C)	จุดเริ่มไหล (°C)
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	0	19.4	11.2
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-โพรพอกซี	50,000	17.4	10.5
	100,000	17.2	10.2
	150,000	16.8	9.5
	200,000	16.5	9.1
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 2-โพรพอกซี	50,000	17.0	10.0
	100,000	16.7	9.5
	150,000	16.2	8.8
	200,000	16.0	8.3
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-บิวทอกซี	50,000	16.8	9.6
	100,000	16.5	9.2
	150,000	15.8	8.4
	200,000	15.6	8.1
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 2-บิวทอกซี	50,000	15.8	9.1
	100,000	15.5	8.8
	150,000	14.7	8.0
	200,000	14.4	7.5

ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-เฮกซอกซี	50,000	15.5	8.9
	100,000	15.1	8.6
	150,000	14.5	7.8
	200,000	14.2	7.4
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-ออกทอกซี	50,000	14.7	8.0
	100,000	14.4	7.7
	150,000	13.8	7.2
	200,000	13.5	7.0

4.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

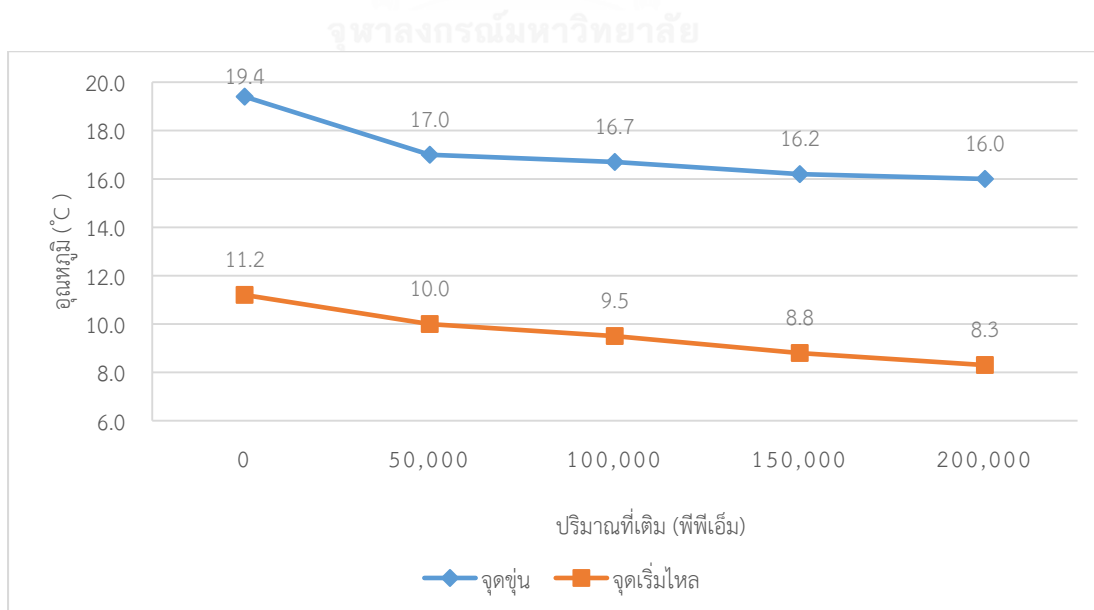
4.2.1.1 ปริมาณในการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

นำสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละชนิดเติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ในปริมาณต่างๆคือ 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม เพื่อเปรียบเทียบผลในด้านปริมาณการเติมสารเติมแต่งทางเคมีต่อประสิทธิภาพการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยวัดจากอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลในของผสมแต่ละความเข้มข้น รูปที่ 4-12 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 17.4, 17.2, 16.8, 16.5 และ 11.2, 10.5, 10.2, 9.5, 9.1 องศาเซลเซียสตามลำดับ



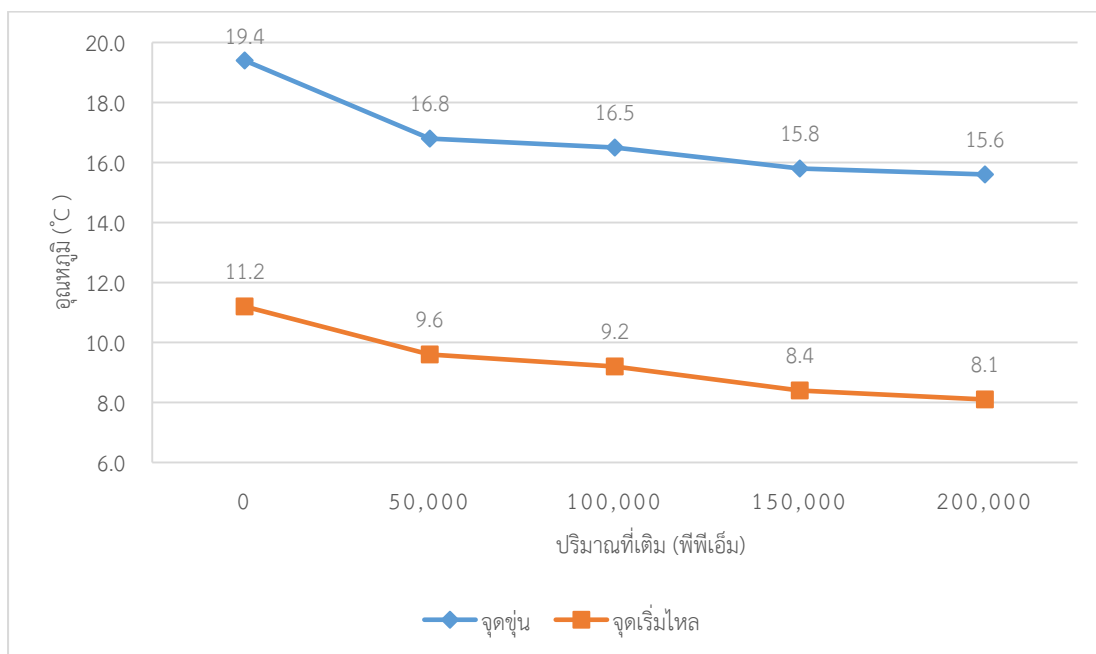
รูปที่ 4-12 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4-13 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 17.0, 16.7, 16.2 และ 16.0 และ 11.2, 10.0, 9.5, 8.8, 8.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



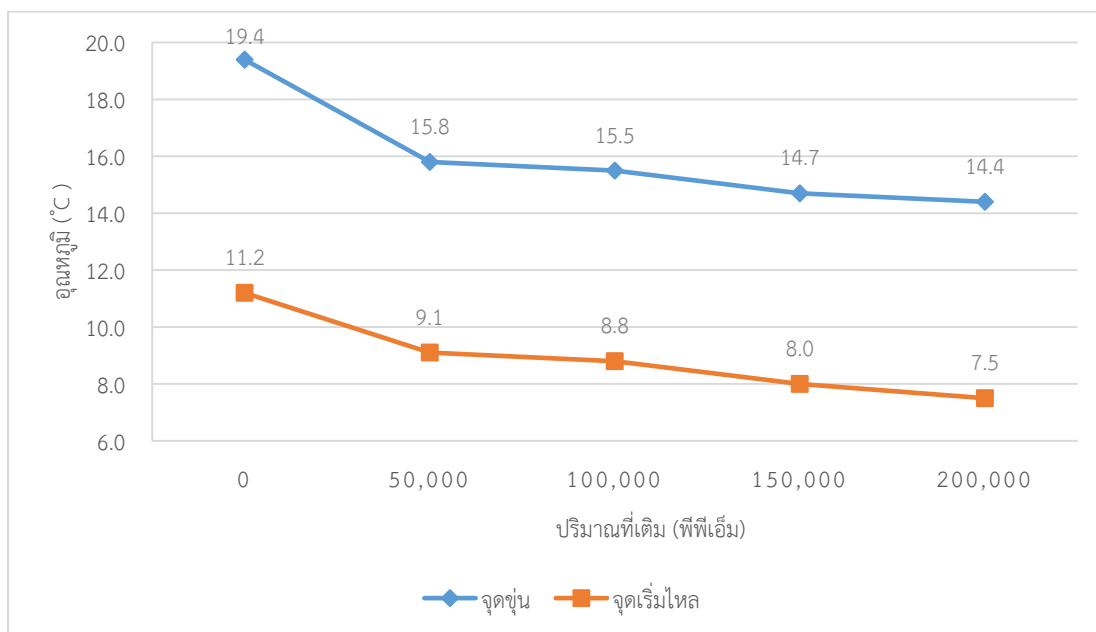
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4-14 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 16.8, 16.5, 15.8, 15.6 และ 11.2, 9.6, 9.2, 8.4, 8.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



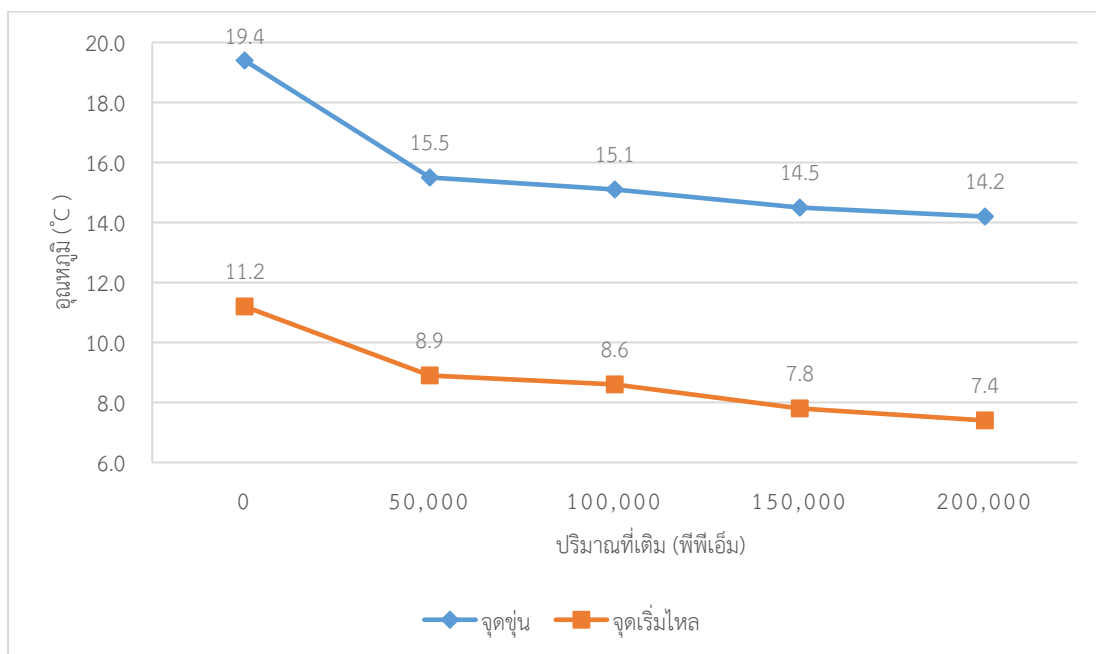
รูปที่ 4-14 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4-15 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 15.8, 15.5, 14.7, 14.4 และ 11.2, 9.1, 8.8, 8.0, 7.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



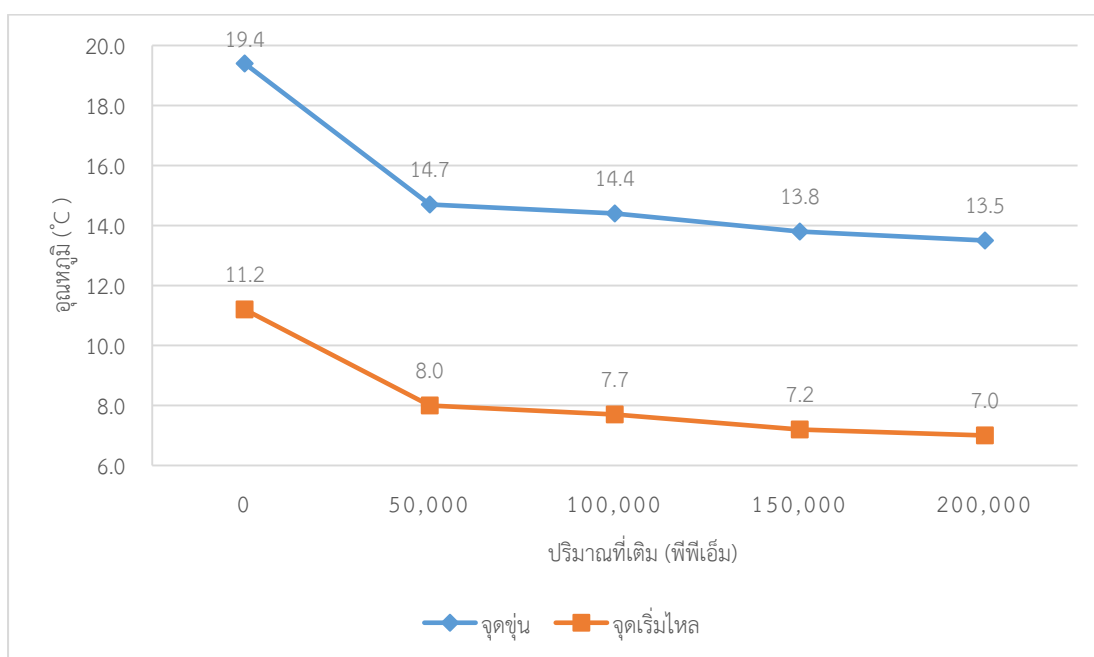
รูปที่ 4-15 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4-16 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 15.5, 15.1, 14.5, 14.2 และ 11.2, 8.9, 8.6, 7.8, 7.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4-16 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4-17 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 0, 50,000, 100,000, 150,000 และ 200,000 พีพีเอ็ม โดยอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลที่เปลี่ยนแปลงคือ 19.4, 14.7, 14.4, 13.8, 13.5 และ 11.2, 8.0, 7.7, 7.2, 7.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4-17 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

