



ความเป็นไปได้ในการดัดแปรน้ำมันปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน สำหรับใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี

นางสาวอชิษฐาน แสนยะเสนีย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2555

ความเป็นไปได้ในการดัดแปรน้ำมันปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน สำหรับใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี

นางสาวอริษฐาน แสนยะเสนีย์ วศ.บ. (ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร.ปราณี ภิญโญชีพ)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รศ. นฤมล จีโยโชค)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

| | |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ความเป็นไปได้ในการตัดแปรน้ำมันปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน สำหรับใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี |
| หน่วยกิต | 15 |
| ผู้เขียน | นางสาวอชิษฐาน แสนยะเสนีย์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ. ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีวัสดุ |
| สายวิชา | เทคโนโลยีวัสดุ |
| คณะ | พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ |
| พ.ศ. | 2555 |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตัดแปรน้ำมันปาล์ม โอเลอิน โดยผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยามาลีเอชันและปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณและ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันปาล์มตัดแปรดังกล่าวข้างต้นมาใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์โดยตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษา ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส เวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชัน และอัตราส่วนโดยโมลของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อน้ำมันปาล์มตัดแปรกลีเซอโรไลซิส และเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ผลจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสพบว่า จะได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดถึงร้อยละ 61.6 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2.5 ชั่วโมง โดยโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนโอเลอเทท ในด้านของผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันพบว่า สภาวะในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้โครงสร้างตามที่ต้องการ คือที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อน้ำมันปาล์มตัดแปรกลีเซอโรไลซิสเป็น 1.5:1 โมล และจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันพบว่า มีการเปิดออกของวงแหวนออกซิเรนเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันในช่วงระหว่าง 4 - 8 ชั่วโมง และเมื่อนำน้ำมันปาล์มตัดแปรที่ผ่านทั้ง 3 ปฏิกิริยา (EMPO) มาใช้ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ในสัดส่วนผสมรวม 60 โดยน้ำหนัก มาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่แล้วนำไปขึ้นรูปในเครื่อง

อัฒจันทร์รูปแบบใช้ความร้อน จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีการเติมน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ผ่านทั้ง 3 ปฏิกริยา (EMPO) ผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์ (ESO) และน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์ (ESO) เพียงอย่างเดียวเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกให้ค่าโมดูลัสและค่าทนแรงดึงต่ำลง ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลคลอไรด์สูตรที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก และการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปรที่ผ่านทั้ง 3 ปฏิกริยา (EMPO) ผสมเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่าทำให้ค่าโมดูลัสสูงขึ้น ในขณะที่ค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดัดแปรที่เตรียมโดยผ่านทั้ง 3 ปฏิกริยาของงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกให้กับพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ โดยเชื่อว่าอาจมีสาเหตุเกี่ยวข้องกับสภาพตัวของโมเลกุลน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ยังไม่สูงพอ

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์มดัดแปร/ปฏิกริยาไกลเซอโรไลซิส/ปฏิกริยามาลีเอชัน/ปฏิกริยาอีพอกซีเดชัน/
พอลิไวนิลคลอไรด์

| | |
|-----------------|--|
| Thesis Title | Feasibility on Modification of Palm Oil by Transesterification Maleation and Epoxidation for Use as Plasticizer in PVC |
| Thesis Credits | 15 |
| Candidate | Miss Athitthan Saenyasenee |
| Thesis Advisors | Assoc. Prof. Dr.Jatuphorn Wootthikanokkhan Prof. Dr.Narongrit Sombatsompop |
| Program | Master of Engineering |
| Field of Study | Materials Technology |
| Department | Materials Technology |
| Faculty | School of Energy, Environment and Materials |
| B.E. | 2555 |

Abstract

This research work concerned the modification of palm olein by transesterification, maleation and epoxidation reaction, respectively. The aim of this work was to explore feasibility of using the modified palm oil as a plasticizer for poly (vinyl chloride) (PVC) by investigating the effects of reaction parameters on content and chemical structure of the products. The parameters studied include glycerolysis time, maleation time, maleic anhydride/glycerolized palm oil molar ratio and epoxidation time. It was found that the maximum monoglyceride content of 61.6% was obtained when the glycerolysis times of 2.5 h were used. It was also found that the optimum conditions corresponding to the preferred structure are 5 h and 1.5:1 molar ratio of maleic anhydride/glycerolized palm oil. For epoxidation reaction, it was found that reaction time ranging between 4 - 8 h resulted in oxirane ring opening. After that, the modified palm oil experienced the 3 above reactions (EMPO) was compounded with poly (vinyl chloride) resin and relevant additives in a twin screw extruder and then fabricated in a compression moulding machine. From tensile testing, it was found that modulus and ultimate strength of PVC compounded with EMPO and epoxidized soybean oil (ESO) decreased while the elongation at break increased when compared with those of unplasticized PVC. The similar results were observed when the ESO was used as a plasticizer. Furthermore, by increasing the EMPO contents, modulus increased of the expense of ultimate strength and elongation at break. These results indicated that the EMPO obtained from this work

could not be used as effective plasticizer for poly (vinyl chloride). It was believed that this was attributed to an insufficient polarity of the EMPO.

Keywords: Modified palm oil/Glycerolysis reaction/Maleation reaction/Epoxidation reaction/
Poly(vinyl chloride)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ. ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ และ ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาระหว่างการทำวิจัย รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้แก่ รศ.นฤมล จิยโชค อาจารย์สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ รศ. ดร.ปราณี ภิญญาชีพ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่สละเวลาในการเข้าสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ รศ. ดร.คณิต กฤษณังกูร และนักศึกษาในกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีลิพิดให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องโครมาโทกราฟี ของเหลวสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด ขอขอบคุณทุนวิจัยจากฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) (สัญญาเลขที่ RDG5450022) ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยและพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์เพื่อการประยุกต์ด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี (PENTEC) และกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย สำหรับวิเคราะห์และทดสอบ ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยของทั้งสองกลุ่ม ตลอดจนเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย และแรงใจในการทำงาน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวสำหรับกำลังใจที่มีให้ตลอดการทำงานวิจัย

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ๗ |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ๘ |
| กิตติกรรมประกาศ | ๑๑ |
| สารบัญ | ๑๒ |
| รายการตาราง | ๑๓ |
| รายการรูปประกอบ | ๑๓ |
| รายการสัญลักษณ์ | ๑๓ |
| ประมวลศัพท์และคำย่อ | ๑๓ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาของงานวิจัยและปัญหาในการทำวิจัย | 1 |
| 1.1.1 ที่มาของงานวิจัย | 1 |
| 1.1.2 ปัญหาที่นำมาสู่งานวิจัย | 2 |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 11 |
| 1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย | 11 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 11 |
| 1.5.1 ด้านวิชาการ | 11 |
| 1.5.2 ด้านเศรษฐศาสตร์ | 11 |
| 2. ทฤษฎี | 12 |
| 2.1 น้ำมันปาล์ม | 12 |
| 2.1.1 การกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ | 14 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.1.2 | การใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์ม | 15 |
| 2.2 | ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพอลิไวนิลคลอไรด์ | 17 |
| 2.2.1 | กระบวนการผลิตพีวีซี | 18 |
| 2.2.2 | การคอมพาวด์พีวีซี | 20 |
| 2.4 | ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 22 |
| 2.5 | ปฏิกิริยาเกลือโซโรไลซิส | 24 |
| 2.6 | ปฏิกิริยามาลีเอชัน | 25 |
| 2.7 | ปฏิกิริยาอีพอกซิเคชัน | 27 |
| 3. | การดำเนินงานวิจัย | 29 |
| 3.1 | วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี | 29 |
| 3.1.1 | เครื่องแก้ว | 29 |
| 3.1.2 | วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ | 29 |
| 3.1.3 | เครื่องมือในการทดลอง | 30 |
| 3.1.4 | สารเคมี | 31 |
| 3.2 | ตรวจวิเคราะห์สมบัติน้ำมันปาล์มโอเลอิน | 33 |
| 3.2.1 | วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) โดยวิธีวิจิส (Wijs) | 33 |
| 3.2.2 | วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน (Free fatty acid) | 34 |
| 3.2.3 | การหาค่าความถ่วงจำเพาะ | 35 |
| 3.2.4 | การหาค่าความหนืด | 35 |
| 3.3 | ปฏิกิริยาการตัดแปรน้ำมันปาล์มโอเลอิน | 35 |
| 3.3.1 | ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 35 |
| 3.3.2 | ปฏิกิริยาเกลือโซโรไลซิส | 36 |
| 3.3.3 | ปฏิกิริยามาลีเอชัน | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.4 | ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน | 36 |
| 3.4 | การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ | 37 |
| 3.4.1 | การวิเคราะห์ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ | 37 |
| 3.4.2 | การวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ | 38 |
| 3.4.3 | การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ | 39 |
| 3.4.4 | การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ | 39 |
| 3.4.5 | การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) | 40 |
| 3.5 | ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมกับน้ำมันปาล์มดัดแปร | 40 |
| 3.5.1 | การเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์และเตรียมตัวอย่างทดสอบสมบัติเชิงกล | 41 |
| 3.5.2 | การศึกษาสมบัติเชิงกล | 44 |
| 4. | ผลการทดลอง | 45 |
| 4.1 | ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา | 45 |
| 4.2 | ผลการดัดแปรโครงสร้างเคมีของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน | 47 |
| 4.3 | ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่มีต่อปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ | 51 |
| 4.4 | ผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ | 53 |
| 4.5 | ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ | 57 |
| 4.6 | ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวด์ | 61 |
| 5. | สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 67 |
| 5.1 | ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา | 67 |
| 5.2 | ผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยา | 67 |
| 5.2.1 | ผลการดัดแปรโครงสร้างเคมีของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน | 67 |

| | | |
|------------------------|--|-----------|
| 5.2.2 | ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเกลือโรไลซิสที่มีต่อปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ | 67 |
| 5.2.3 | ผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ | 67 |
| 5.2.4 | ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ | 68 |
| 5.3 | ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวด์ | 68 |
| 5.4 | ข้อเสนอแนะ | 68 |
| เอกสารอ้างอิง | | 70 |
| ภาคผนวก | | 76 |
| | ก. ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันปาล์มโอเลอิน | 76 |
| | ข. ผลวิเคราะห์น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองหลังผ่านการดัดแปร | 80 |
| | ค. รูปพีวีซีคอมปาวด์ชนิดต่างๆ | 85 |
| ประวัติผู้วิจัย | | 88 |

รายการตาราง

| ตาราง | หน้า | |
|-------|--|----|
| 2.1 | องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ | 13 |
| 2.2 | ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์ม | 14 |
| 2.3 | สมบัติของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธีชนิดต่างๆ | 15 |
| 2.4 | องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปาล์มสเตียรีน และน้ำมันเมล็ดในปาล์มโอเลอิน | 15 |
| 3.1 | รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย | 30 |
| 3.2 | สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย | 31 |
| 3.3 | สูตรการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ | 41 |
| 3.4 | ปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกแต่ละชนิดที่นำมาใช้กับพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ในแต่ละสูตร | 41 |
| 4.1 | ผลวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม โอเลอิน | 45 |
| 4.2 | สมบัติและลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์ม โอเลอินที่ใช้ในงานวิจัย | 46 |
| ก.1 | ผลวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน | 77 |
| ก.2 | องค์ประกอบกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม โอเลอิน | 77 |
| ก.3 | ผลวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม โอเลอิน | 78 |
| ก.4 | ผลวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม โอเลอิน | 79 |
| ข.1 | องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มคัดแปรที่ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส | 81 |