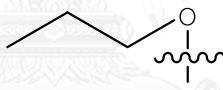
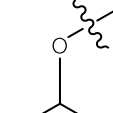
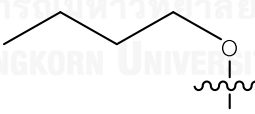
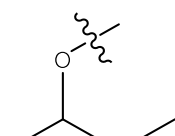
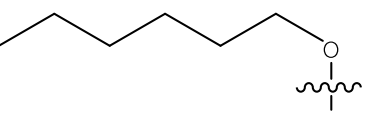
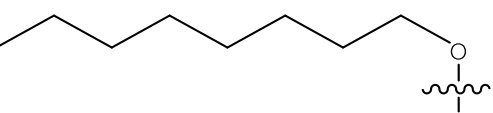
จากกราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของแต่ละความเข้มข้นในของผสมแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้จุดขุ่นและจุดเริ่มไหลนั้นลดลง โดยจะลดลงอย่างชัดเจนในช่วงความเข้มข้น 0-50,000 พีพีเอ็ม จากนั้นจึงค่อยๆ ลดในช่วงความเข้มข้น 50,000-100,000 พีพีเอ็ม และเริ่มลดมากขึ้นที่ความเข้มข้น 150,000 พีพีเอ็ม จากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 200,000 พีพีเอ็ม การลดลงของอุณหภูมิจึงเริ่มน้อยลง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณในการเติมสารเติมแต่งทางเคมีลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล แต่ประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลนั้น ไม่ได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการเติมสารเติมแต่งทางเคมี เพราะเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้มีโอกาสในการรวมตัวกันเอง ทำให้เกิดเป็นผลึกขัดขวางการไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง สังเกตได้จากที่ความเข้มข้น 200,000 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำให้อุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของ

ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มชนิดที่ต่ำที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล จะเริ่มลดน้อยลง

4.2.1.2 ลักษณะที่แตกต่างกันของหมู่แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี

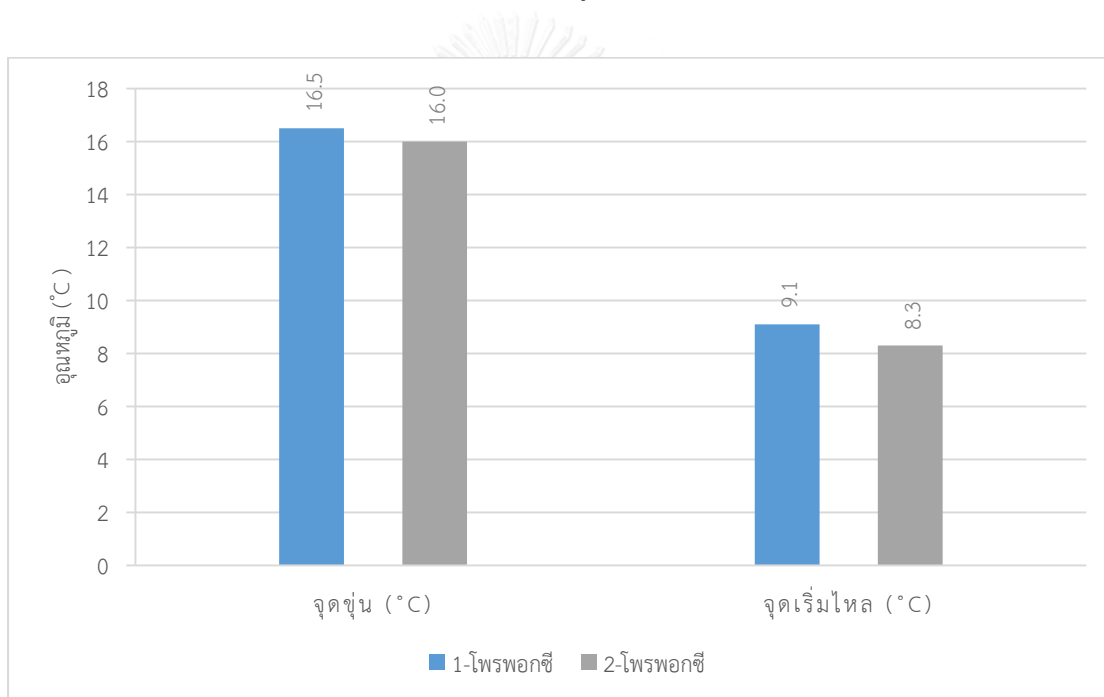
ปัจจัยในเรื่องลักษณะที่แตกต่างกันของหมู่แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี ที่จะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม คือความแตกต่างในด้านของโครงสร้าง และความแตกต่างในด้านจำนวนคาร์บอน ของหมู่แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี ตารางที่ 4-2 แสดงโครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของหมู่ แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี

ตารางที่ 4-2 โครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของหมู่แอลกอฮอล์ในสารเติมแต่งทางเคมี

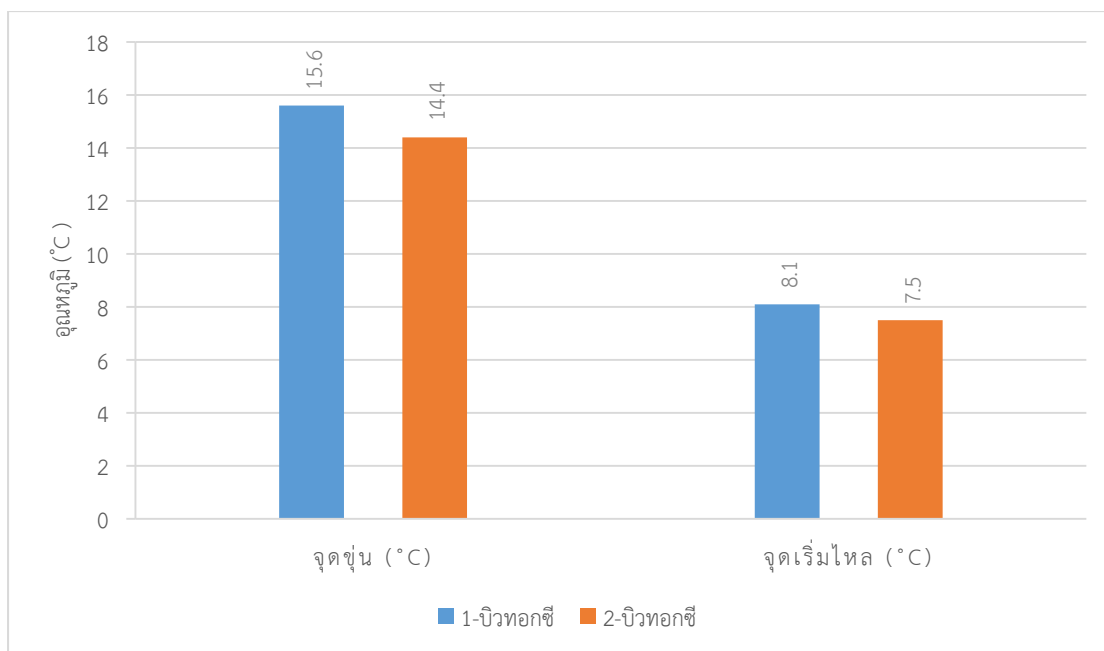
จำนวนคาร์บอน	โครงสร้าง	
	หมู่แอลกอฮอล์โซ่ตรง	หมู่แอลกอฮอล์โซ่กิ่ง
3 อะตอม	 1-โพรพานอล	 2-โพรพานอล
4 อะตอม	 1-บิวทานอล	 2-บิวทานอล
6 อะตอม	 1-เฮกซทานอล	
8 อะตอม	 1-ออกทานอล	

4.2.1.2.1 หมู่อัลลคอกซีที่มีโครงสร้างต่างกันแต่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน

โครงสร้างที่แตกต่างกันของหมู่อัลลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมีที่จะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ คือโครงสร้างโซ่ตรงและโซ่กิ่ง โดยจะเปรียบเทียบระหว่าง 1-โพรพอกซี กับ 2-โพรพอกซี ซึ่งเป็นหมู่อัลลคอกซีที่มีจำนวนคาร์บอน 3 อะตอม และ 1-บิวทอกซี กับ 2-บิวทอกซี ซึ่งเป็นหมู่อัลลคอกซีที่มีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอม แต่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่งตามลำดับ เพื่อดูถึงลักษณะของโครงสร้าง ต่อการลดลงของอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่มีโครงสร้างของหมู่อัลลคอกซีที่แตกต่างกัน ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม แสดงดังรูป 4-18 และ 4-19



รูปที่ 4-18 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม



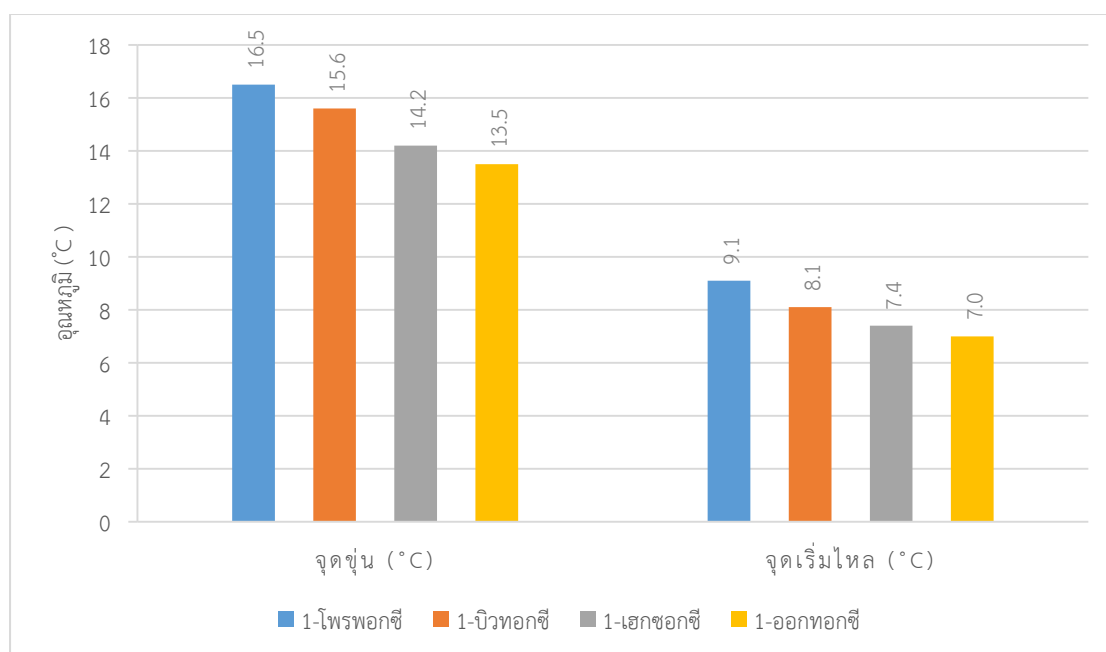
รูปที่ 4-19 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดหลอมและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม

จากกราฟ รูปที่ 4-18 จุดหลอมและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม คือ 16.5, 16.0 และ 9.1, 8.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กราฟรูปที่ 4-19 จุดหลอมและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม คือ 15.6, 14.4 และ 8.1, 7.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเติมแต่งทางเคมีที่มีโครงสร้างของหมู่แอลคอกซีเป็นโซ่กิ่งนั้น สามารถลดอุณหภูมิจุดหลอมและจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารเติมแต่งทางเคมีที่มีโครงสร้างของหมู่แอลคอกซีเป็นโซ่ตรง เนื่องจากหมู่แอลคอกซีที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งจะทำให้สายโซ่มีความเกะกะมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเติมลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ความเกะกะในสายโซ่จะทำให้เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ซึ่งจะขัดขวางการฟอร์มตัว ทำให้การเกิดผลึกนั้นเป็นไปได้ยากขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