รายการรูปประกอบ

| รูป | | หน้า |
|------|---|------|
| 1.1 | กลไกของปฏิกิริยามาลีเอชัน เอสเทอร์ฟิเคชัน และอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ | 3 |
| 1.2 | การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการสังเคราะห์น้ำมันละหุ่งมาลีเอทที่อุณหภูมิแตกต่างกัน | 5 |
| 1.3 | กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันละหุ่งกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ | 5 |
| 1.4 | โครมาโตแกรม GPC ของ น้ำมันละหุ่ง (CO) และน้ำมันละหุ่งมาลีเอท (MACO) | 6 |
| 1.5 | การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของน้ำมันละหุ่งมาลีเอท | 7 |
| 1.6 | อัตราการออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดขางพาราที่ใช้กรดเปอร์ออกซิติกต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา | 8 |
| 1.7 | กลไกของปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส มาลีเอชัน และ อีพอกซิเดชัน ตามลำดับ | 10 |
| 2.1 | ทะเลาะปาล์มสด และส่วนประกอบของผลปาล์ม | 12 |
| 2.2 | การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน | 16 |
| 2.3 | ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ | 17 |
| 2.4 | กระบวนการผลิตพีวีซี | 19 |
| 2.5 | กลไกการทำงานของสารเสริมสภาพพลาสติก | 21 |
| 2.6 | กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 22 |
| 2.7 | ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 23 |
| 2.8 | กลไกปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส | 25 |
| 2.9 | กลไกปฏิกิริยาคลิสต์แอคเตอร์และปฏิกิริยาอื่น | 26 |
| 2.10 | ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันละหุ่งและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ | 26 |
| 2.11 | การเกิดเปอร์ออกไซด์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน | 28 |
| 3.1 | เครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด | 38 |
| 3.2 | เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (¹ H - NMR) | 38 |
| 3.3 | เครื่องลิวอิโดโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (LC - MS) | 39 |
| 3.4 | เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ATR - FTIR) | 39 |
| 3.5 | เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง | 42 |
| 3.6 | เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ | 42 |

| รูป (ต่อ) | หน้า |
|--|------|
| 3.7 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน | 43 |
| 3.8 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้านทานแรงดึง | 43 |
| 3.9 เครื่องทดสอบสมบัติด้านทานแรงดึง | 44 |
| 4.1 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน | 47 |
| 4.2 HPLC โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 48 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมลน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อเมทานอลกับปริมาณร้อยละไดกลีเซอไรด์ | 49 |
| 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 50 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 51 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ของร้อยละองค์ประกอบและเวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส | 52 |
| 4.7 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน | 52 |
| 4.8 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของน้ำมันปาล์มโอเลอินหลังผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส | 53 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปรด้วยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสกับค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ | 54 |
| 4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยามาลีเอชันของน้ำมันปาล์มตัดแปร | 54 |
| 4.11 สเปกตรัม FTIR ของน้ำมันปาล์มตัดแปรก่อนและหลังผ่านปฏิกิริยามาลีเอชัน | 55 |
| 4.12 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยามาลีเอชัน | 56 |
| 4.13 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 4 ชั่วโมง | 58 |
| 4.14 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 6 ชั่วโมง | 59 |
| 4.15 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 8 ชั่วโมง | 60 |
| 4.16 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและการเปิดวงแหวนออกซิเรน | 60 |
| 4.17 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ MPO ในสัดส่วน 60 pph | 61 |
| 4.18 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ MPO ในสัดส่วน 20 pph | 61 |
| 4.19 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ใช้ MPO เมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นซีท | 62 |
| 4.20 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ EMPO ในสัดส่วน 60 pph | 62 |

| รูป (ต่อ) | หน้า |
|---|------|
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับความเครียดของพีวีซีคอมปาวด์ | 63 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของพีวีซีคอมปาวด์ | 64 |
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงของพีวีซีคอมปาวด์ | 65 |
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของพีวีซีคอมปาวด์ | 66 |
| ข.1 โครมาโตแกรม LC-MS ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มโอเลอิน | 81 |
| ข.2 โครมาโตแกรม LC-MS ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปร โดยปฏิกิริยาเกลือโรไลซิส | 82 |
| ข.3 โครมาโตแกรม LC-MS ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปร โดยปฏิกิริยาเกลือโรไลซิสและมาลีเอชัน ตามลำดับ | 82 |
| ข.4 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยา มาลีเอชันก่อนทำการล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำกลั่น | 83 |
| ข.5 สเปกตรัม ¹ H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ | 84 |
| ค.1 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวคายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 30 : 30 pph | 86 |
| ค.2 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวคายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 20 : 40 pph | 86 |
| ค.3 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวคายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 15 : 45 pph | 86 |
| ค.4 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวคายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 10 : 50 pph | 87 |

รายการสัญลักษณ์

| | | |
|------------|---|--|
| B | = | ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรทกับแบลنگก์ |
| S | = | ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรทกับสารตัวอย่าง |
| N | = | ความเข้มข้นของสารละลาย |
| W | = | น้ำหนักสารตัวอย่าง |
| m | = | น้ำหนักน้ำมัน |
| v | = | ปริมาณของฟิคโนมิเตอร์ |
| A | = | ปริมาณสารละลายโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรทจนถึงจุดยุติ |
| C | = | ความเข้มข้นของสารละลายโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ |
| G | = | น้ำหนักสารตัวอย่าง |
| F | = | แรงที่ใช้ในการดึง |
| A_0 | = | พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น |
| L_i | = | ความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ |
| L_0 | = | ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน |
| ΔL | = | ผลต่างของความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำกับความยาวเริ่มต้น |

ประมวลศัพท์และคำย่อ

| | | |
|------|---|---|
| PVC | = | Polyvinyl chloride |
| MA | = | Maleic anhydride |
| MD | = | Monoglyceride and diglyceride |
| MPO | = | Maleated glycerized palm oil |
| EMPO | = | Epoxidized maleated glycerized palm oil |
| ESO | = | Epoxidized soybean oil |
| GPC | = | Gel permeation chromatography |
| m/z | = | Mass per charge |
| pph | = | Parts per hundred |
| ppm | = | Parts per million |

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัยและปัญหาในการทำวิจัย

1.1.1 ที่มาของงานวิจัย

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) หรือพีวีซี (PVC) เป็นพลาสติกเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ ประเทศไทยมีกำลังการผลิตพีวีซีมากถึง 920,000 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 10 ของพลาสติกทั้งหมดที่ผลิตในประเทศไทย [1] และนอกจากนั้นประเทศไทยยังถือเป็นผู้ส่งออกพีวีซีมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1] พีวีซีถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดพลาสติก ฟิล์มหุ้มอาหารและถาดบรรจุอาหาร ด้านการก่อสร้างและตกแต่ง เช่น กรอบประตูหน้าต่าง ท่อน้ำ สายยางรดน้ำ ม่านห้องน้ำ ม่านอาคาร บ้านเรือน ม่านห้องเย็น ม่านโรงงาน หนังสือ ถุงมือ ของเล่น หรืองานด้านการแพทย์ เช่น ท่อล้างไต และถุงเลือด เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากพีวีซีมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ทนทานต่อสารเคมี ทำความสะอาดง่าย ไม่เกาะติดสิ่งสกปรก ไวไฟต่ำและมีความแข็งแรง คงทนพอสมควร ไม่เป็นสนิมเมื่อเปียกน้ำ และราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตามธรรมชาติของพีวีซีนั้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเปราะและทนการดึงยืดได้ต่ำ ทำให้ยากต่อการขึ้นรูป ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวหรือความสามารถในการใช้งานและการแปรรูป [2, 3]

สารเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตขึ้นรูปพีวีซีมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สารเสริมสภาพพลาสติกในกลุ่มพทาเลท (Phthalate) และกลุ่มเอสเตอร์ของพทาเลท (Phthalate esters) โดยสารเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้มากที่สุดคือ ไดเอทิลเฮกซิลพทาเลท (Diethylhexyl phthalate, DEHP) (หรืออีกชื่อหนึ่งเรียกว่า ไดออกทิลพทาเลท (Dioctyl Phthalate, DOP)) [2, 4] ซึ่งสารดังกล่าวมีรายชื่ออยู่ในรายการสารมลพิษ (Priority pollutants) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, USEPA) โดยสารดังกล่าวจะไม่แสดงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน แต่จะแสดงในลักษณะพิษเรื้อรังเป็นผลให้เกิดอาการตกเลือดในปอด (Lung hemorrhage), ตับโต (Hepatomegaly) เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (Cytotoxicity) ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) เกิดการก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity) และทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (Teratogenicity) [4] ความเป็นพิษดังกล่าวทำให้เกิดการต่อต้านการใช้สารเสริมสภาพพลาสติกกลุ่มพทาเลทในตลาดโลก และเกิดมาตรการกีดกันทางการค้าสำหรับการนำเข้าผลิตภัณฑ์พีวีซีที่มีสารกลุ่มดังกล่าว เช่น ประเทศออสเตรเลียออกกฎหมายห้ามการผลิตและนำเข้าสินค้าของเล่นที่มี

ส่วนประกอบของสารพลาเทท ในขณะที่ประเทศสเปนและประเทศเดนมาร์ก ได้ห้ามการจำหน่ายสินค้า พีวีซี บางประเภท เป็นต้น [5]

ในปัจจุบันจึงมีความสนใจในการนำสารที่ได้จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซี อาทิเช่น น้ำมันคาโนลา (Canola oil) น้ำมันลินซีด (Linseed oil) น้ำมันเรพซิด (Rapeseed oil) น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันผสมจากพืช ดังกล่าว เป็นต้น [6] ซึ่งน้ำมันที่นำมาใช้จะมีค่าความไม่อิ่มตัว (Iodine value, I.V.) ที่สามารถตัดแปร โครงสร้างทางเคมีโดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันได้ ทำให้เกิดหมู่เอซิริน (Oxirane) ขึ้นภายในโมเลกุลและทำให้สภาพขั้วภายในของโครงสร้างน้ำมันตัดแปรเปลี่ยนแปลงไป

น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบที่มีมากในประเทศ อีกทั้งพืชปาล์มยังสามารถให้น้ำมันได้จากทั้งในส่วนของผลและเมล็ด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการตัดแปร โครงสร้างเคมีน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซี

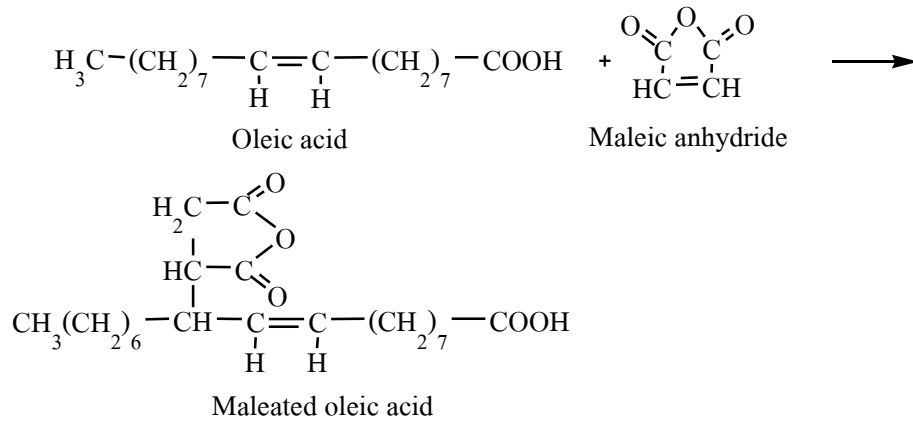
1.1.2 ปัญหาที่นำมาสู่งานวิจัย

น้ำมันปาล์มมีค่าความไม่อิ่มตัวต่ำ (I.V. 50 - 55) [7] เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันที่นิยมนำมาทำอีพอกซิเดชัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง (I.V. 120 - 143) และน้ำมันลินซีด (I.V. 170 - 200) เป็นต้น [6] ทำให้แม้จะผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันแล้ว ก็ได้สภาพขั้วของน้ำมันที่สูงไม่มากพอ ส่งผลต่อความเข้ากันได้กับพีวีซี ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องพัฒนาวิธีการตัดแปร โครงสร้างเคมีน้ำมันปาล์ม เพื่อให้มีสภาพขั้วสูงขึ้น โดยสภาพขั้วขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่แทนที่เอสเตอร์และอีพอกไซด์ซึ่งขึ้นกับสภาวะในการสังเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตามผลของสภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์

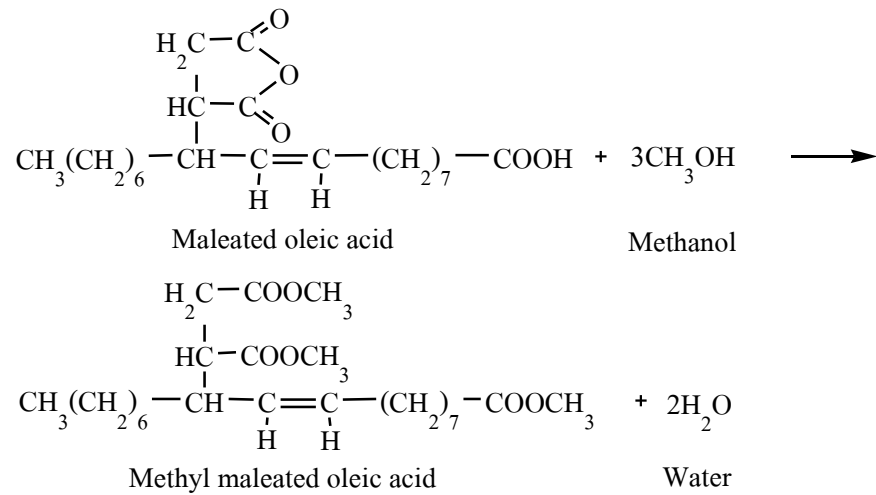
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Riedeman และ Lupichuk [8] ได้คิดค้นสารประกอบ เพื่อใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกและสารให้ความคงตัว (Stabilizer) สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์เรซิน จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยามาลีเอชัน ปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยสารดังกล่าวสามารถเข้ากันได้ดี (Compatible) กับพีวีซีและไม่ไหลเยิ้มออก (Bleed out) จากชิ้นงาน

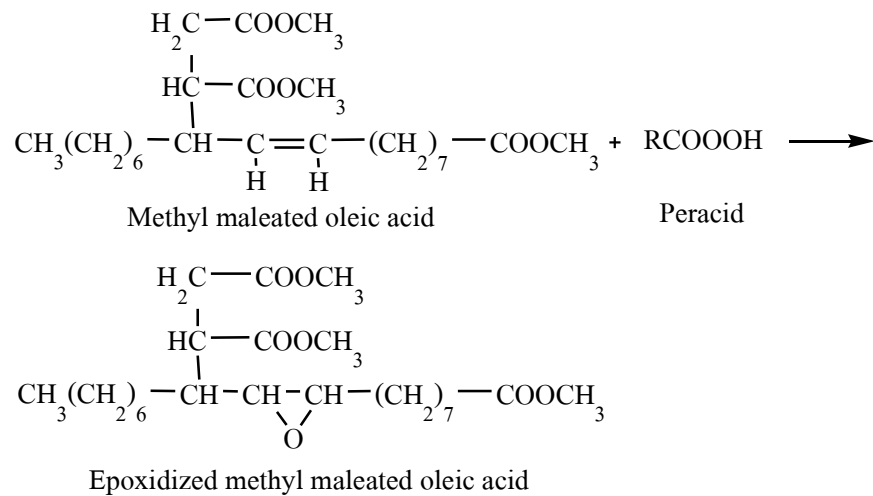
1) Maleation



2) Esterification



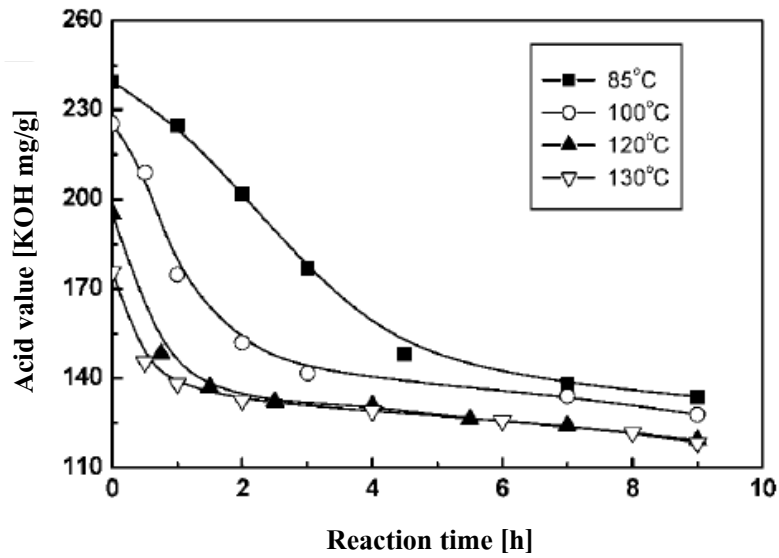
3) Epoxidation



รูปที่ 1.1 กลไกของปฏิกิริยามาลีเอชัน เอสเทอร์ฟิเคชัน และอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ [8]

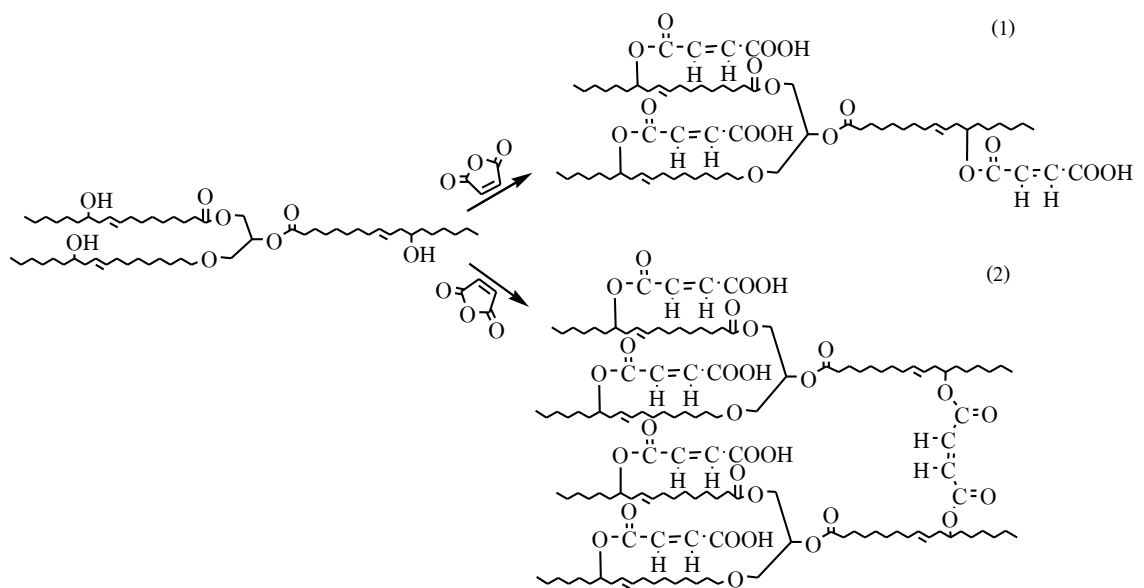
Can และคณะ [9] ได้สังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์มาลิเอท โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ ให้ได้น้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยาไกลีเซอโรไลซิสที่อุณหภูมิ 220 – 230 องศาเซลเซียส ใช้กลีเซอรอลในอัตราส่วนโดยโมลที่มากเกินไปและใช้สบู่เป็นตัวประสาน (Emulsifier) เพื่อให้กลีเซอรอลและน้ำมันถั่วเหลืองผสมเข้ากันได้ดี ภายใต้สภาวะไนโตรเจน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์มาทำปฏิกิริยากับมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ในขั้นปฏิกิริยามาเลชันต่อ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยมี ไคเมทิล อิมิดาโซล (2-methyl imidazole) และ ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าที่สภาวะดังกล่าวของปฏิกิริยาไกลีเซอโรไลซิสให้น้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์เกิดขึ้นจริง จากผลการพิสูจน์โครงสร้างโดยใช้เทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ซึ่งบ่งชี้ตำแหน่งโปรตอนของ CH-OH และ $\text{CH}_2\text{-OH}$ จากพิกที่ เกิดในตำแหน่ง 3.7 ppm และเทคนิค IR ซึ่งเกิดพิกที่ตำแหน่ง 3384 cm^{-1} ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีหมู่ไฮดรอกซี (Primary and secondary OH group) ในโครงสร้าง ส่วนสภาวะที่ใช้ในปฏิกิริยามาเลชัน ก็ให้โครงสร้างที่เกิดการเชื่อมโยงกันของวงแอนไฮไดรด์ที่เป็ดออกกับโครงสร้างน้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์ได้ พิสูจน์โดยใช้เทคนิค NMR และ IR ซึ่งไม่ปรากฏพิกของโปรตอนแอนไฮไดรด์ที่ตำแหน่ง 7.1 ppm แต่ปรากฏพิกของมาลิเอท (Maleate) และฟูมาเรทเอสเทอร์ (Fumarate ester) ที่ตำแหน่ง 6.35 และ 6.90 ppm ตามลำดับ ในขณะที่พิกของโปรตอน CH-OH ที่ตำแหน่ง 3.7 ppm หายไป เกิดพิกของโปรตอน COOH ที่ตำแหน่ง 8.95 ppm ขึ้นมาแทน และเกิดการลดลงของพิกที่ตำแหน่ง 1779 และ 1849 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของวงแอนไฮไดรด์ ในขณะที่เกิดการเพิ่มขึ้นของพิกกว้างที่ตำแหน่ง 2500 และ 3600 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิลิก

Wang และคณะ [10] ได้สังเคราะห์น้ำมันละหุ่งมาลิเอทโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อน้ำมันละหุ่งเท่ากับ 2.5 : 1 โดยปราศจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะไนโตรเจน พบว่าการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น จากนั้นค่าดังกล่าวจึงเริ่มเข้าสู่ระดับปกติ เนื่องมาจากการลดลงของความเข้มข้นของสารองค์ประกอบ (หมู่คาร์บอกซิลิก) และปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ร้อยละ 80

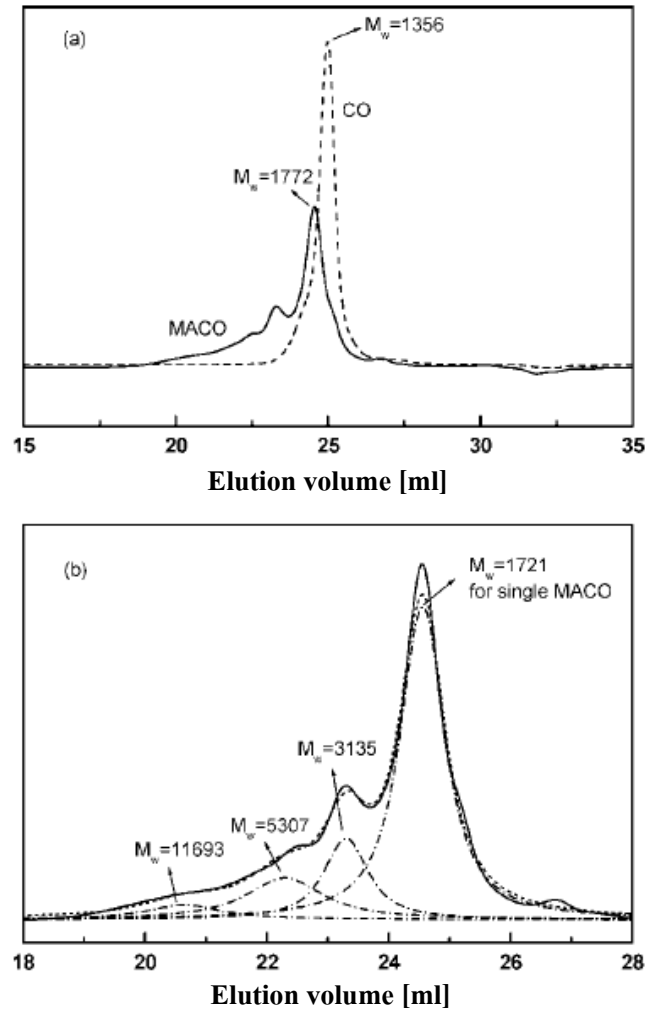


รูปที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการสังเคราะห์น้ำมันละหุ่งมาลีเอทที่อุณหภูมิแตกต่างกัน [10]

ผลิตภัณฑ์น้ำมันละหุ่งมาลีเอทที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.3 (1) แต่อย่างไรก็ตามเป็นไปได้ว่าอาจเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงประเภทโพลิโกเมอร์ ดังรูปที่ 1.3 (2) ขึ้นได้เช่นกัน โดยจากการเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันละหุ่งมาลีเอทกับน้ำมันละหุ่งก่อนการทำปฏิกิริยาดังรูปที่ 1.4 พบว่าน้ำมันละหุ่งมาลีเอทมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าน้ำมันละหุ่งก่อนทำปฏิกิริยา และน้ำหนักโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นแบบโพลิโกเมอร์

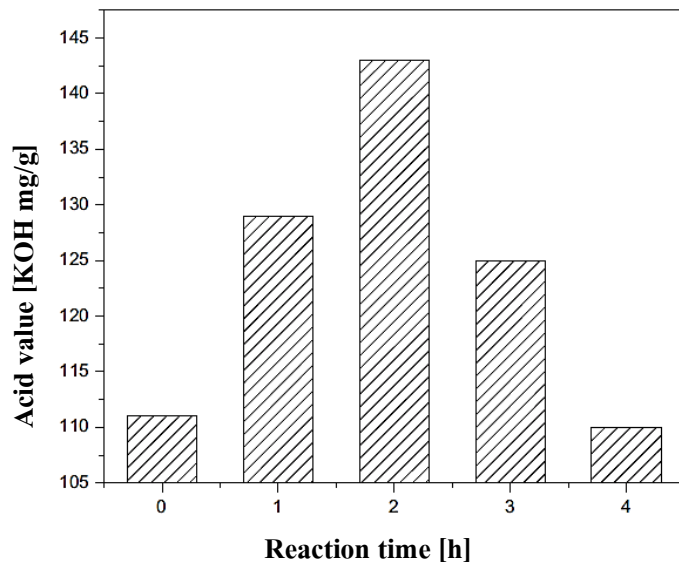


รูปที่ 1.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันละหุ่งกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์
 1) น้ำมันละหุ่งมาลีเอทสายเดี่ยว 2) โดเมอร์ของน้ำมันละหุ่งมาลีเอท [10]



รูปที่ 1.4 (a) โครมาโตแกรม GPC ของ น้ำมันละหุ่ง (CO) และน้ำมันละหุ่งมาลีเอท (MACO)
 (b) โครมาโตแกรม GPC แบบขยายของน้ำมันละหุ่งมาลีเอท [10]

Mistri และคณะ [11] เตรียมน้ำมันละหุ่งมาลีเอทโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลมาเลอิก แอนไฮไดรด์ต่อ น้ำมันละหุ่งเท่ากับ 3 : 1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า 2 ชั่วโมงแรกค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีกลุ่มกรดอิสระ (Free acid group) เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปถึงชั่วโมงที่ 3 และ 4 พบว่าค่าความเป็นกรดลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 1.5) ซึ่งเป็นผลจากโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนรูปแบบไปเป็นไดเมอร์ ไตรเมอร์ หรือโอลิโกเมอร์