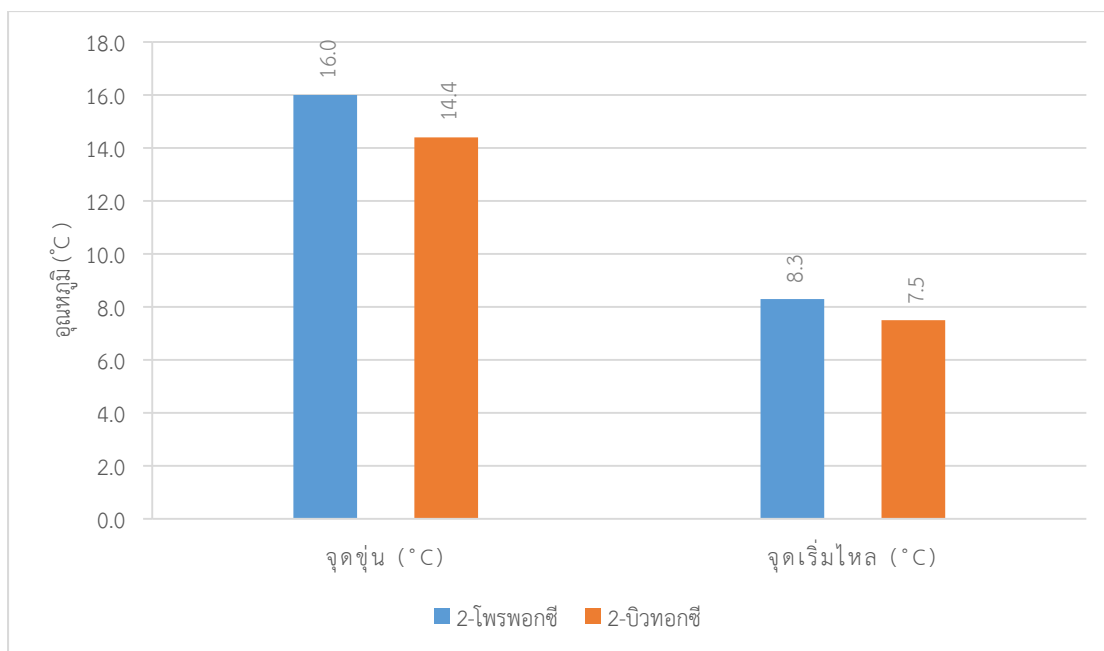
4.2.1.2.1 หมู่แอลคอกซีที่มีจำนวนคาร์บอนต่างกันแต่มีโครงสร้างเหมือนกัน

สำหรับกรณีนี้จะคำนึงถึงปัจจัยในด้านของขนาดของหมู่แอลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมี โดยหมู่แอลคอกซีที่มีจำนวนคาร์บอนมากจะมีขนาดใหญ่กว่าหมู่แอลคอกซีที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบสารเติมแต่งทางเคมี ที่มีหมู่แอลคอกซีโครงสร้าง

เหมือนกันคือโซ่ตรงแต่มีจำนวนคาร์บอนแตกต่างกันคือ 3, 4, 6, 8 อะตอม ได้แก่ 1-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี, 1-ออกทอกซี และโครงสร้างโซ่กิ่งเหมือนกันแต่มีจำนวนคาร์บอนต่างกันคือ 3, 4 อะตอม ได้แก่ 2-โพรพอกซี, 2-บิวทอกซี เพื่อดูประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซี ที่จำนวนคาร์บอนต่างกันแต่มีโครงสร้างเหมือนกัน กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่มีขนาดของหมู่แอลคอกซีแตกต่างกัน ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม แสดงดังรูป 4-20 และ 4-21



รูปที่ 4-20 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 1-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี และ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม



รูปที่ 4-21 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดชุนและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม

จากกราฟ รูปที่ 4-20 จุดชุนและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซล น้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี, 1-ออกทอกซี ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม คือ 16.5, 15.6, 14.2, 13.5 และ 9.1, 8.1, 7.4, 7.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กราฟรูปที่ 4-21 จุดชุนและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติม 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์, 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม คือ 16.0, 14.4 และ 8.3, 7.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าหมู่แอลคอกซีที่มีโครงสร้างเดียวกัน แต่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่าหรือขนาดใหญ่กว่านั้น ส่งผลให้สารเติมแต่งทางเคมี มีประสิทธิภาพ ในการลดอุณหภูมิจุดชุนและจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ดีกว่า เนื่องจากคาร์บอนอะตอมของหมู่แอลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมีที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารเติมแต่งทางเคมีมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงสามารถขัดขวางการรวมตัวกัน ทำให้โอกาสในการฟอร์มตัวเป็นผลึกเกิดได้ยากขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

4.3 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี

วัดความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ตามมาตรฐาน ASTM D 445 โดยความหนืดของไบโอดีเซลปกติ ที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐานคือ 3.5-5.0 เซนติสโตกส์ ความเข้มข้นของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ที่นำมาวัดความหนืดคือ 200,000 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำให้อุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มต่ำสุดเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ตารางที่ 4-3 แสดงความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี

ตารางที่ 4-3 ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี

สารที่นำมาวัดความหนืด	ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C (เซนติสโตกส์)
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	4.31
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-โพรพอกซี	4.62
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 2-โพรพอกซี	4.90
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-บิวทอกซี	4.97
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 2-บิวทอกซี	4.76
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-เฮกซอกซี	4.69
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม + 1-ออกทอกซี	4.94

จากตารางที่ 4-3 ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมีชนิดต่างๆ อยู่ในช่วง 4.62-4.97 เซนติสโตกส์ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงความหนืดที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐาน ที่กำหนดไว้ในช่วง 3.5-5.0 เซนติสโตกส์ ดังนั้นไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่เติมสารเติมแต่งทางเคมี เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ จึงมีสมบัติที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี

สารเติมแต่งทางเคมีสามารถสังเคราะห์จากน้ำมันดอกทานตะวัน โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, อีพอกซิเดชัน และแอลคอกซิเลชัน ตามลำดับ ซึ่งผลการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาแต่ละขั้นตอน แสดงดังนี้

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันดอกทานตะวัน กับไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 1:20 โดยโมล ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาณ 2% โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นำของผสมไปตั้งรีฟลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จึงได้ผลิตภัณฑ์หลักในขั้นตอนนี้ คือ ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งมีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 81% และมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ 98%

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ในขั้นตอนนี้มีการสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก เพื่อนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยสังเคราะห์กรดเปอร์ออกซีแอซิดิกจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง กรดแอซิดิก กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาณ 1.5% โดยปริมาตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นใช้การคนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อได้กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก จึงเริ่มขั้นตอนของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยทำปฏิกิริยาระหว่าง ไอโซโพรพิลเอสเทอร์กับกรดเปอร์ออกซีแอซิดิก ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นคนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้ คือ อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งมีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 83%

ปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการสังเคราะห์สารเติมแต่งทางเคมี โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ แอลคอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์ ชนิดต่างๆ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา คือ 1:5 โดยโมล ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาณ 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้การคนที่อุณหภูมิ 60°C แต่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ โดยใช้เวลา 2 ชม. สำหรับ 1-โพรพานอล และ 1-บิวทานอล, 6 ชม. สำหรับ 2-โพรพานอล, 7 ชม. สำหรับ 2-บิวทานอล, 3 ชม. สำหรับ 1-เฮกซานอล และ 1-ออกทานอล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ 1-โพรพอกซี, 2-โพรพอกซี, 1-บิวทอกซี, 2-บิวทอกซี, 1-เฮกซอกซี และ 1-ออกทอกซี ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งมีผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ คือ 50%, 58%, 37%, 40%, 29% และ 18% ตามลำดับ

5.2 ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยเติมสารเติมแต่งทางเคมีแต่ละชนิด ลงในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ในความเข้มข้นต่างๆ เพื่อดูผลของความเข้มข้นในการเติม, ลักษณะโครงสร้างและจำนวนคาร์บอนอะตอมของหมู่แอลคอกซีในสารเติมแต่งทางเคมี กับการลดลงของอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลในไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม สำหรับปัจจัยในด้านความเข้มข้นนั้น ที่ความเข้มข้น 200,000 พีพีเอ็ม สามารถทำให้อุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มลดลงได้มากที่สุด ในด้านของลักษณะโครงสร้างของหมู่แอลคอกซีนั้น หมู่แอลคอกซีที่มีลักษณะเป็นโซ่กิ่งจะทำให้สารเติมแต่งทางเคมี มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีเป็นโซ่ตรง เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน โดยสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีโซ่กิ่ง ที่สามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้มากที่สุด คือ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ สำหรับในด้านของจำนวนคาร์บอนนั้น สารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีมีขนาดใหญ่กว่า (จำนวนคาร์บอนมากกว่า) จะให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิจุดขุ่นและจุดเริ่มไหล ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีขนาดเล็ก (จำนวนคาร์บอนน้อย) เมื่อมีโครงสร้างเดียวกัน โดยสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีโซ่กิ่ง ที่สามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้มากที่สุด คือ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ส่วนสารเติมแต่งทางเคมีที่มีหมู่แอลคอกซีโซ่ตรง ที่สามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้มากที่สุด คือ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี พบว่าสารเติมแต่งทางเคมีที่ให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงได้ดีที่สุดคือ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิจุดขุ่น และจุดเริ่มไหลของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ 5.9 และ 4.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

5.3 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี

ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม คือ 4.94 เซนติสโตกส์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐาน ดังนั้น การเติม 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จึงสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และมีค่าความหนืดตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาแอลกอฮอล์ที่มีหลายโซ่กิ่ง เช่น 3-เมทิล-2-เพนทานอล หรือ 2,4-ไดเมทิล-2-เพนทานอล เป็นต้น เพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยไม่ทำให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นผลึกที่ทำให้มีผลต่อค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม



รายการอ้างอิง

- [1] Sinsakulroj, N. and Pengprecha, S. Synthesis of pour point depressant from sunflower oil. in International Conference on Chemical Processes and Environmental issues, pp. 163-165, 2012.
- [2] Knothe, G., Krahl, J., and Van Gerpen, J. The biodiesel handbook. Elsevier, 2015.
- [3] Schumacher, L., Wetherell, W., and Fischer, J. Cold flow properties of biodiesel and its blends with diesel fuel. in ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July, 1999.: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1999.
- [4] Smith, P.C., Ngothai, Y., Nguyen, Q.D., and O'Neill, B.K. Alkoxylation of biodiesel and its impact on low-temperature properties. Fuel 88(4) (2009): 605-612.
- [5] U.S. Department Of Energy. Biodiesel Handling and Use Guidelines [Online]. 2006. Available from: www.CrimsonRenewable.com
- [6] Cardoso, C.C., Celante, V.G., de Castro, E.V.R., and Pasa, V.M.D. Comparison of the properties of special biofuels from palm oil and its fractions synthesized with various alcohols. Fuel 135 (2014): 406-412.
- [7] Park, J.-Y., Wang, Z.-M., Kim, D.-K., and Lee, J.-S. Effects of water on the esterification of free fatty acids by acid catalysts. Renewable Energy 35(3) (2010): 614-618.
- [8] Thaienergy. Biodiesel Process Technology [Online]. 2013. Available from: www.thaienergy.org/category/energy-and-economics/page/3/
- [9] Ma, F. and Hanna, M.A. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 70 (1999): 1-15.
- [10] Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., and Mingdong, D. Opportunities and challenges for biodiesel fuel. Applied Energy 88(4) (2011): 1020-1031.

- [11] Smith, P.C., Ngothai, Y., Nguyen, Q.D., and O'Neill, B.K. Improving the low-temperature properties of biodiesel: Methods and consequences. Renewable Energy 35(6) (2010): 1145-1151.
- [12] กรมธุรกิจพลังงาน. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน. in ราชกิจจานุเบกษา. 2556. 15-19.
- [13] Knothe, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology 86(10) (2005): 1059-1070.
- [14] Kleinová, A., Paligová, J., Vrbová, M., Mikulec, J., and Cvenegroš, J. Cold Flow Properties of Fatty Esters. Process Safety and Environmental Protection 85(5) (2007): 390-395.
- [15] Joshi, R.M. and Pegg, M.J. Flow properties of biodiesel fuel blends at low temperatures. Fuel 86(1) (2007): 143-151.
- [16] Lee, I., Johnson, L.A., and Hammond, E.G. Reducing the crystallization temperature of biodiesel by winterizing methyl soyate. Journal of the American Oil Chemists' Society 73(5) (1996): 631-636.
- [17] Zuleta, E.C., Rios, L.A., and Benjumea, P.N. Oxidative stability and cold flow behavior of palm, sacha-inchi, jatropha and castor oil biodiesel blends. Fuel Processing Technology 102 (2012): 96-101.
- [18] Lee, I., Johnson, L.A., and Hammond, E.G. Use of branched-chain esters to reduce the crystallization temperature of biodiesel. Journal of the American Oil Chemists' Society 72(10) (1995): 1155-1160.
- [19] Bach, R.D., Canepa, C., Winter, J.E., and Blanchette, P.E. Mechanism of Acid-Catalyzed Epoxidation of Alkenes with Peroxy Acids. J. Org. Chem. 62 (1997): 5191-5197.
- [20] Parker, R.E. and Isaacs, N.S. Mechanisms of epoxide reactions. Chemical reviews 59(4) (1959): 737-799.
- [21] Bhale, P.V., Deshpande, N.V., and Thombre, S.B. Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. Renewable Energy 34(3) (2009): 794-800.

- [22] Smith, P.C., Ngothai, Y., Nguyen, Q.D., and O'Neill, B.K. The addition of alkoxy side-chains to biodiesel and the impact on flow properties. Fuel 89(11) (2010): 3517-3522.
- [23] Boshui, C., Yuqiu, S., Jianhua, F., Jiu, W., and Jiang, W. Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel. Biomass and bioenergy 34(9) (2010): 1309-1313.
- [24] Joshi, H., Moser, B.R., Toler, J., Smith, W.F., and Walker, T. Ethyl levulinate: A potential bio-based diluent for biodiesel which improves cold flow properties. Biomass and bioenergy 35(7) (2011): 3262-3266.
- [25] Giraldo, S.Y., Rios, L.A., and Suárez, N. Comparison of glycerol ketals, glycerol acetates and branched alcohol-derived fatty esters as cold-flow improvers for palm biodiesel. Fuel 108 (2013): 709-714.
- [26] Naureen, R., Tariq, M., Yusoff, I., Chowdhury, A.J., and Ashraf, M.A. Synthesis, spectroscopic and chromatographic studies of sunflower oil biodiesel using optimized base catalyzed methanolysis. Saudi J Biol Sci 22(3) (2015): 332-9.

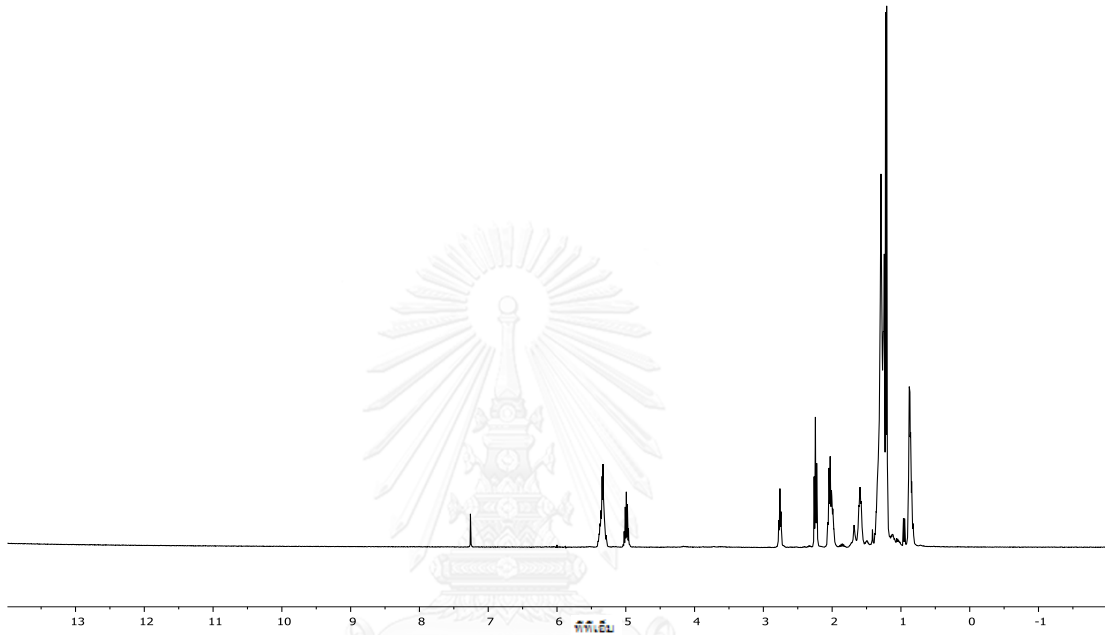


ภาคผนวก

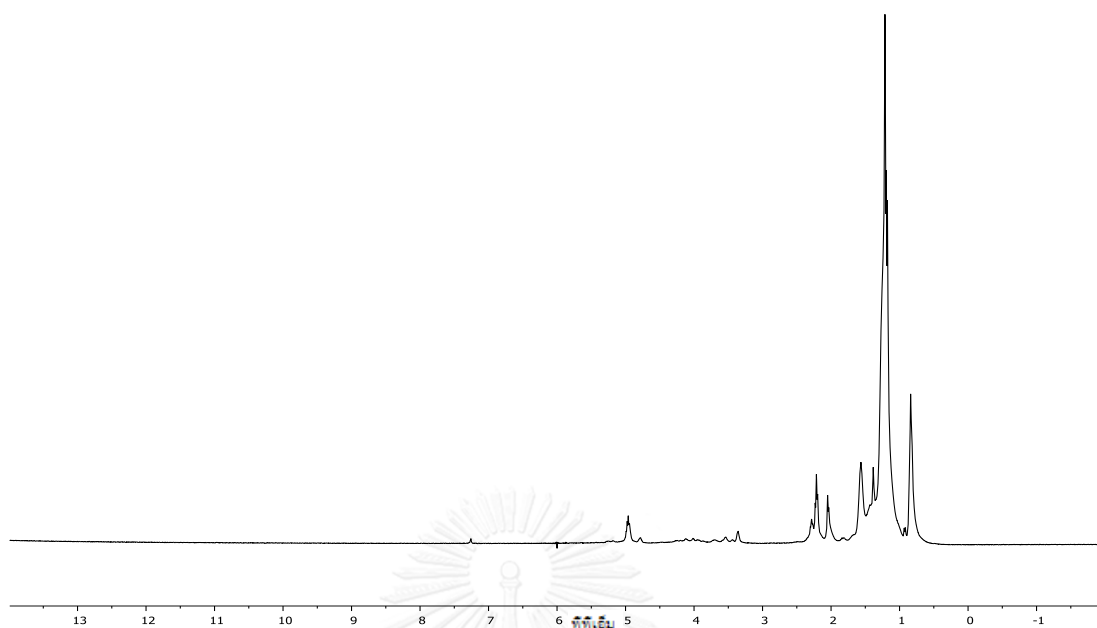
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

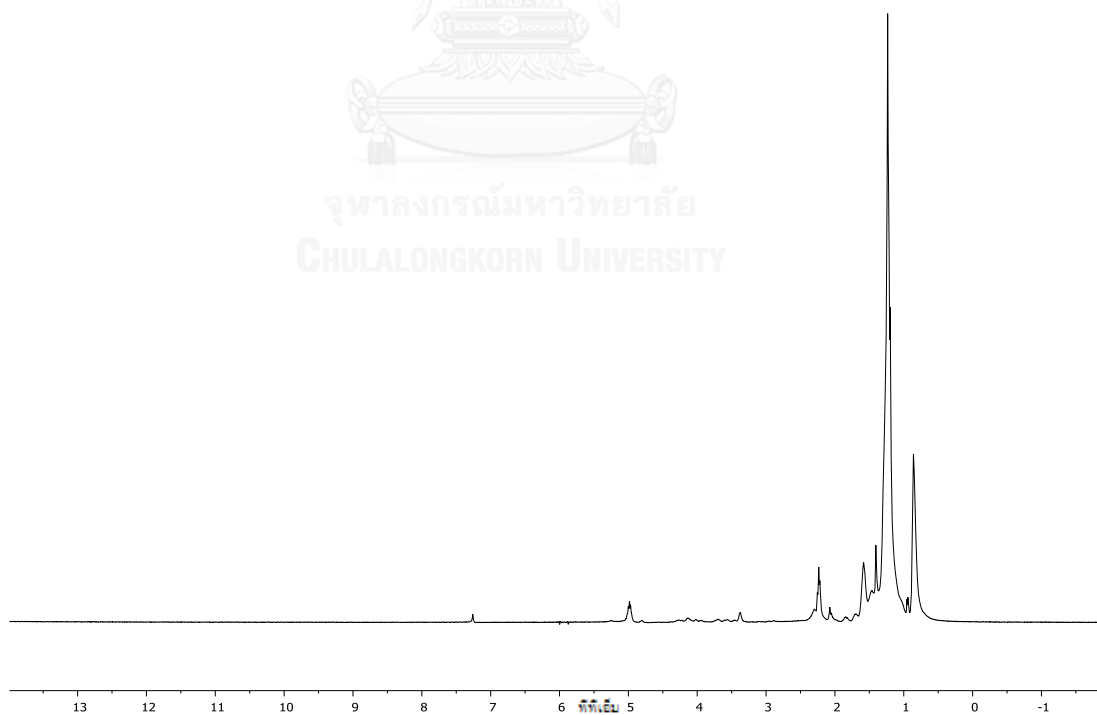
สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$



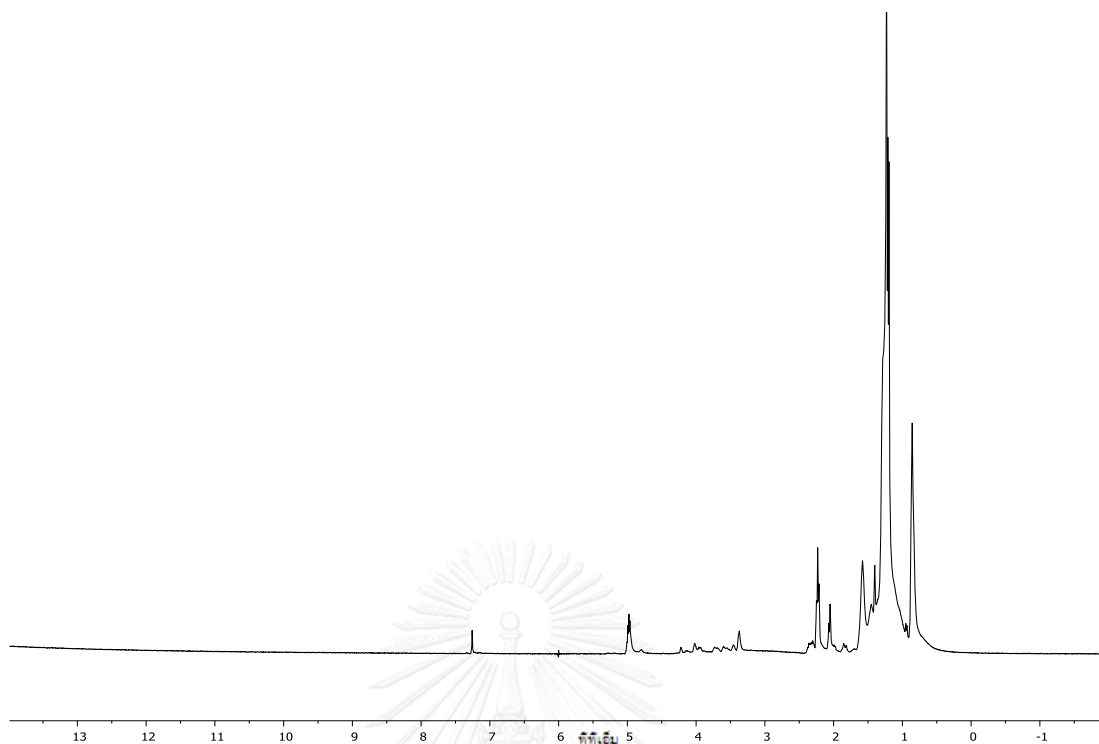
รูปที่ ก-1 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์



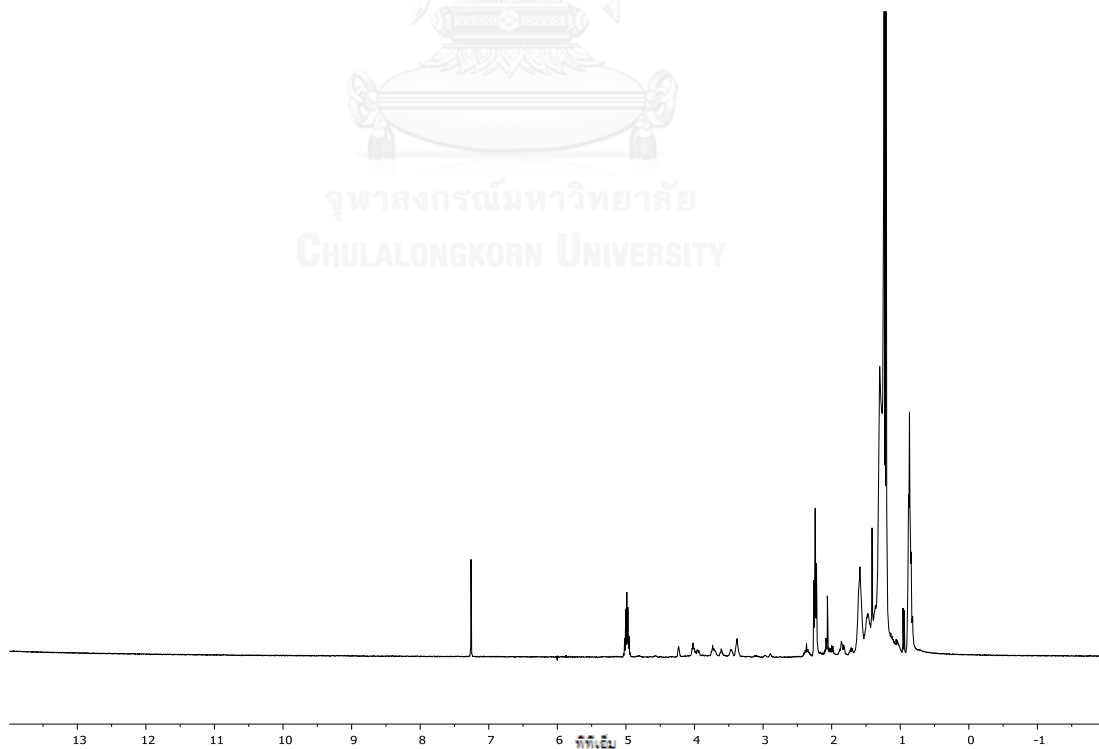
รูปที่ ก-2 ¹H-NMR สเปกตรัม (CDCl₃, 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (3:1 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