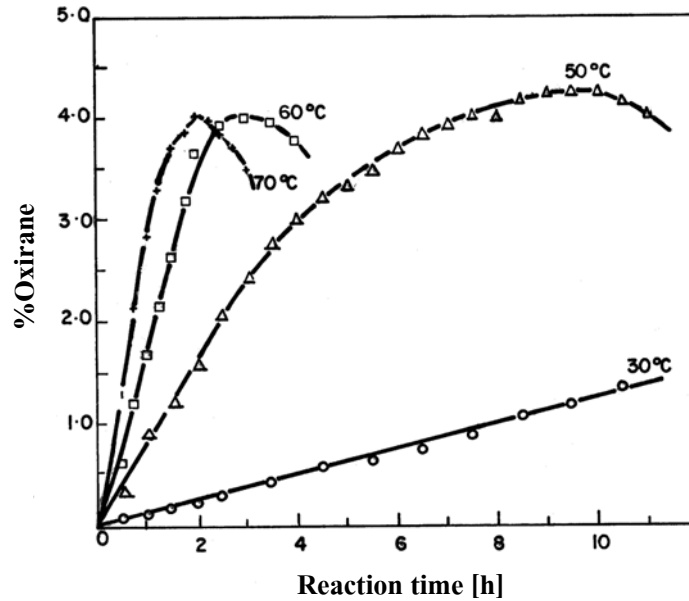


รูปที่ 1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของน้ำมันมะพร้าว [11]

คารณี เจริญสุข [12] เตรียมน้ำมันปาล์มเมทิลเอสเทอร์อีพอกซีไคซ์ โดยใช้กรดเปอร์อะซิติกหยดลงในสารละลายน้ำมันปาล์มในเฮกเซน ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส พบว่าด้วยขั้นตอนและวิธีการดังกล่าวให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ร้อยละ 94.50 และด้วยวิธีดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสังเคราะห์น้ำมันรำข้าวเมทิลเอสเทอร์อีพอกซีไคซ์ และน้ำมันถั่วเหลืองเมทิลเอสเทอร์อีพอกซีไคซ์ ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ร้อยละ 93.50 และ 92.35 ตามลำดับ

Derawi และ Salimon [13] ได้ศึกษาการเตรียมน้ำมันปาล์มโอเลอินอีพอกซีไคซ์ โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก ที่เตรียมขึ้นในระบบ *in situ* พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:5:2 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นสถานะที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูงสุดร้อยละ 91.3 และให้ค่าออกซิเรน ออกซิเจนสูงสุดร้อยละ 3.61 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงตามทฤษฎี (ร้อยละ 3.74)

Okieimen และคณะ [14] ศึกษาปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันของน้ำมันเมล็ดขางพาราโดยวิธี *in situ* แบบใช้กรดเปอร์อะซิติก ที่มีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิและอัตราการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.6 เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียสมีการสลายตัวของอีพอกไซด์น้อยที่สุด



รูปที่ 1.6 อัตราการออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่ใช้กรดเปอร์ออกซิติกต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา [14]

Benaniba และ Massardier-Nageotte [15] ได้นำน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันอีพอกไซด์ (Epoxidized sunflower oil) หรือ ESO ที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้ระบบ in situ ของกรดเปอร์ออกซิติก มาผสมใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกร่วมกับไดทูเอทิล เฮกซิล พทาเลท (di - (2-ethyl hexyl) phthalate) หรือ DEHP ในปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติกร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบแผ่นซีท (sheet) พบว่าสามารถใช้ ESO เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกร่วมกับ DEHP ได้ และในการทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิค TGA นั้น ที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของ ESO : DEHP เท่ากับ 15 : 45 เป็นอัตราส่วนผสมที่มีการหายไปของน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด และจากผลการทดสอบสมบัติทางกลเชิงไดนามิก โดยใช้เทคนิค DMA แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนผสม ESO ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) หรือ Tg มีการขยับเข้าใกล้อุณหภูมิห้องมากยิ่งขึ้น

ประภาพรณ จิตรเที่ยง [16] ศึกษาความเป็นได้ในการใช้สารเสริมสภาพพลาสติกที่ทำจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันสำหรับพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับกรใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์และการใช้ร่วมกับ DOP ในการทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ในอัตราส่วน 10 – 40 pph พบว่าค่าการต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว และค่าโมดูลัสของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันผสมน้ำมันพาล์มอีพอกไซด์ที่เติมเข้าไปแทนที่ DOP มากขึ้น ในขณะที่การเติมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์เข้าไปแทนที่ DOP จะให้ค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดตัวที่ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะใช้สัดส่วนผสมเท่าไรก็ตาม

จากงานวิจัยเกี่ยวข้องที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าปฏิกริยาเกลือโซโรไลซิสที่ใช้สังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ นั้น ต้องใช้เกลือโซโรไลนอัตราส่วนโดยโมลที่มากเกินไป และทำปฏิกริยาที่อุณหภูมิ 220 – 230 องศาเซลเซียส [9] แต่ยังไม่พบเวลาในการทำปฏิกริยาในช่วงที่จะให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดสำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกริยาเกลือโซโรไลซิสต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้ โดยคาดหวังว่าจะได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดที่สภาวะดังกล่าว ส่วนปฏิกริยามาลีเอชันพบว่าทั้งแบบที่ใช้ตัวเร่ง [9] และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกริยา [10, 11] ซึ่งทางผู้วิจัยฯ สนใจที่จะลดการใช้สารเคมีในการสังเคราะห์จึงเลือกแนวทางที่จะไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกริยาในขั้นตอน มาลีเอชัน โดยในกรณีดังกล่าวอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 120 – 130 องศาเซลเซียส [10, 11] ซึ่งจะให้โครงสร้างผลิตภัณฑ์เป็นไปตามแบบที่ต้องการ ดังนั้นในขั้นตอนของปฏิกริยามาลีเอชันจึงได้ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโมโนกลีเซอไรด์ต่อมาเลอิก แอนไฮไดรด์ และระยะเวลาในการทำปฏิกริยาเพิ่ม เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอ และปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ หลังผ่านการทำปฏิกริยาในขั้นตอนนี้ โดยคาดหวังว่าปัจจัยดังกล่าวจะช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นไปตามที่ต้องการให้มีปริมาณมากที่สุด ส่วนปฏิกริยาอีพอกซิเดชันนั้น ได้เลือกสภาวะ จากงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งสามารถนำสภาวะดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการเตรียมน้ำมันปาล์ม โอเลอินอีพอกซิเดชัน โดยการทำปฏิกริยาอีพอกซิเดชันในระบบ *in situ* ที่เตรียมขึ้นจากการใช้กรด เปอร์อะซิดิก สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส [12] โดยได้ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกริยาเพิ่ม เนื่องจากปัจจัยของเวลาส่งผลต่อความสมบูรณ์ของการเกิดวงออกซิเรนและการเปิดออกของวง ออกซิเรน อีกทั้งในน้ำมันแต่ละชนิดระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำปฏิกริยาจะแตกต่างกัน โดย กลไกของปฏิกริยาในแต่ละขั้นตอนที่คาดว่าจะเกิดในการสังเคราะห์ดัดแปรน้ำมันปาล์มโอเลอินแสดง ดังรูปที่ 1.7 และนอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทดลองนำน้ำมันปาล์มโอเลอินดัดแปรดังกล่าวไปใช้เป็นสาร เสริมสภาพพลาสติกให้กับพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ด้วย โดยใช้ปริมาณของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ดัดแปรในส่วนผสมสูงสุดปริมาณ 60 pph [15] โดยทดลองใช้ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ [16] โดยคาดหวังว่าอย่างน้อยน้ำมันดัดแปรดังกล่าวจะสามารถทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อคัดแปรน้ำมันปาล์มที่สกัดจากผล (Palm oil) โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์
- 3) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันปาล์มสังเคราะห์จากปฏิกิริยาข้างต้นไปใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกให้กับพีวีซี โดยศึกษาผ่านสมบัติเชิงกลของวัสดุ

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

- 1) น้ำมันปาล์มที่นำมาคัดแปร คือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm olein) ที่สกัดจากผลปาล์ม
- 2) คัดแปรโครงสร้างน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มาลีเอชัน และอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ
- 3) ศึกษาปัจจัยในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ อุณหภูมิ (30 และ 40 องศาเซลเซียสและเวลา (5, 10, 15, 20 และ 25 นาที) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- 4) ศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่มีต่อปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ (0.5 – 7 ชั่วโมง)
- 5) ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลมาเลอิก แอนไฮไดรด์ต่อโมโนกลีเซอไรด์ (1.5:1, 2:1) และเวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชัน (1 – 5 ชั่วโมง) ในการทำปฏิกิริยามาลีเอชัน ที่มีต่อค่าความเป็นกรดและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์
- 6) ศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (4, 6 และ 8 ชั่วโมง) ในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีผลต่อการเกิดวงอีพอกไซด์และลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์
- 7) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมขึ้นรูปพีวีซีคอมปาวด์โดยใช้น้ำมันปาล์มคัดแปรจากข้อ 3 และ 6 เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก โดยปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้เท่ากับ 20 และ 60 pph

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ด้านวิชาการ

สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาและปรับปรุงวิธีการเตรียมสารเสริมสภาพพลาสติกให้กับน้ำมันพีชชนิดอื่นได้

1.5.2 ด้านเศรษฐศาสตร์

สามารถเพิ่มมูลค่าน้ำมันปาล์มในรูปของสารเสริมสภาพพลาสติกและเป็นอีกทางเลือกสำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

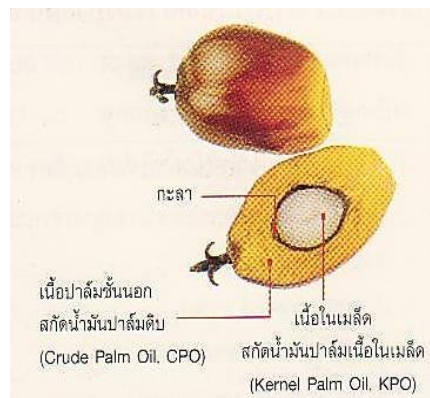
บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง นิยมปลูกมากในภาคใต้ของประเทศไทย เช่น กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสตูล โดยได้ผลผลิตเป็นทะลายปาล์มสดประมาณ 4.5 ล้านตัน/ปี [17] ปาล์มน้ำมันมีลักษณะทางกายภาพเป็นพืชน้ำมันยืนต้นขนาดใหญ่ มีอายุหลายปี ถ้าดูลักษณะทั่วไปแล้ว ปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะคล้ายกับมะพร้าว สละ กระจ่าง และพืชพวกปาล์มอื่นๆ ปาล์มน้ำมันมีส่วนที่ให้น้ำมันอยู่ 2 ส่วนคือ เนื้อในเมล็ด (Palm kernel oil) และเนื้อที่หุ้มเมล็ด (Palm oil) น้ำมันที่สกัดจากเนื้อในเมล็ดปกติจะมีปริมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเมล็ดใน ซึ่งเนื้อในส่วนเมล็ดในนี้ก็คือ เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ของเมล็ดปาล์ม น้ำมันจากเนื้อในมีสมบัติหรือองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว โดยมีกรดไขมันอิ่มตัวสูง คือกรดลอริก (Lauric acid) อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งกรดลอริกจะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส น้ำมันจากเนื้อในไม่มีสีหรืออาจมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ส่วนน้ำมันปาล์มจากเนื้อส่วนที่หุ้มเมล็ดมีปริมาณร้อยละ 45 - 55 ของชั้นเนื้อที่หุ้มเมล็ด มีสีเหลืองสดจนถึงสีส้มแดง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ น้ำมันปาล์มมีจุดหลอมเหลว 25 - 50 องศาเซลเซียส โดยมีข้อสังเกตว่า น้ำมันปาล์มในส่วนของเนื้อหุ้มเมล็ดจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันในส่วนของเนื้อในเมล็ด [18, 19]



(1)



(2)

รูปที่ 2.1 (1) ทะลายปาล์มสด และ (2) ส่วนประกอบของผลปาล์ม [18]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ [20]

| ชนิดของกรดไขมัน | ร้อยละกรดไขมันในน้ำมัน | ร้อยละกรดไขมันในน้ำมัน |
|---------------------------|------------------------------|--|
| | ปาล์มดิบ (Crude palm oil) | เมล็ดในปาล์มดิบ (Crude palm kernel oil) |
| กรดไขมันอิ่มตัว | 50 | 82 |
| C 6:0 (caproic acid) | 0 | 0.1 - 0.5 |
| C 8:0 (acrylic acid) | 0 | 3.4 - 5.9 |
| C 10:0 (capric acid) | 0 | 3.3 - 4.4 |
| C 12:0 (lauric acid) | 0.1 - 0.4 | 46.3 - 51.1 |
| C 14:0 (myristic acid) | 1.0 - 1.4 | 14.3 - 16.8 |
| C 16:0 (palmitic acid) | 40.9 - 47.5 | 6.5 - 8.9 |
| C 18:0 (stearic acid) | 3.8 - 4.8 | 1.6 - 2.6 |
| C 20:0 (arachidic acid) | 0 - 0.8 | 0 |
| กรดไขมันไม่อิ่มตัว | 50 | 18 |
| C 16:1 (palmitoleic acid) | 0 - 0.6 | 0 |
| C 18:1 (oleic acid) | 36.4 - 41.2 | 13.2 - 16.4 |
| C 18:2 (linoleic acid) | 9.2 - 11.6 | 2.2 - 3.4 |
| C 18:3 (linolenic acid) | 0 - 0.5 | 0 |