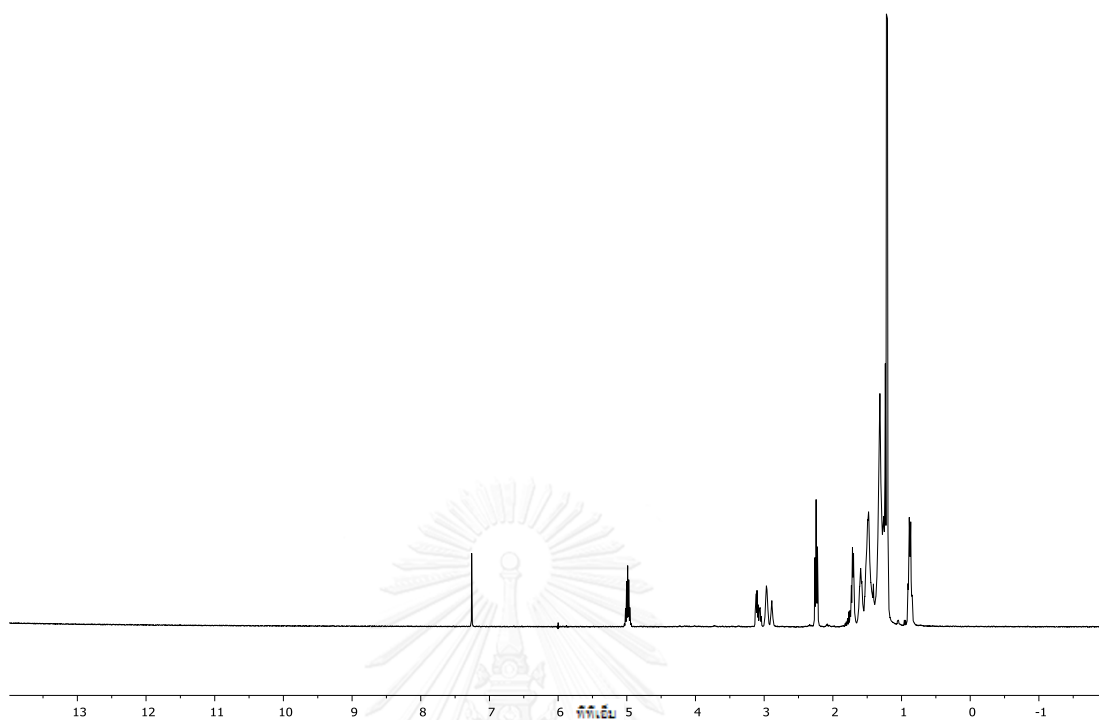
รูปที่ ก-3 ¹H-NMR สเปกตรัม (CDCl₃, 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (2:1 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



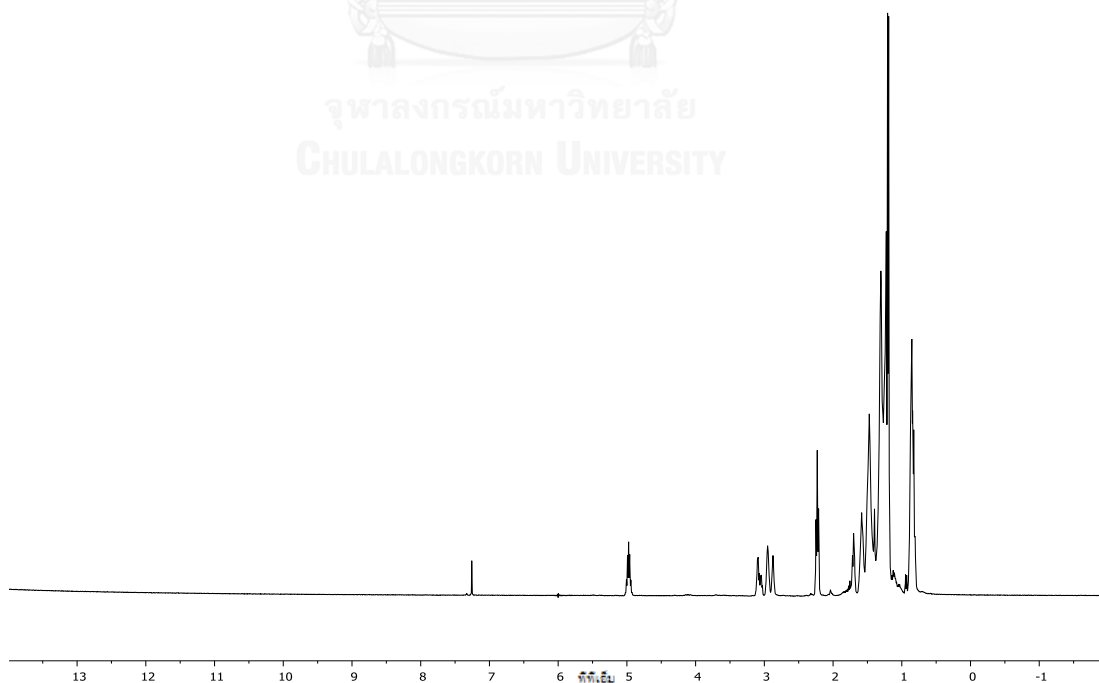
รูปที่ ก-4 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:1 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



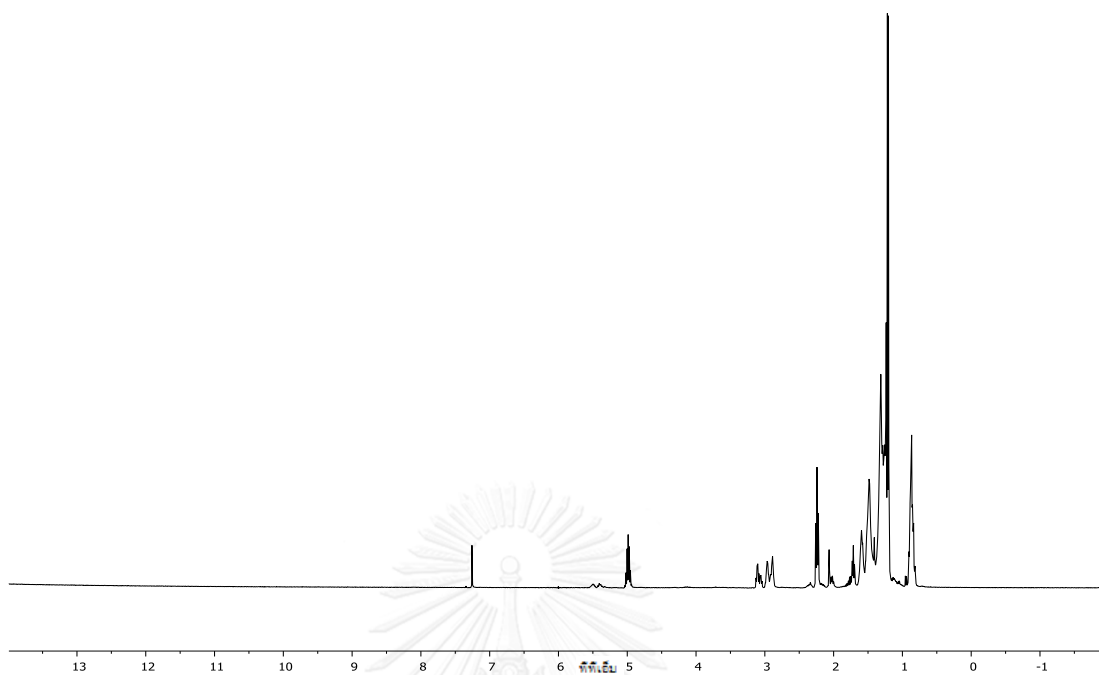
รูปที่ ก-5 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:2 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



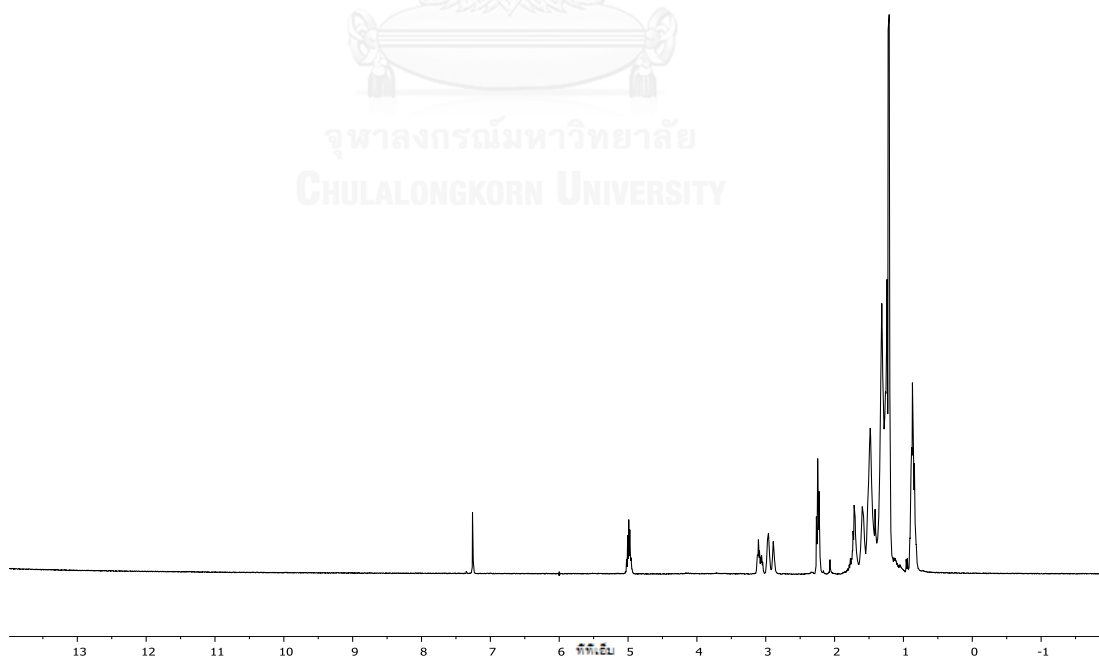
รูปที่ ก-6 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 กรดแอสติค: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอสติค)



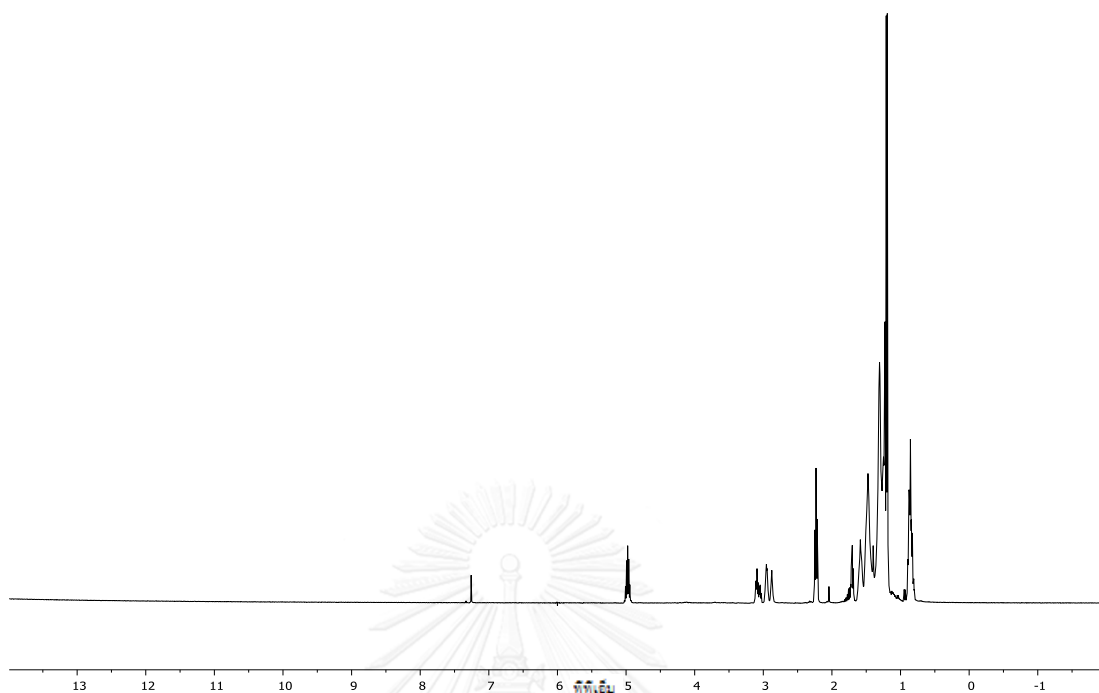
รูปที่ ก-7 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:4 กรดแอสติค: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:10 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอสติค)



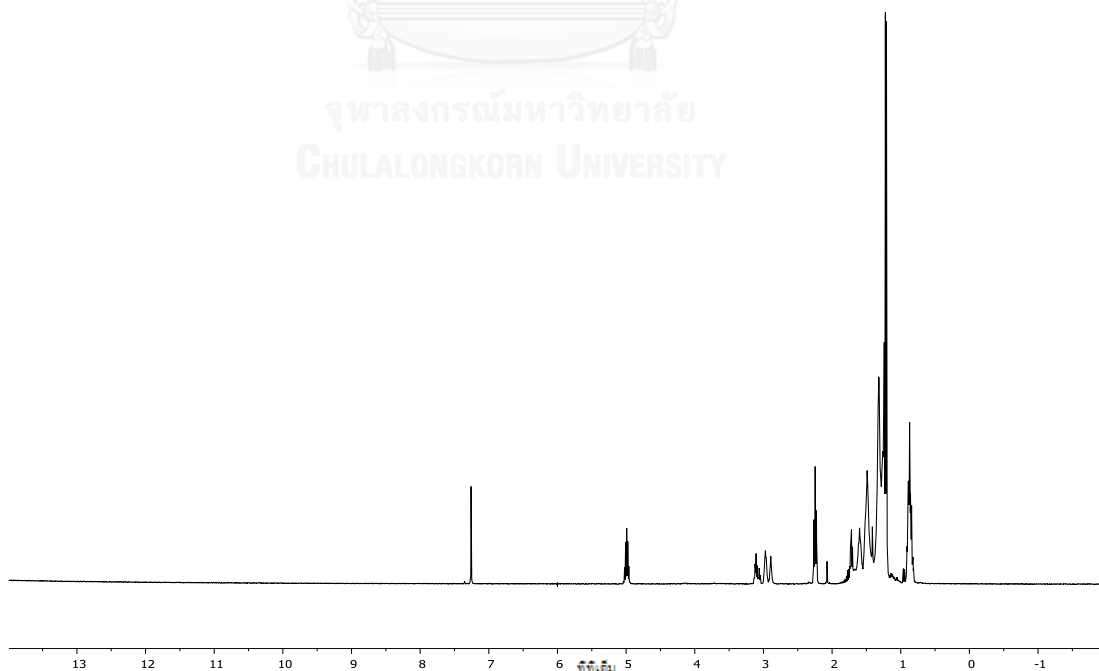
รูปที่ ก-8 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:3 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



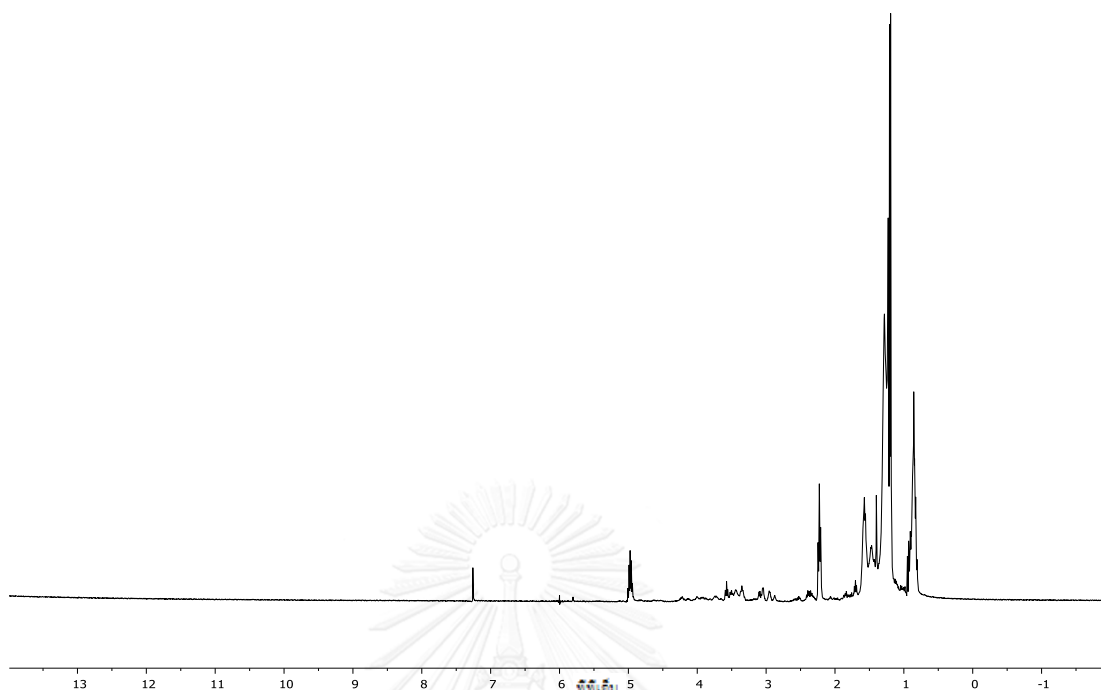
รูปที่ ก-9 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 กรดแอซิดิก: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:5 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก)



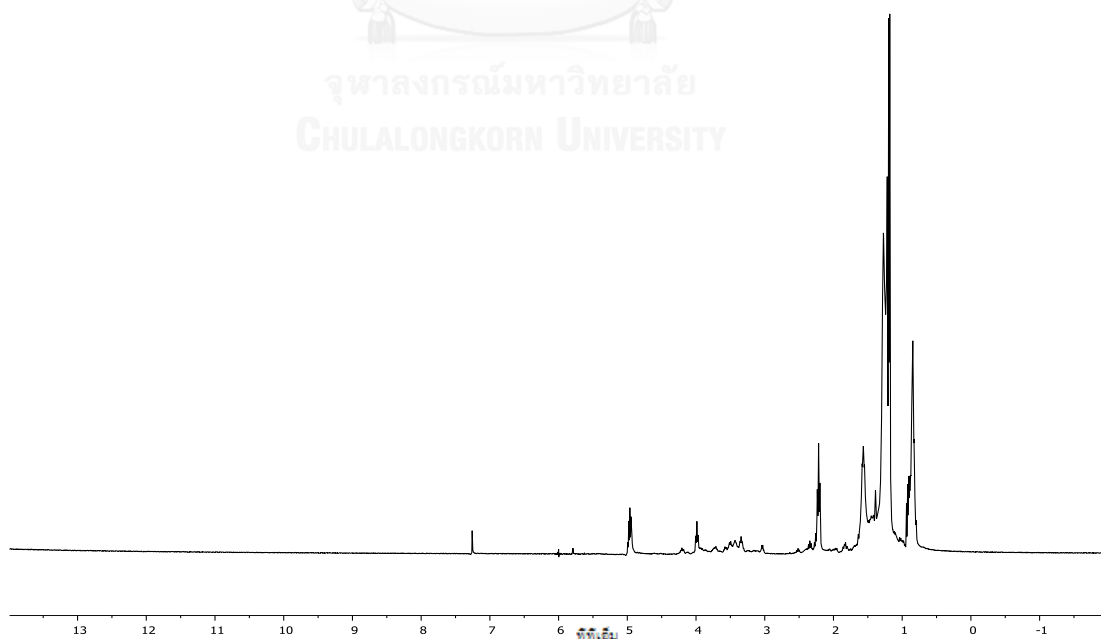
รูปที่ ก-10 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 กรดแอสติค: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:7 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอสติค)



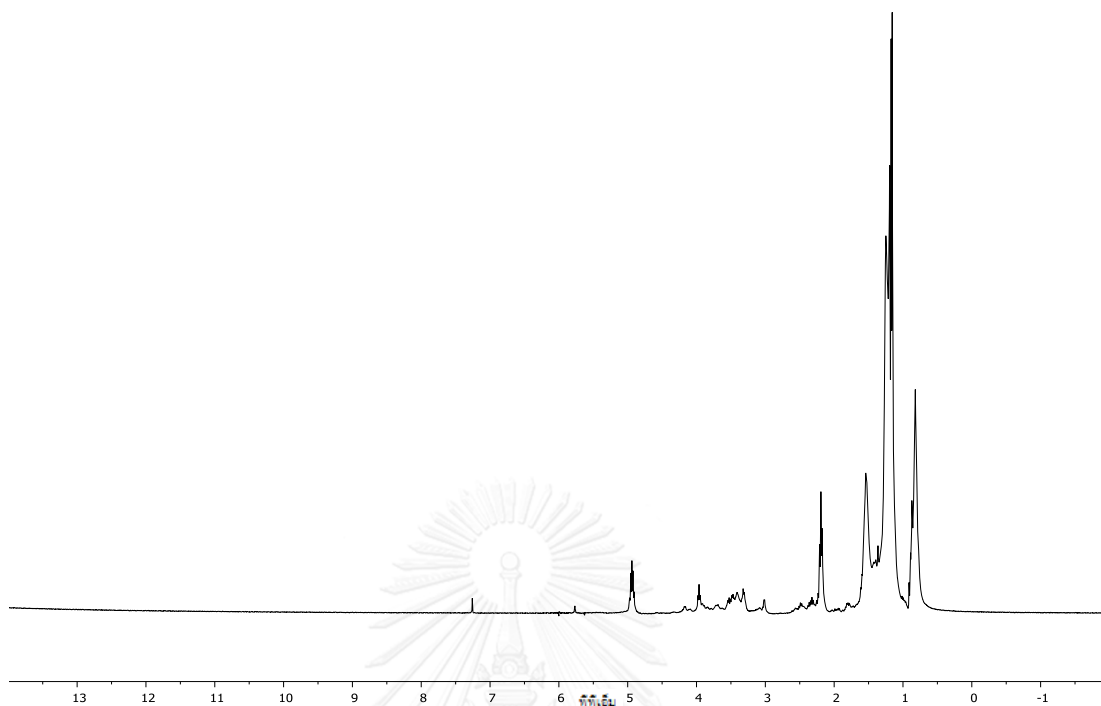
รูปที่ ก-11 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 กรดแอสติค: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, 1:9 ไอโซโพรพิลเอสเทอร์: กรดเปอร์ออกซีแอสติค)



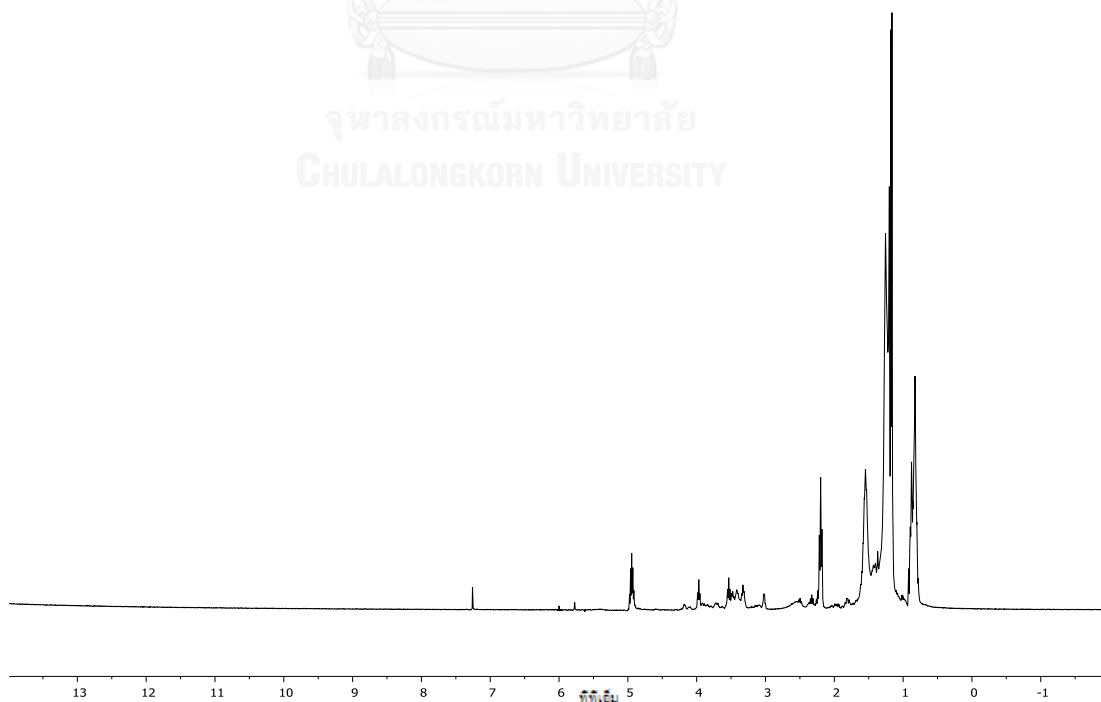
รูปที่ ก-12 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:1 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)