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มธรรมชาติยังมีวิตามินเอและอีสูงกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น และในผลปาล์มสุกจะมี เอนไซม์ไลเปส (Lipase) ที่เร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ทำให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นทะเลาะปาล์มสดที่ถูกตัดลงจากต้น ต้องรีบส่งให้ถึง โรงงานเร็วที่สุด [18] โดยน้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพควรมีลักษณะ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์ม [7]

| ลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | |
|--|-------------------------|-----------------------------|
| | น้ำมันปาล์ม ธรรมชาติ | น้ำมันปาล์ม ผ่านกรรมวิธี |
| ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่ 50/20 องศาเซลเซียส | 0.891 - 0.899 | 0.891 - 0.899 |
| ดัชนีหักเห ที่ nD 50 องศาเซลเซียส | 1.455 - 1.456 | 1.455 - 1.456 |
| จุดขุ่น (องศาเซลเซียส) | ไม่กำหนด | ไม่กำหนด |
| น้ำและสารที่ระเหยได้ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน) | 0.2 | 0.2 |
| สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน) | 0.05 | 0.05 |
| ค่าไอโอดีนแบบวิจส์ | 50 - 55 | 50 - 55 |
| ค่าสะปอนนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) | 190 - 209 | 190 - 209 |
| สารที่สะปอนนิไฟด์ไม่ได้ (กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม ไม่เกิน) | 12 | 12 |
| ค่าของกรด (มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม ไม่เกิน) | 4 | 0.6 |
| ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน/กิโลกรัม ไม่เกิน) | 10 | 10 |
| สบู่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน) | 0 | 0.005 |
| บีตาแคโรทีน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) | 500 - 2,000 | ไม่กำหนด |

2.1.1 การกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์

น้ำมันที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นผลผลิตออกมาในรูปของน้ำมันดิบ ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง จึงต้องมีการนำมากลั่นให้บริสุทธิ์จะได้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธี (RBD Palm Oil, โดย RBD ย่อมาจากคำว่า Refining Bleaching Deodorising ซึ่งมีความหมายว่า น้ำมันถูกกลั่น ฟอกสีและกำจัดกลิ่นเรียบร้อยแล้ว) กระบวนการกลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์เป็นการกำจัดสิ่งต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกไปจากน้ำมันดิบ สารต่างๆ ที่ถูกสกัดออกไปนี้ก็คือ สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน สารในกลุ่มออกซิเดทีฟและสารตัวเร่งให้เกิดสารพิษ

ถ้านำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธีมาผ่านกระบวนการแยกของเหลวพวกปาล์มโอเลอิน (Olein) ออกจากไขปาล์ม (Stearin) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว จะได้น้ำมันที่เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินบริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธี (RBD Palm Olein) ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อนที่อุณหภูมิห้อง [18]

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธีชนิดต่างๆ [19]

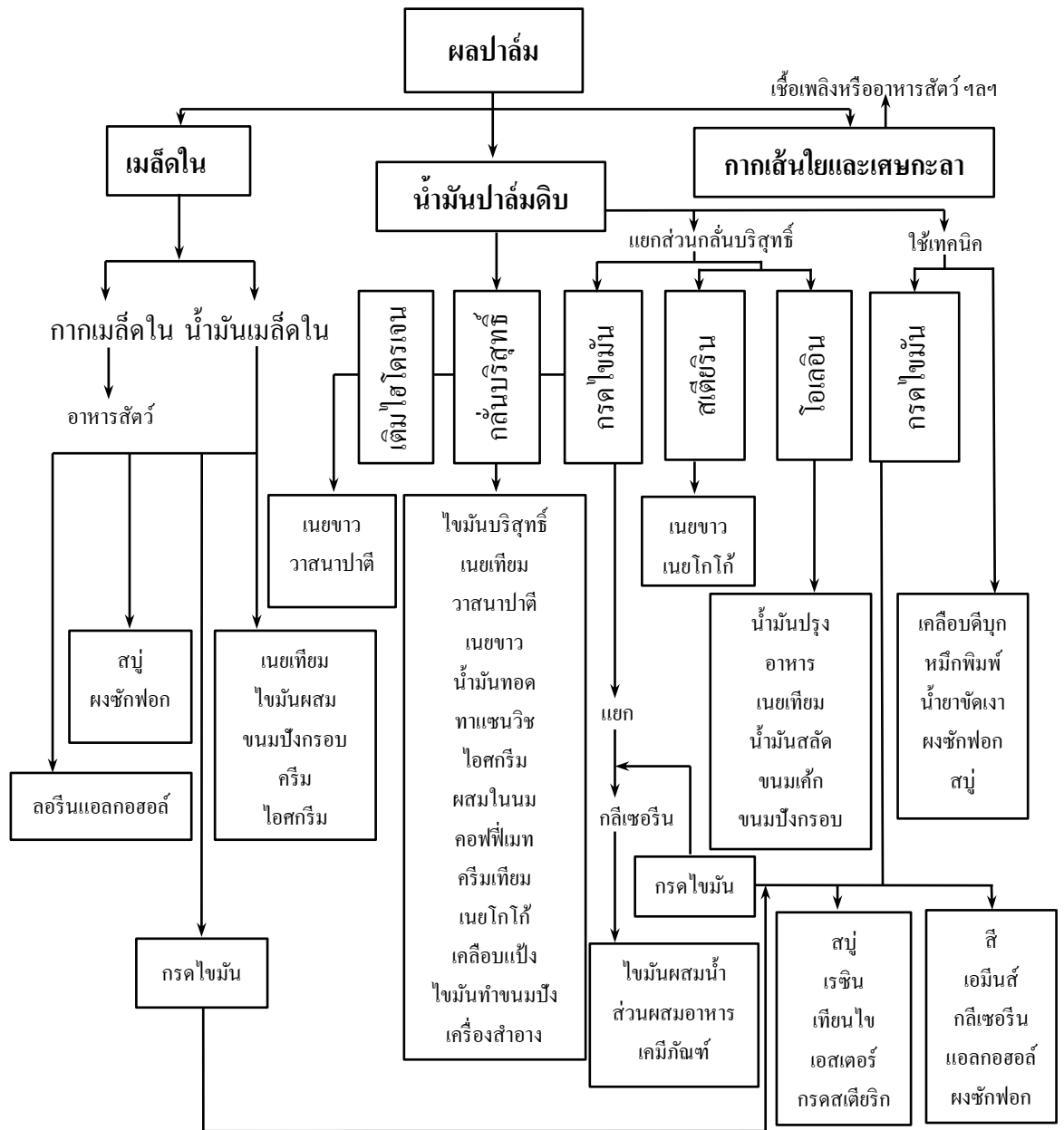
| ชนิดของน้ำมัน บริสุทธิ์ผ่านกรรมวิธี | กรดไขมันอิสระ (กรดปาล์มมิติก) | ความชื้น | ค่าไอโอดีน (แบบวิจัส) | จุดหลอมเหลว °C (AOCS 3 - 25) |
|--|----------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| น้ำมันปาล์ม | < ร้อยละ 0.1 | < ร้อยละ 0.1 | 50 - 55 | 33 - 39 |
| ปาล์มโอเลอิน | < ร้อยละ 0.1 | < ร้อยละ 0.1 | > 56 | < 24 |
| ปาล์มสเตียรีน | < ร้อยละ 0.2 | < ร้อยละ 0.15 | < 48 | > 44 |

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมัน
เมล็ดในปาล์มโอเลอิน [20]

| ชนิดน้ำมัน | ค่า ไอโอดีน | องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (จำนวนคาร์บอน : พันธะคู่) | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 6:0 | 8:0 | 10:0 | 12:0 | 14:0 | 16:0 | 18:0 | 18:1 | 18:2 | |
| ปาล์มดิบ | 53.3 | - | - | - | 0.2 | 1.1 | 44.0 | 4.5 | 39.2 | 10.1 | |
| ปาล์มโอเลอิน | 58.4 | - | - | - | 0.2 | 1.0 | 39.8 | 2.3 | 42.5 | 11.2 | |
| ปาล์มสเตียรีน | 35.3 | - | - | - | 0.3 | 1.3 | 55.0 | 4.5 | 29.5 | 7.4 | |
| เมล็ดในปาล์มโอเลอิน | 25.5 | 0.4 | 5.4 | 3.9 | 41.5 | 11.8 | 8.4 | 2.0 | 22.8 | 3.3 | |

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์ม

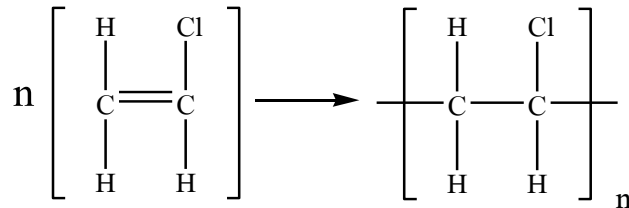
ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นอาหารและที่มิใช่อาหารหรือมีประโยชน์ทั้งด้านการบริโภคและอุปโภคนั่นเอง ความหลากหลายของการใช้ประโยชน์ดังกล่าวสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้แสดงดังรูปที่ 2.2 เช่น ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินทำอาหารในครัวเรือนหรือใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ที่ต้องมีการทอด เนยเทียม ไอศกรีม ขนมขบเคี้ยวและลูกกวาด ครีมเทียมประเภทต่างๆ สบู่และผงซักฟอกและอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล (Oleochemical) ซึ่งรวมถึงการผลิตเชื้อเพลิง (เมทานอล) เพื่อใช้กับเครื่องยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน [19]

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพอลิไวนิลคลอไรด์

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl chloride)) หรือ พีวีซี เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการรวมตัวของไวนิลคลอไรด์หน่วยเดียว (Vinyl chloride monomer: VCM) ภายในโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) รวมกันประมาณร้อยละ 43 โดยน้ำหนัก และมีคลอรีน (Cl) ร้อยละ 57 โดยน้ำหนัก [21] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ [2]

พีวีซี เป็นสารที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติเด่นที่สำคัญ ดังนี้ [3, 22]

- 1) เป็นพลาสติกที่อยู่ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กล่าวคือ มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงสามารถหลอมเหลวหรือผ่านแรงดันได้หลายครั้งโดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม ดังนั้นจึงสามารถนำมาขึ้นรูปใหม่หลายครั้งได้
- 2) มีความทนทานต่อสารเคมีบางชนิด เช่น จารบีแต่ไม่ทนต่อกรดเข้มข้นและตัวทำละลายบางชนิด เช่น คีโตน (Ketones), เอสเทอร์ (Esters), คลอรีเนตเตท (Chlorinated) และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) เป็นต้น
- 3) ไวไฟต่ำ ติดไฟยากกว่าไม้และเมื่อติดไฟจะดับได้ด้วยตัวเอง ทั้งยังให้ความร้อนน้อยกว่าไม้หรือพลาสติกชนิดอื่น ดังนั้นพีวีซีจะช่วยลดอัตราการติดไฟและการลุกลามของไฟลงได้

นอกจากนี้ พีวีซียังมีสมบัติเฉพาะตัวอื่นๆ เช่น มีความแข็งแรงสูง สามารถออกแบบให้มีความแข็งหรือนุ่มตลอดจนปรับความใสได้ตามต้องการ ทำความสะอาดง่ายไม่เกาะติดสิ่งสกปรก สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ดี ไม่เป็นสนิมเมื่อเปียกน้ำ มีน้ำหนักเบา มีอายุการใช้งานนาน และทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศและสิ่งแวดล้อมได้ดี

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพีวีซีถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายงานด้วยกัน อาทิ เช่น

- 1) งานด้านการก่อสร้างและอาคาร เช่น ใช้ทำกรอบประตูและหน้าต่าง ท่อแข็ง ข้อต่อ แผ่นลอนในมุงหลังคา ฝ้าผนังบ้าน ฝ้าเพดาน แผ่นปูพื้น รวมทั้งเครื่องสุขภัณฑ์และชิ้นส่วนเครื่องใช้ในบ้านและในสำนักงาน
- 2) งานด้านที่เกี่ยวกับไฟฟ้า เช่น ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อร้อยสายไฟฟ้าและโทรศัพท์ ฉนวนหุ้มสายโทรศัพท์และปลั๊กเสียบสายไฟฟ้า
- 3) งานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดบรรจุผลิตภัณฑ์ फिल्मหุดสำหรับห่อหุ้มสินค้าทั่วไป फिल्मหุดสำหรับห่ออาหาร
- 4) งานด้านการเกษตร เช่น ท่อน้ำ ชิ้นส่วนปั๊ม แผ่นพลาสติกปูแหล่งน้ำเพื่อป้องกันน้ำรั่วซึม แผ่นฟิล์มที่ใช้คลุมผลิตผลทางการเกษตร
- 5) งานด้านการแพทย์ เช่น ถุงมือปราศจากเชื้อ ถุงน้ำเกลือ ถุงเลือด รวมถึงสายท่อน้ำเกลือและเลือด ชุดถ่ายเลือดผ่านไตเทียม ชุดถุงเก็บปัสสาวะ และหน้ากากออกซิเจน เป็นต้น

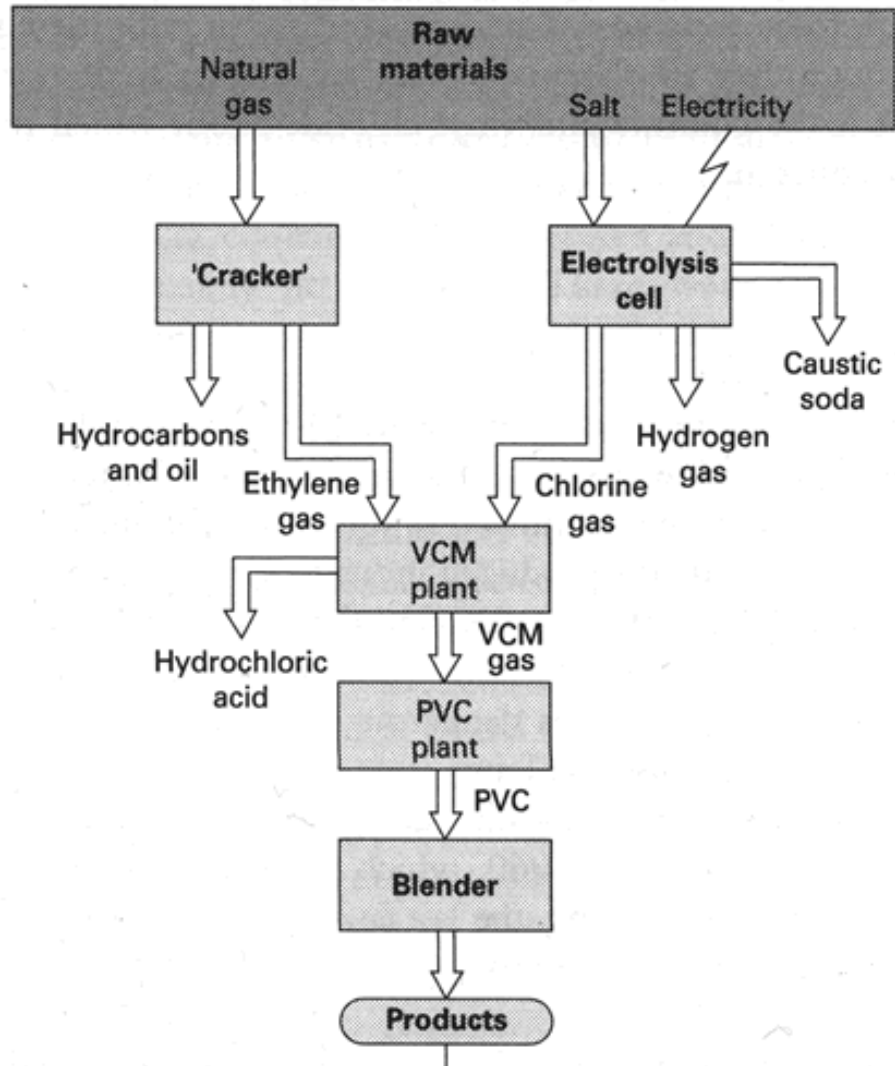
2.2.1 กระบวนการผลิตพีวีซี

พีวีซี เป็นสารสังเคราะห์ได้จากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ของไวนิลคลอไรด์ โดยในปี พ.ศ. 2470 ชาวเยอรมันได้นำเอาไวนิลคลอไรด์มาต่อกันเป็นลูกโซ่และเปลี่ยนสภาพจากโมโนเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ที่เรียกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) แต่ในขณะนั้นยังไม่มีผู้สนใจที่จะนำมาใช้ เพราะพบว่าพีวีซีเป็นสารไม่คงตัวที่อุณหภูมิสูงและสลายตัวได้ง่าย [3]

ต่อมาเมื่อค้นพบว่า เมื่อนำพีวีซีไปผสมกับสารเสริมสภาพพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพหาละของแอลกอฮอล์ (Phthalate of alcohol) จะได้สารผสมนิ่มคล้ายยางและการค้นพบที่สำคัญที่สุดในประวัติศาสตร์ของพีวีซีก็คือ การนำสารประกอบโลหะหนักบางประเภท เช่น ตะกั่ว แบเรียม แคลเซียม และดีบุกไปผสมกับพีวีซี ทำให้เกิดผลของสารเสริมความคงตัว (Stabilizing effect) คือสามารถนำสารผสมไปหลอมที่อุณหภูมิสูงๆ ได้โดยไม่สลายตัวทำให้พีวีซีเป็นสารที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 (ปี พ.ศ. 2483) เกิดการขาดแคลนยางธรรมชาติอย่างมาก จึงมีการนำสารผสมพีวีซีมาใช้แทนยางบางส่วน นับแต่นั้นมาพีวีซีก็ถูกใช้อย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน [3]

พีวีซีที่ใช้ในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ แบบแขวนลอย (Suspension) และแบบอิมัลชัน (Emulsion) แต่ชนิดที่ใช้กันมากและผลิตได้ภายในประเทศเป็นชนิดแขวนลอย ซึ่งใช้ผลิตท่อน้ำ ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า ขวดพลาสติก รองเท้า และอื่นๆ สำหรับชนิดอิมัลชัน ยังไม่มีการผลิตภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อนำไปใช้ผลิตหนังเทียม กระดาษติดฝาผนัง เทป เป็นต้น [3]

ในการผลิตพีวีซีจะใช้ทรัพยากรธรรมชาติจาก 2 แหล่ง ได้แก่ ปิโตรเคมี และเกลือ [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งการผลิตพีวีซีนั้นเริ่มต้นจากการนำก๊าซเอทิลีน (Ethylene) จากโรงงานแยกก๊าซธรรมชาติ ทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Chlorine) ซึ่งผลิตจากเกลือ โดยพีวีซีมีส่วนประกอบของน้ำมันในปริมาณร้อยละ 43 และเกลือในปริมาณร้อยละ 57 สารทั้งสองทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นวัตถุดิบวีซีเอ็ม (VCM) และเมื่อวีซีเอ็มผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะได้เป็นผงพีวีซีบริสุทธิ์ [3]



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตพีวีซี [23]

2.2.2 การคอมพาวด์พีวีซี

พีวีซีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC) ซึ่งใส่สารเสริมสภาพพลาสติกและสารเติมแต่งอื่นๆ ประมาณร้อยละ 5 ถึง 20 โดยน้ำหนัก และพีวีซีชนิดอ่อนตัว (Flexible PVC) ซึ่งใส่สารเสริมสภาพพลาสติกและสารเติมแต่งอื่นปริมาณมากในอัตราส่วนร้อยละ 40 – 50 โดยน้ำหนัก [24] ซึ่งสารเติมแต่งที่สำคัญสำหรับพีวีซี ได้แก่

2.2.2.1 สารเสริมความคงตัว (Stabilizers)

สารเสริมความคงตัวที่ใส่ลงในพีวีซีคอมพาวด์ทำหน้าที่ยับยั้งการเสื่อมสภาพของพีวีซีระหว่างกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พีวีซีใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง ทำให้เกิดกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของพีวีซี สารเสริมความคงตัวจึงช่วยเพิ่มความคงทน ช่วยคงสมบัติต่างๆ ระหว่างการขึ้นรูป และช่วยเพิ่มอายุการใช้งาน สารเสริมความคงตัวที่นิยมใช้กับพีวีซีเป็นกลุ่มสารประกอบโลหะผสม ได้แก่ แบเรียม – สังกะสี (Barium - Zinc) หรือแคดเมียม – สังกะสี (Cadmium – Zinc) เป็นต้น [2]

2.2.2.2 สารหล่อลื่น (Lubricant)

สารหล่อลื่นที่ใส่ลงในพีวีซีคอมพาวด์ทำหน้าที่ในการลดแรงเสียดทานระหว่างพีวีซีกับเครื่องจักรและแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานไม่ติดกับแม่พิมพ์ สารหล่อลื่นแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลพีวีซีซึ่งทำให้ความหนืดของพีวีซีลดลง สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและใช้พลังงานในการขึ้นรูปน้อยลง สารหล่อลื่นภายในที่นิยมใช้กับพีวีซีส่วนใหญ่เป็นสารประกอบโลหะ สเตียเรท (Metal stearate) เช่น แคลเซียมสเตียเรท (Calcium stearate) เป็นต้น ขณะที่สารหล่อลื่นภายนอก (External lubricant) ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างแม่แบบขึ้นรูปกับผิวผลิตภัณฑ์ เช่น กรดไขมันหรือไขพาราฟิน เป็นต้น [2]

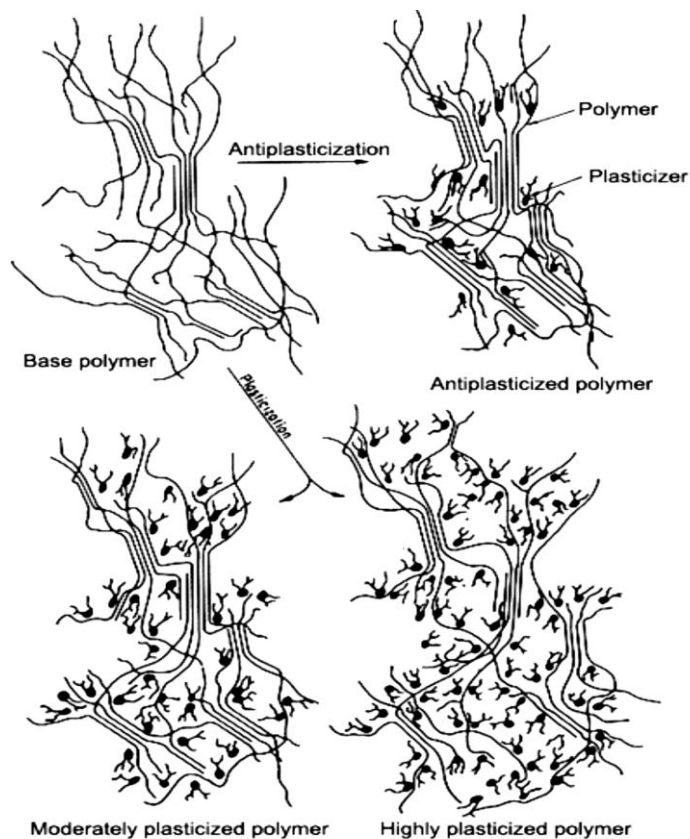
2.2.2.3 สารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact modifier)

สารปรับปรุงแรงกระแทกที่ใส่ลงในพีวีซีคอมพาวด์นั้น ใส่เพื่อเพิ่มความต้านทานแรงกระแทก (Impact resistance) ให้กับพีวีซี ณ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำ สารปรับปรุงแรงกระแทกที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิด ได้แก่ อะคริโลไนไตรล์บิวตะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) เมทาอะคริเลตบิวตะไดอีนสไตรีน (Methacrylate butadiene styrene, MBS) ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber, NBR) และพอลิเอธิลีนคลอไรด์ (Chlorinated polyethylene, CPE) ซึ่งในการคอมพาวด์พีวีซีจะใช้สารปรับปรุงแรงกระแทกประมาณร้อยละ 5 – 10 โดยน้ำหนัก [2] ส่วนใหญ่ใช้ ในกระบวนการผลิตพีวีซีชนิดแข็ง นอกจากนั้นสารในกลุ่มนี้ยังมีผลต่อสมบัติเชิงความร้อนของพีวีซีคอมพาวด์ด้วย [2]

2.2.2.4 สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizers)

สารเสริมสภาพพลาสติก หรือสารเพิ่มความนุ่ม (Softners) หมายถึงสารหรือวัสดุใดๆ ที่เติมลงไปในการพอลิเมอไรเซชันหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มระยะของการดึงยืดด้วยการลดความหนาแน่นในการหลอมเหลว ลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะต่างๆ หรือลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นขณะหลอม ในพีวีซี สารเสริมสภาพพลาสติกทำหน้าที่เปลี่ยนพีวีซีที่แข็งเปราะ ไม่ยืดหยุ่นและประยุกต์ใช้งานได้ค่อนข้างจำกัดเป็นพีวีซีที่มีความยืดหยุ่น นุ่มและใช้งานได้กว้าง ไปได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติกที่เติมลงไป [2]

สารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซีผลิตออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ครั้งแรกโดย B.F. Goodrich ปี ค.ศ. 1930 [25] การเสริมสภาพพลาสติกมีกลไกการทำงานโดยเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพีวีซี ทำให้สมมาตรของโมเลกุลพีวีซีเสียและแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซีลดลงส่งผลให้มีการเคลื่อนขยับหรือการไถลตัวของสายโซ่ได้มากขึ้น ดังรูปที่ 2.5 เป็นผลทำให้พีวีซีมีความอ่อนตัวและยืดตัวได้ดี อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขึ้นรูป โดยสารเสริมสภาพพลาสติกช่วยลดความหนืดของพีวีซีขณะหลอมเหลว เกิดการไหลแบบพลาสติกและลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) โดยไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานทางเคมีของพีวีซี [26]



รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของสารเสริมสภาพพลาสติก [27]