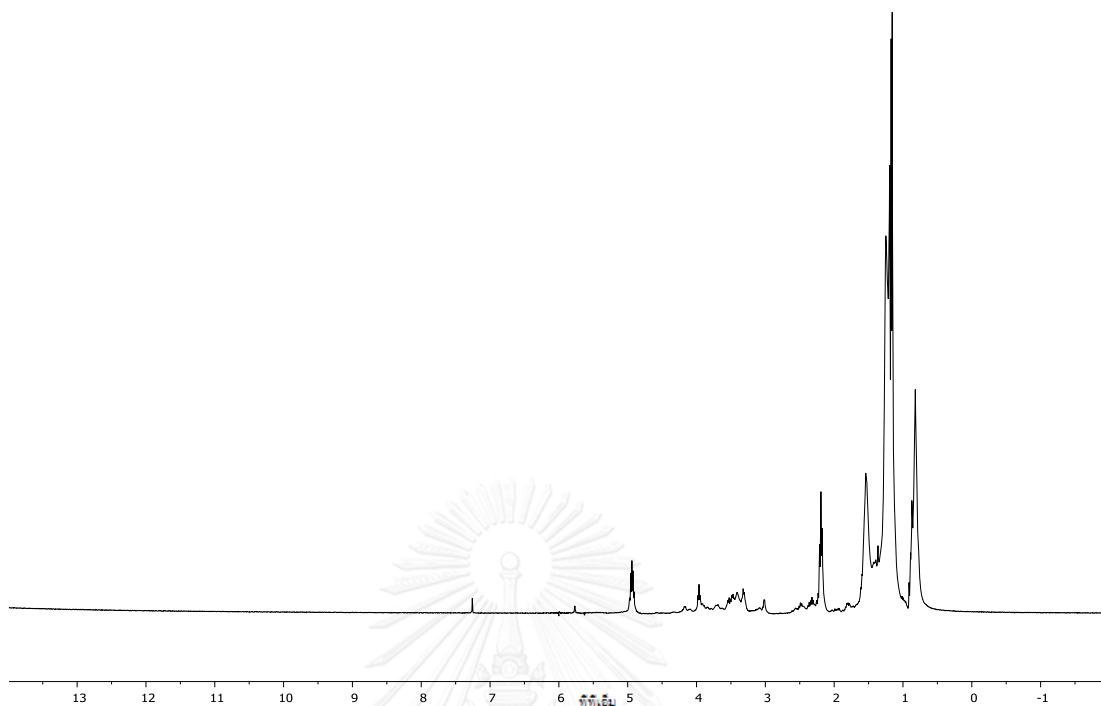
รูปที่ ก-13 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:3 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)



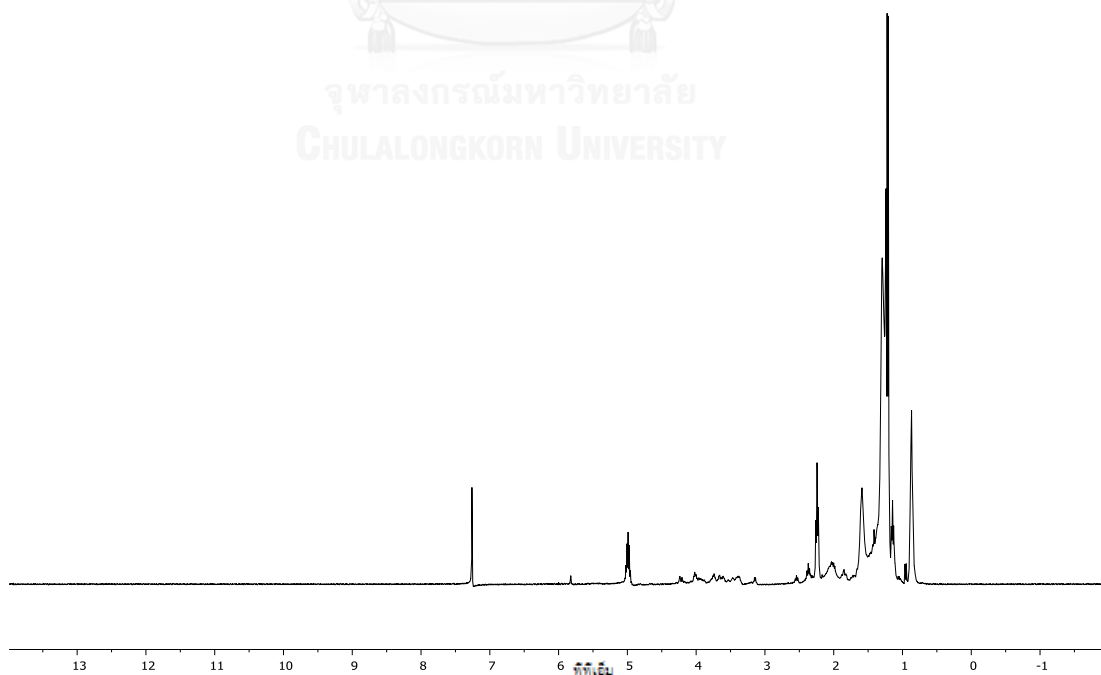
รูปที่ ก-14 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)



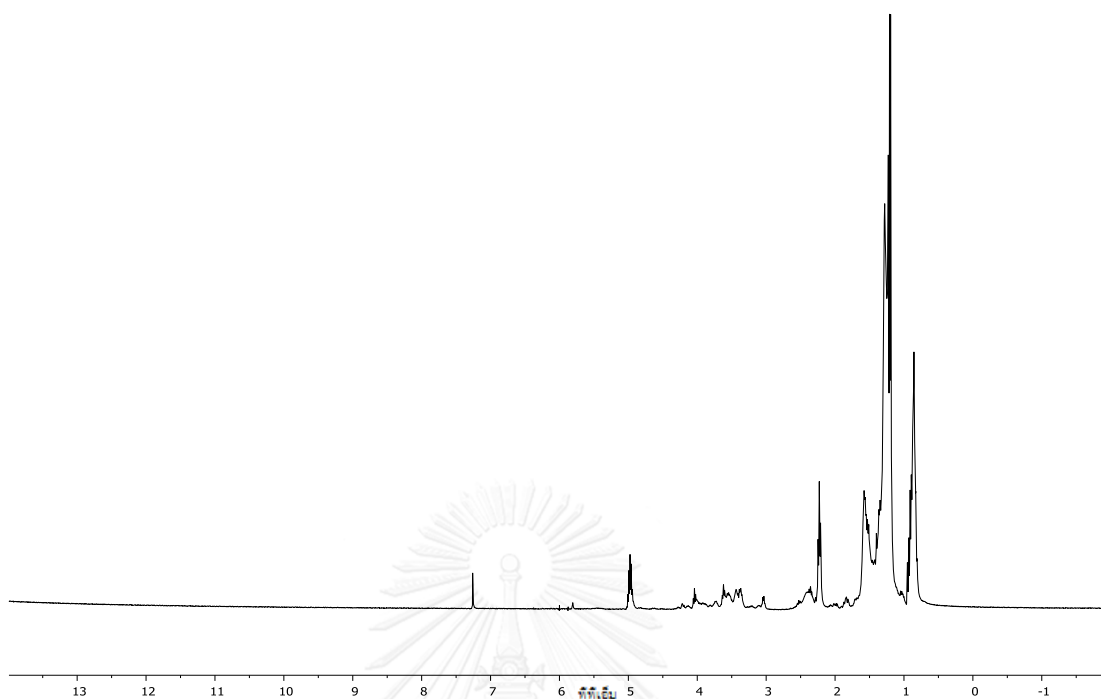
รูปที่ ก-15 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:7 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)



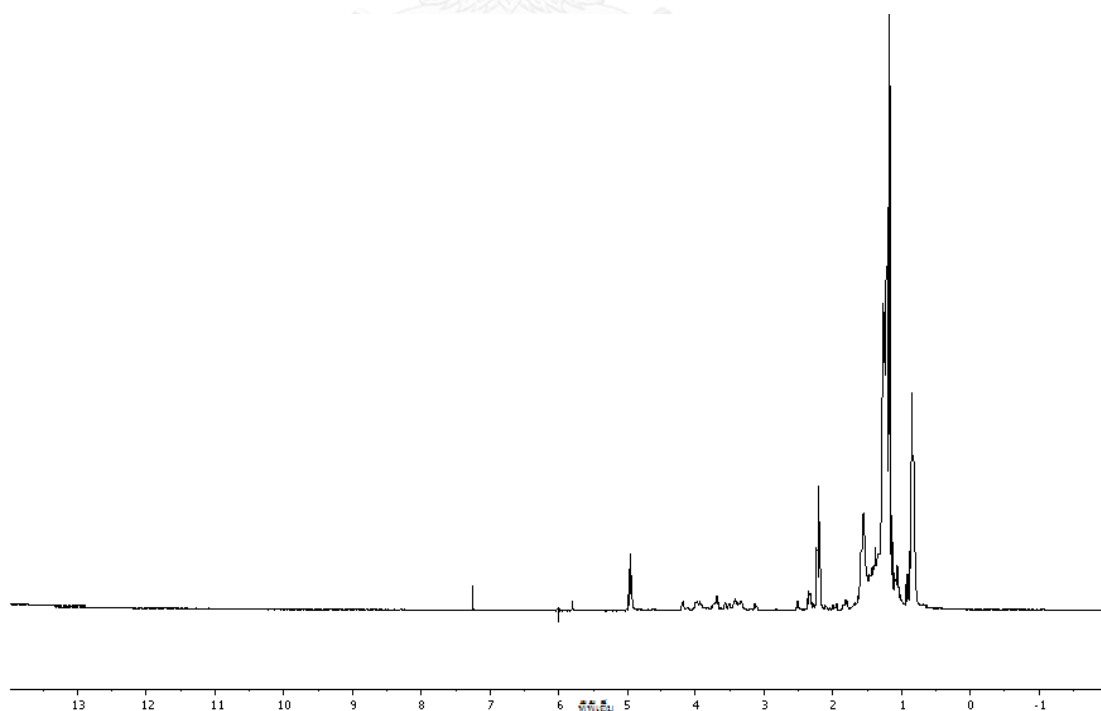
รูปที่ ก-16 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-โพรพานอล)



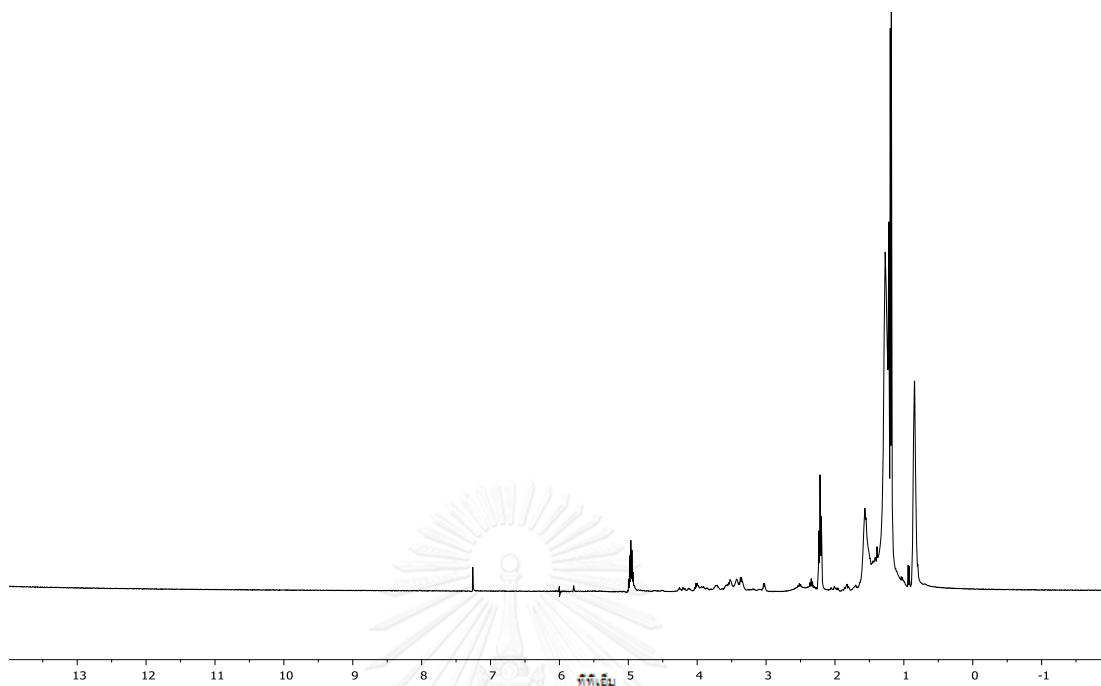
รูปที่ ก-17 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 2-โพรพานอล)



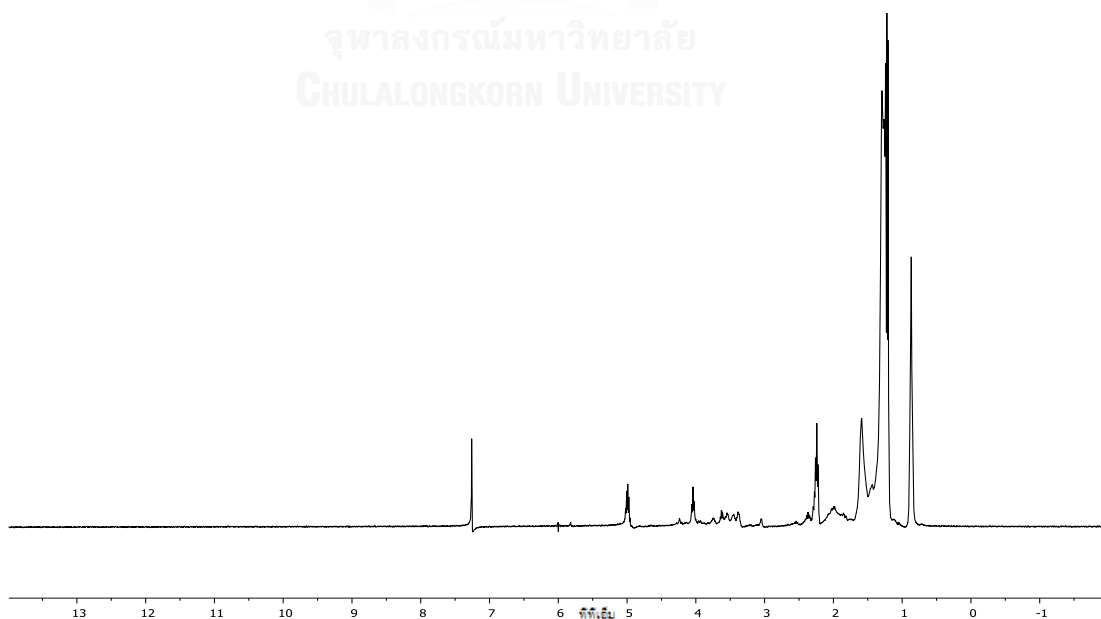
รูปที่ ก-18 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-บิวทานอล)



รูปที่ ก-19 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5 อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 2-บิวทานอล)



รูปที่ ก-20 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5) อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-เฮกซานอล)



รูปที่ ก-21 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม (CDCl_3 , 400 MHz) ของ 1-ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (1:5) อีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์: 1-ออกทานอล)

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

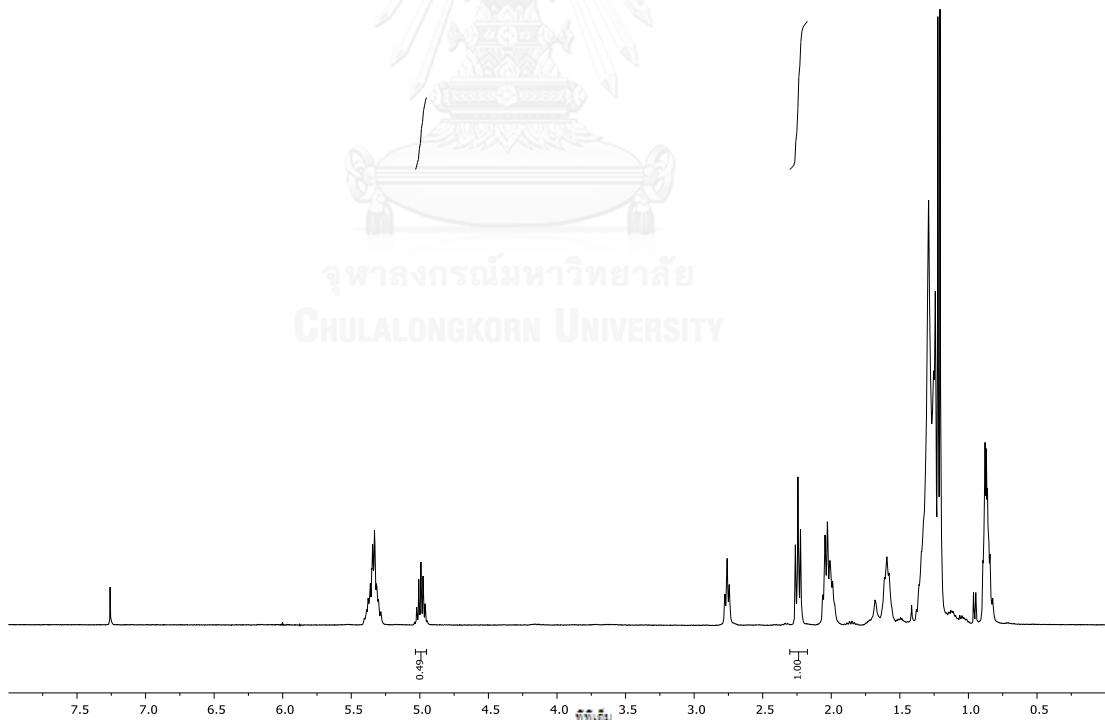
1. คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ (ดัดแปลงมาจาก [26])

1.1 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ของ ไอโซโพรพิลเอสเทอร์

$$\text{ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์} = \frac{2 \times I_{(-\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)}}{I_{(-\text{CH}_2\text{COO}-)}} \times 100$$

$I_{(-\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)}$ = ค่าอินทิเกรชันโปรตอนของ $-\text{OCH}(\text{CH}_3)_2$ ที่ตำแหน่ง 4.98 พีพีเอ็ม

$I_{(-\text{CH}_2\text{COO}-)}$ = ค่าอินทิเกรชันโปรตอนของ $-\text{CH}_2\text{COO}-$ ที่ตำแหน่ง 2.32 พีพีเอ็ม



$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์} &= \frac{2 \times 0.49}{1} \times 100 \\ &= 98\% \end{aligned}$$

2. คำนวณผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์

2.1 ผลได้ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (IE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ IE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ IE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ IE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ IE} = \text{น้ำหนักของ IE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ IE} = \text{น้ำหนักของน้ำมันดอกทานตะวัน} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของน้ำมันดอกทานตะวัน}}{876.16} \times \frac{3 \text{ โมลของ IE}}{1 \text{ โมลของน้ำมันดอกทานตะวัน}} \times \frac{322}{1 \text{ โมลของ IE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (IE)} &= (89.58/110.22) \times 100 \\ &= 81\% \end{aligned}$$

2.2 ผลได้ร้อยละของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (EIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ EIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ EIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ EIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ EIE} = \text{น้ำหนักของ EIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ EIE} = \text{น้ำหนักของ IE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ IE}}{322} \times \frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{1 \text{ โมลของ IE}} \times \frac{354}{1 \text{ โมลของ EIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของอีพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (EIE)} &= (9.23/11.06) \times 100 \\ &= 83\% \end{aligned}$$

2.3 ผลได้ร้อยละของโพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (PIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ PIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ PIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ PIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ PIE} = \text{น้ำหนักของ PIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ PIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ PIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{474}{1 \text{ โมลของ PIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของโพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (PIE)} &= (2.74/5.44) \times 100 \\ &= 50\% \end{aligned}$$

2.4 ผลได้ร้อยละของ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (2PIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ 2PIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ 2PIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ 2PIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ 2PIE} = \text{น้ำหนักของ 2PIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ 2PIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ 2PIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{474}{1 \text{ โมลของ 2PIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของ 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (2PIE)} &= (7.03/12.22) \times 100 \\ &= 58\% \end{aligned}$$

2.5 ผลได้ร้อยละของบิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (BIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ BIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ BIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ BIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ BIE} = \text{น้ำหนักของ BIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ BIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ BIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{502}{1 \text{ โมลของ BIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของบิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (BIE)} &= (2.97/8.13) \times 100 \\ &= 37\% \end{aligned}$$

2.6 ผลได้ร้อยละของ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (2BIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ 2BIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ 2BIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ 2BIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ 2BIE} = \text{น้ำหนักของ 2BIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ 2BIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ 2BIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{502}{1 \text{ โมลของ 2BIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของ 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (2BIE)} &= (4.16/10.32) \times 100 \\ &= 40\% \end{aligned}$$

2.7 ผลได้ร้อยละของเฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (HIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ HIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ HIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ HIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ HIE} = \text{น้ำหนักของ HIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ HIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ HIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{558}{1 \text{ โมลของ HIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของเฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (HIE)} &= (2.92/10.06) \times 100 \\ &= 29\% \end{aligned}$$

2.8 ผลได้ร้อยละของออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (OIE)

$$\text{ผลได้ร้อยละของ OIE} = \frac{\text{ผลผลิตจริงของ OIE}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ OIE}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตจริงของ OIE} = \text{น้ำหนักของ OIE ที่สังเคราะห์ได้}$$

$$\text{ผลผลิตตามทฤษฎีของ OIE} = \text{น้ำหนักของ EIE} \times$$

$$\frac{1 \text{ โมลของ EIE}}{354} \times \frac{1 \text{ โมลของ OIE}}{1 \text{ โมลของ EIE}} \times \frac{614}{1 \text{ โมลของ OIE}}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลได้ร้อยละของออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (OIE)} &= (1.28/6.96) \times 100 \\ &= 18\% \end{aligned}$$

3. คำนวณค่าความหนืด (ตามมาตรฐาน ASTM D 445)

สมการคำนวณค่าความหนืดแสดงดังนี้

$$\text{Viscosity} = Ct$$

Viscosity = ความหนืด (เซนติสโตกส์ หรือ cSt)

C = ค่าคงที่ของหลอดวัดความหนืด (หลอดเบอร์ 150 = 0.035 ตารางมิลลิเมตร/
วินาทีกำลังสอง หรือ mm^2/s^2)

T = เวลาในการเคลื่อนที่ของของผสมในหลอดวัดความหนืดจากจุดเริ่มต้นไปยัง
จุดสิ้นสุดที่กำหนด (วินาที หรือ s)

ตารางที่ ข-1 ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี

สารที่นำมาวัด	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (PB)	123	123	123	4.31
PB + โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	132	132	132	4.62
PB + 2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	140	140	140	4.90
PB + บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	141	142	142	4.97
PB + 2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	136	136	136	4.76
PB + เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	134	134	134	4.69
PB + ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	140	141	141	4.94

ภาคผนวก ค

จุดขุ่นและจุดไหลเท

ตารางที่ ค-1 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 50,000 พีพีเอ็ม

สารเติมแต่งทางเคมี	จุดขุ่น (°C)				จุดไหลเท (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	17.5	17.3	17.3	17.4	10.4	10.5	10.5	10.5
2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	17.0	16.9	17.0	17.0	10.0	10.0	10.0	10.0
บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.8	16.8	16.9	16.8	9.6	9.6	9.6	9.6
2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.9	15.7	15.8	15.8	9.1	9.0	9.1	9.1
เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.5	15.6	15.5	15.5	8.9	8.9	8.9	8.9
ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.6	14.7	14.7	14.7	8.0	7.9	8.0	8.0

ตารางที่ ค-2 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี ในปริมาณ 100,000 พีพีเอ็ม

สารเติมแต่งทางเคมี	จุดขุ่น (°C)				จุดไหลเท (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	17.3	17.1	17.2	17.2	10.2	10.2	10.2	10.2
2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.9	16.6	16.6	16.7	9.6	9.5	9.5	9.5
บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.5	16.4	16.5	16.5	9.2	9.2	9.2	9.2
2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.5	15.5	15.6	15.5	8.8	8.7	8.8	8.8
เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.2	15.0	15.2	15.1	8.6	8.6	8.6	8.6
ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.5	14.3	14.4	14.4	7.7	7.7	7.7	7.7

ตารางที่ ค-3 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี
ในปริมาณ 150,000 พีพีเอ็ม

สารเติมแต่งทางเคมี	จุดขุ่น (°C)				จุดไหลเท (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.9	16.8	16.8	16.8	9.5	9.5	9.6	9.5
2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.2	16.2	16.1	16.2	8.8	8.8	8.8	8.8
บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.9	15.7	15.8	15.8	8.4	8.4	8.4	8.4
2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.6	14.8	14.8	14.7	8.0	8.0	8.0	8.0
เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.5	14.5	14.4	14.5	7.8	7.8	7.8	7.8
ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	13.9	13.7	13.7	13.8	7.2	7.2	7.2	7.2

ตารางที่ ค-4 จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมื่อเติมสารเติมแต่งทางเคมี
ในปริมาณ 200,000 พีพีเอ็ม

สารเติมแต่งทางเคมี	จุดขุ่น (°C)				จุดไหลเท (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	16.6	16.5	16.5	16.5	9.1	9.1	9.1	9.1
2-โพรพอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.9	16.0	16.1	16.0	8.2	8.3	8.3	8.3
บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	15.6	15.6	15.5	15.6	8.1	8.1	8.1	8.1
2-บิวทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.6	14.3	14.4	14.4	7.6	7.5	7.5	7.5
เฮกซอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	14.2	14.2	14.1	14.2	7.4	7.4	7.4	7.4
ออกทอกซีไอโซโพรพิลเอสเทอร์	13.4	13.5	13.5	13.5	7.0	6.9	7.0	7.0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติ

นางสาวกนกนันท์ วัฒนศักดิ์ภูบาล เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 57/1 หมู่บ้านนวธานี แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม ถนนเสรีไทย กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ในปี พ.ศ. 2551
- จบการศึกษาระดับปริญญาตรี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ในปี พ.ศ. 2555
- ศึกษาต่อระดับปริญญาโท ในปี พ.ศ. 2555 ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2559

ประวัติการเข้าร่วมประชุมทางวิชาการ

นำเสนอผลงานในหัวข้อ IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF PALM BIODIESEL BY ISOPROPYL ESTER OF SUNFLOWER OIL CONTAINING ALKOXY GROUPS

ในงาน STT 2014: The 40th Congress on Science and Technology of Thailand “Science and Technology towards ASEAN Development” ณ โรงแรมพูลแมน จังหวัดขอนแก่น ระหว่างวันที่ 2-4 ธันวาคม พ.ศ. 2557