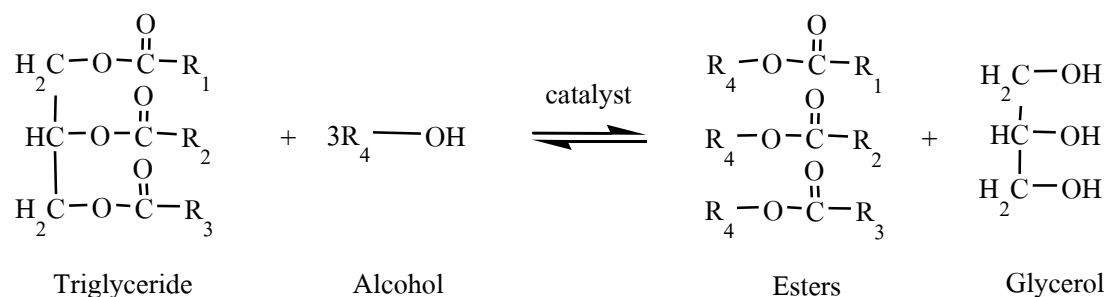
กระบวนการผสมสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซีโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเรียกว่า การเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (External plasticization) และเรียกสารเสริมสภาพพลาสติกที่ผสมลงไปว่า สารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (External plasticizer) ขณะที่สารเสริมสภาพพลาสติกที่สามารถเข้ากันได้กับพีวีซีจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของสายโซ่ของพีวีซี จะเรียกว่า สารเสริมสภาพพลาสติกภายใน (Internal plasticizer) และเรียกกระบวนการนี้ว่า การเสริมสภาพพลาสติกภายใน (Internal plasticization) [26]

นอกจากนี้สารเพิ่มสภาพพลาสติกยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามความสามารถในการเข้ากันกับพอลิเมอร์ คือ [26]

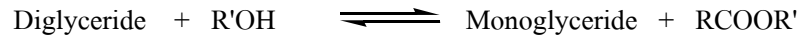
- 1) สารเสริมสภาพพลาสติกแท้จริงหรือสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ (True plasticizer หรือ Primary plasticizer) ซึ่งสารดังกล่าวสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้ และไม่แยกออกมาจากพอลิเมอร์ เช่น ไดทุเอซิลเฮกซิล พทาเลท (DOP)
- 2) สารเสริมสภาพพลาสติกเสริมหรือสารเสริมสภาพพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) ซึ่งสารดังกล่าวต้องใช้ควบคู่กับสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ เพราะสามารถแยกตัวออกจากพอลิเมอร์ได้เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ และช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ

2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ ประกอบปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอน นั่นคือเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับ สุดท้ายได้เป็นเอสเทอร์กับกลีเซอรอล [28] ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [29]



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [28]

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1) ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

ความชื้นในไขมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้เกิดสบู่ โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้การแยกกลีเซอรินออกทำได้ยากขึ้น [30]

2) ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyst) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กรดและเบส แต่ที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เนื่องจากเบสจะเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่าและใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น การกวนผสม และอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและของผสมกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นที่ต้องการของโรงกลั่นกลีเซอรอลมากกว่า [31]

3) ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [30]

4) ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้เกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียแอลกอฮอล์ในระหว่างทำปฏิกิริยา ถ้าอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาค่าลงจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง [30, 32]

5) ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไป ทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่ำลง ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าสูงเกินไป จะทำให้ตัวเร่งที่เกินมาเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่ [30]

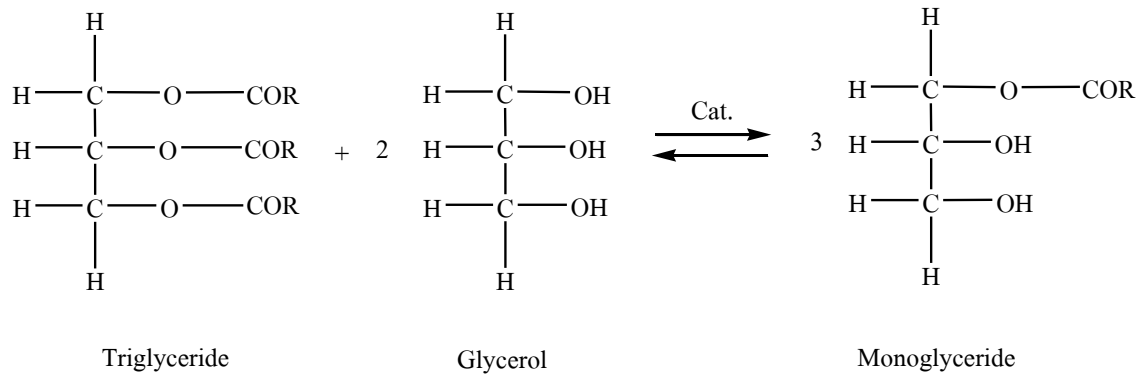
6) ผลของสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันส่งผลต่อปริมาณของเอสเทอร์ โดยตามทฤษฎีสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องทำให้ปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าตามทฤษฎีเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [30]

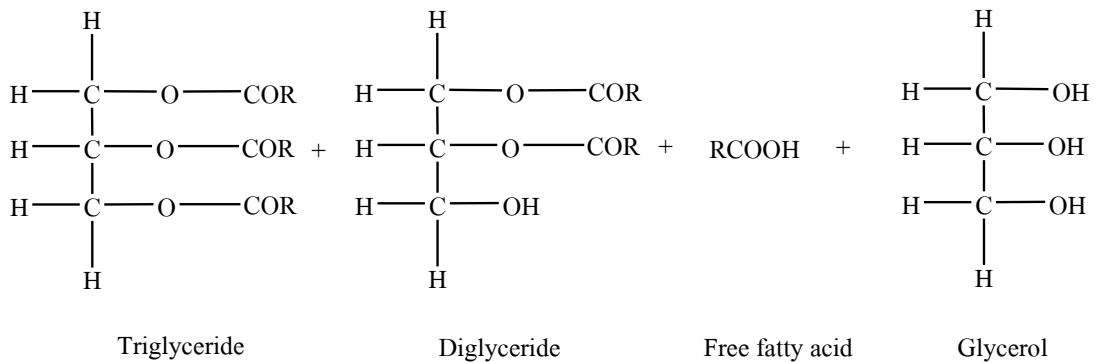
2.5 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจัดเป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ประเภทหนึ่ง ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล (ที่มากเกินพอ) กับไตรกลีเซอไรด์โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมใช้ผลิต โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ในอุตสาหกรรม [33] ซึ่งโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์มักถูกนำไปใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารก่ออิมัลชัน (Emulsifier) ในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับ อาหาร เครื่องสำอางค์และยา นอกจากนี้โมโนกลีเซอไรด์ ยังถูกนำไปใช้เป็นสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) ให้กับผลิตภัณฑ์พีวีซีด้วย [34]

ในอดีตโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์สามารถผลิตได้จากกระบวนการแบบแบตช์ (Batch processes) ที่อุณหภูมิสูง (220 – 260 องศาเซลเซียส) โดยใช้ตัวเร่งประเภทอนินทรีย์ (Inorganic catalyst) เช่น โซเดียม โปแทสเซียม หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น [35] แต่ในปี ค.ศ. 1940 และ 1950 เป็นต้นมา ได้มีผู้ค้นพบและจดสิทธิบัตรการใช้ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจากกลีเซอรอลเพื่อใช้ผลิตโมโนกลีเซอไรด์ ทำให้ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสได้รับความนิยมใช้ในอุตสาหกรรมตั้งแต่นั้นมา [35]



By - products :



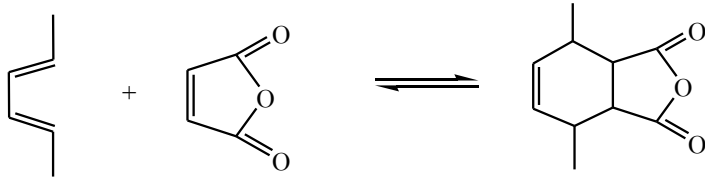
รูปที่ 2.8 กลไกปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส [35]

จากรูปที่ 2.8 โมโนกลีเซอไรด์เป็นเพียงผลิตภัณฑ์หลักตัวหนึ่งที่ได้จากปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่จะเกิดร่วมด้วยได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล

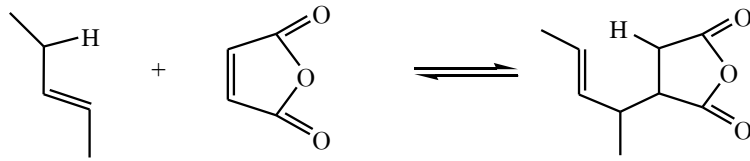
2.6 ปฏิกิริยามาลีเอชัน

ปฏิกิริยามาลีเอชัน (Maleation) หรือเรียกว่าปฏิกิริยามาเลไนเซชัน (Maleinization) [36] เป็นปฏิกิริยาที่นำมาใช้เพื่อปรับโครงสร้างทางเคมีให้กับน้ำมันพืช โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ โดยผ่านปฏิกิริยาดิลส์แอลเดอร์ (Diels-Alder) (เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugated dienes)) ปฏิกิริยาอีเน (Ene) (เข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีไฮโดรเจนแอลลิลิก (Allylic hydrogen)) และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (เข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์) [37] แสดงดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ

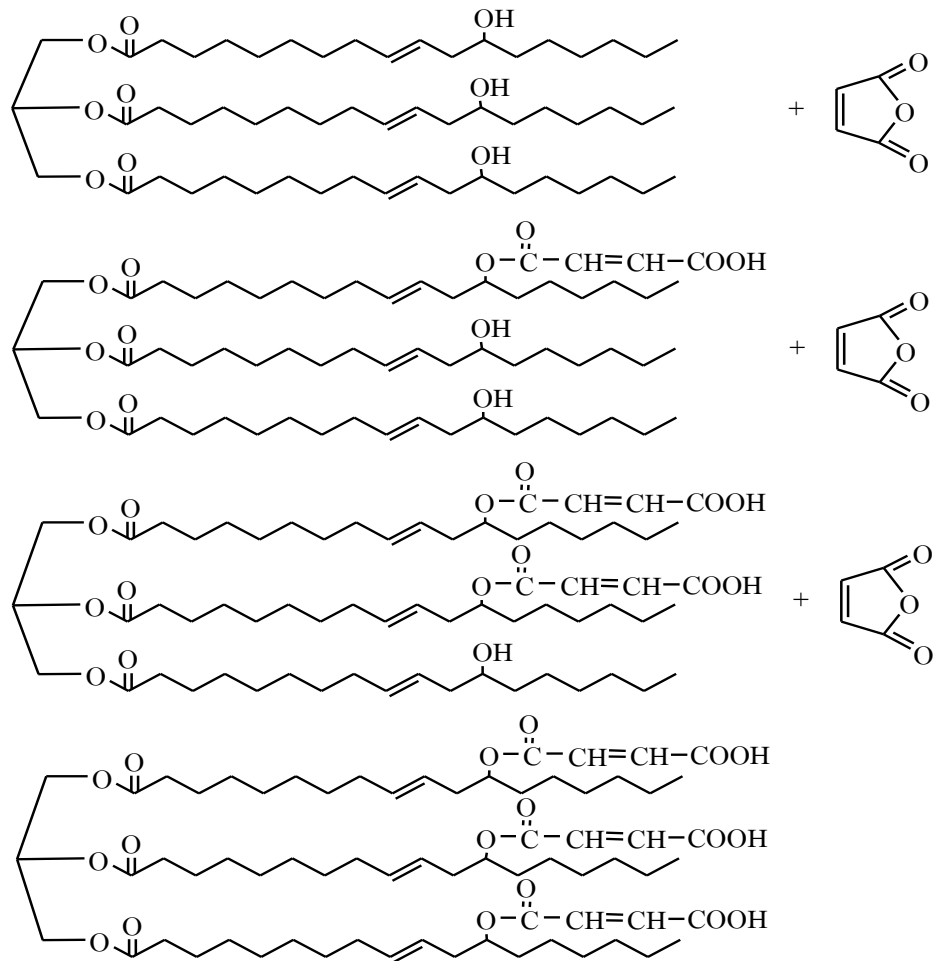
Diels-Alder Reaction :



Ene Reaction :



รูปที่ 2.9 กลไกของปฏิกิริยาดีลส์แอลเดอร์และปฏิกิริยาเอนิน [38]



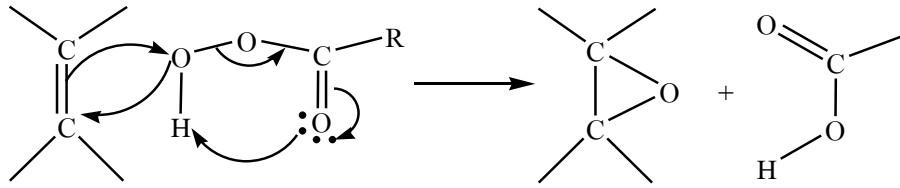
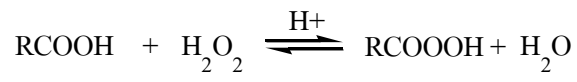
รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันละหุ่งและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ [37]

การเพิ่มความเป็นไฮโดรฟิลิกซิติ (Hydrophilicity) หรือความชอบน้ำ ให้กับสารประกอบโอเลฟินิก (Olefinic compounds) หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวนั้น เช่นกรดไขมัน หรือน้ำมันพืช นั้น หากใช้มาเลือกแอนไฮไดรด์เป็นสารตั้งต้นและทำผ่านปฏิกิริยาอินและหรือปฏิกิริยาดีลต์แอลเดอร์ ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงถึง 250 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการข้างเคียงเกิดการสลายตัว (Decomposition) ได้ ดังนั้นในปฏิกิริยาดังกล่าว จึงนิยมนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น น้ำมันชักแห้ง (Dry oil) สีที่ละลายในน้ำได้ (Water-soluble paints) และสารลดแรงตึงผิวของโลหะ เป็นต้น [37] หากทำปฏิกิริยาโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วง 80 ถึง 120 องศาเซลเซียส นำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น โฟมที่ย่อยสลายได้จากน้ำมันละหุ่งมาลีเอท (Maleated castor oil) [10] และเรซินที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองโมโนกลีเซอไรด์มาลีเอท [9] เป็นต้น ตำแหน่งในโครงสร้างหลักที่มาเลือกแอนไฮไดรด์จะเข้าทำปฏิกิริยาขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล (พันธะคู่) ความว่องไวของหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่หลักและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งจากงานวิจัยที่พบจะอยู่ในช่วง 80 – 300 องศาเซลเซียส [8 – 9, 11, 39]

2.7 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของกรดไขมันคือปฏิกิริยาการเพิ่มออกซิเจนเข้าไป ซึ่งเกิดระหว่างพันธะคู่ของคาร์บอน - คาร์บอน กับอะตอมของออกซิเจน ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนจากพันธะคู่กลายเป็นวงแหวนอีพอกไซด์ (Epoxide ring) หรือ วงแหวนออกซิเรน (Oxirane ring) [40]

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี อาทิเช่น สังเคราะห์โดยวิธีการดั้งเดิม สังเคราะห์โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนของกรด (Acid ion exchange resin) สังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์และสังเคราะห์โดยใช้โลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น แต่วิธีที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก็คือ วิธีการสังเคราะห์ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยวิธีการดั้งเดิม ซึ่งทำให้รูปแบบ in - situ ของเปอร์แอซิด (Peracids) โดยเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น เกิดเป็นกรดเปอร์อะซิดิก ดังรูปที่ 2.11 (บน) ในที่นี้กรดคาร์บอกซิลิกทำหน้าที่เป็นตัวพาออกซิเจน (Oxygen carrier) ไปยังพันธะคู่ และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวให้ออกซิเจน (Oxygen donor) จากนั้นกรดเปอร์แอซิดจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ล่าง) ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเกิดวงแหวนออกไซด์เร็นหรือปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน [41]



รูปที่ 2.11 การเกิดเปอร์ออกไซด์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (บน) และกลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์ (ล่าง) [40]

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในการตัดแปรน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซีคอมปาวด์ ทำโดยผ่านปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ได้แก่ ปฏิกิริยาคลิเซอโรไลซิส ปฏิกิริยามาลีเอชัน และปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปทำให้บริสุทธิ์และวิเคราะห์โครงสร้างก่อนนำไปขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีทำในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

- ขวดก้นกลมสองคอ (Two - neck round bottom flask) ขนาด 500 และ 2000 มิลลิลิตร
- ขวดก้นกลมสามคอ (Three - neck round bottom flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
- กรวยแยกสาร (Separating funnel) ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
- บิวเรตต์ (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- ปิเปตต์ (Pipette)
- กรวยกรอง (Funnel)
- หลอดเอ็นเอ็มอาร์ (NMR tube)
- ขวดแก้วสีชาพร้อมชุดหยด (Glass Dropper Bottle, Amber)
- ขวดเก็บตัวอย่าง (Vial)

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ

- เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot plate stirrer)
- โพรบวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)

- เข็มและหลอดฉีดยา (Needle and syringe)
- จุกยาง (Rubber septum)
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 และ 93
- กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ในช่วง pH 0 – 14)

3.1.3 เครื่องมือในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

| อุปกรณ์และเครื่องมือ | รุ่น/ยี่ห้อ | รายละเอียด |
|---|--|---|
| เครื่องชั่ง | ML 303E/01, METTLE TOLEDO, Switzerland | ทศนิยม 3 ตำแหน่ง |
| เครื่องชั่ง | ML 204/01, METTLE TOLEDO Switzerland | ทศนิยม 4 ตำแหน่ง |
| เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) | Laborata 4003 control, Heidolph | |
| อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) | M-Lab, Thailand | |
| เครื่องโครมาโตกราฟีแบบ ของเหลวสมรรถนะสูงแบบแยก ตามขนาด (HPLC) | six port injector รุ่น 7125, Rheodyne Incorporate | ปั๊มรุ่น 510 คอลัมน์แบบ แยกตามขนาด Phenogel 100 Å (300 มม. x 7.8 มม. ID, 5 ไมครอน) เครื่อง ตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) รุ่น Sedex 55 |
| เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FTIR) | NICOLET iS5, Thermo scientific | เลขคลื่น 550-4,000 cm ⁻¹ |
| เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) | Agilent Technique, 6890N, USA | |
| เครื่องรีโอมิเตอร์ | HAAKE Co., Ltd., Germany | NV sensor |
| เครื่องลิวทิดโครมาโตกราฟี- แมสสเปกโทรเมตรี (LC - MS) | Bruker Daltonics, Germany | HR - ESI - MS mode |

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

| อุปกรณ์และเครื่องมือ | รุ่น/ยี่ห้อ | รายละเอียด |
|--|---|---------------------------------|
| เครื่องโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (¹ H-NMR) | รุ่น Model Avance 300 Bruker, Switzerland | |
| เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High speed mixer) | แลปเทค เอ็นจิเนียริง จำกัด (ประเทศไทย) | ความเร็วรอบต่อนาที สูงสุด 1,400 |
| เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนคู่ (Twin Screw Extruder) | HAAKE Co., Ltd., Germany | |
| เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน (Compression moulding) | รุ่น PR1D - W300L300 HD, บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด | |
| เครื่องทดสอบสมบัติต้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine) | รุ่น LR50K, LLOYD Instruments | |

3.1.4 สารเคมี

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

| สารเคมี | เกรด/ผู้ผลิต | การใช้งาน |
|--------------------|---|--|
| เมทานอล | Analytical reagent (≥ 99.9%), MERCK | สารตั้งต้นสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ | Analytical reagent, ARLO-ERBA | ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันและใช้วิเคราะห์ค่ากรดไขมัน |
| น้ำมันปาล์มโอเลอิน | บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) | สารตั้งต้นสำหรับการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส |
| กลีเซอรอล | Commercial, Lab System | สารตั้งต้นสำหรับการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส |

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

| สารเคมี | เกรด/ผู้ผลิต | การใช้งาน |
|-------------------------|---|---|
| สบูโซเดียม | บริษัท ภูเขาอุตสาหกรรม จำกัด | ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับ การทำปฏิกิริยากลิเซอ โรไลซิส |
| มาเลอิกแอนไฮไดรด์ | Laboratory grade (98%), FLUKA | สารตั้งต้นสำหรับการทำ ปฏิกิริยามาลีเอชัน |
| กรดอะซิติก | Analytical reagent ($\geq 99.8\%$), SIGMA - ALDRICH | สารตั้งต้นสำหรับการทำ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน |
| กรดซัลฟิวริก | Analytical reagent ($\geq 95 - 97\%$), MERCK | ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการ ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน |
| ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ | 50%w/w, Commercial, TAI-LIANG | สารตั้งต้นสำหรับการทำ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน |
| โทลูอิน | Analytical reagent, FISHER CHEMICAL | ตัวทำละลายสำหรับการ ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน |
| โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรต์ | Analytical reagent, CARLO-ERBA | สารกำจัดน้ำ |
| ดิวเทอเรตคลอโรฟอร์ม | Deuteration degree min. 99.8% for NMR spectroscopy, MERCK | สารละลายทดสอบ $^1\text{H-NMR}$ |
| โมนโออีเอท | Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH | สารมาตรฐานทดสอบ HPLC |
| ไดอีเอท | Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH | สารมาตรฐานทดสอบ HPLC |
| ไตรอีเอท | Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH | สารมาตรฐานทดสอบ HPLC |
| โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ | Analytical reagent, AJAX | สารละลายมาตรฐานใน การไตเตรทหาค่ากรด |
| พอลิไวนิลคลอไรด์ | SG660, suspension grade, K - value = 66 | พอลิเมอร์ |

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

| สารเคมี | เกรด/ผู้ผลิต | การใช้งาน |
|---|--|---|
| กรดสเตียริก | H-St stearic acid, Cosmos Chemical Co., Ltd. | สารหล่อลื่น |
| สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแบเรียม แคดเมียม และซิงค์ | CS – 1368 N, Cosmos Chemical Co., Ltd. | สารคงสภาพทางความร้อน (Thermal stabilizer) |
| สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแบเรียม แคดเมียม และซิงค์ | CR-01, Cosmos Chemical Co., Ltd. | สารคงสภาพร่วม (Co - stabilizer) |
| น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ | Cosmos Chemical Co., Ltd. | สารเสริมสภาพพลาสติก |
| โซเดียมไซโอซัลเฟต | Analytical reagent, CARLO-ERBA | วิเคราะห์ค่าไอโอดีน |
| ไซโคลเฮกเซน | Analytical reagent, CARLO-ERBA | วิเคราะห์ค่าไอโอดีน |
| สารละลายวิจส์ | Analytical reagent, MERCK | วิเคราะห์ค่าไอโอดีน |
| โปแทสเซียมไอโอไดด์ | Analytical reagent, AJAX | วิเคราะห์ค่าไอโอดีน |
| เอทานอล | Analytical reagent, CARLO-ERBA | วิเคราะห์ค่ากรดไขมัน |
| ฟีนอล์ฟทาลิน | Analytical reagent, FLUKA | วิเคราะห์ค่ากรดไขมัน |

3.2 ตรวจวิเคราะห์สมบัติน้ำมันปาล์มโอเลอิน

3.2.1 วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) โดยวิธีวิจส์ (Wijs)

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนโดยวิธีวิจส์ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน วิเคราะห์ตามวิธี ASTM D1959 โดยทำการทดลองดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ชั่งสารตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน 0.1 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายไซโคลเฮกเซน 20 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน
- 3) เติมสารละลายวิจส์ (สารละลายไอโอดีนโมโนคลอไรด์ในของผสมของกรดอะซิติกและคาร์บอนเตตระคลอไรด์) 25 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตที่แห้งและสะอาด

- 4) เขย่าขวดไปรอบๆ อย่างรวดเร็วแล้วปิดจุก เก็บไว้ในที่มืด 30 นาที
- 5) นำออกจากที่มืด เติมสารละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 15% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
- 6) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน จึงเติมน้ำแป้งลงไป 2 มิลลิลิตร สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสีน้ำเงินหมดไป
- 7) เตรียมแบลนค์ (blank) เหมือนกับวิธีดังกล่าวข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 8) คำนวณค่าไอโอดีนโดยใช้สมการ 3.1

$$\frac{(B - S) \times N \times 12.69}{W}$$

สมการ 3.1

โดยที่

B = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับแบลนค์ (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

W = น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)

3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน (Free fatty acid)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน วิเคราะห์ตามวิธี A.O.C.S Ca 5a - 40 โดยทำการทดลองดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ชั่งสารตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน 5 มิลลิกรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายเอทานอล 50 มิลลิลิตร เพื่อละลายสารตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 3) หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลินเข้มข้น 1% ใน 95% เอทานอล ประมาณ 10 หยด
- 4) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ทีละหยด พร้อมทั้งเขย่า เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายในขวดรูปชมพู่จะเปลี่ยนจากสารละลายไม่มีสีเป็นสารละลายสีชมพูอ่อนถาวร
- 5) คำนวณกรดไขมันอิสระร้อยละในรูปของกรดปาล์มมิติกโดยใช้สมการ 3.2

$$\frac{\text{Alkali} \times N \times 25.6}{W}$$

สมการ 3.2

โดยที่

Alkali = ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตจนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักสารตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน (กรัม)

3.2.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ

- 1) อุ้มน้ำมันให้ได้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- 2) ชั่งน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่าโดยใช้เครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง
- 3) เทน้ำมันลงในพิกโนมิเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักรวมพิกโนมิเตอร์กับตัวอย่างน้ำมัน
- 4) คำนวณค่าความหนาแน่นโดยใช้สมการ 3.3

$$\frac{m}{v}$$

สมการ 3.3

โดยที่

m = น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

v = ปริมาตรของพิกโนมิเตอร์ (มิลลิลิตร)

หมายเหตุ พิกโนมิเตอร์ ขนาด 10 มิลลิลิตร

3.2.4 การหาค่าความหนืด

การวัดความหนืดโดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคัพและโคน ทดสอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยเตรียมสารตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน 15 มิลลิลิตร ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง

3.3 ปฏิบัติการตัดแปรน้ำมันปาล์มโอเลอิน

3.3.1 ปฏิบัติการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

- 1) ชั่งน้ำมันปาล์ม 100 กรัม (1 โมล) เติลงในขวดก้นกลมสามคอขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีแท่งแมกเนติกอยู่ภายใน ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ในอ่างน้ำมันร้อน 30 องศาเซลเซียส
- 2) ชั่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 กรัม ผสมกับเมทานอล 16.92 กรัม (4.5 โมล) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล ตามปริมาณที่กำหนด ลงในขวดก้นกลมในข้อ 1
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำมัน 20 มิลลิลิตร ทุก 5 นาที จนครบ 25 นาที โดยใช้เข็มฉีดยาคูดและเก็บลงในขวดแก้ว ที่มีสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เพื่อหยุดปฏิกิริยา
- 4) ล้างน้ำมันตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นในกรวยแยก จนกระทั่งน้ำมันมีสภาพเป็นกลาง ไขชั้นน้ำทิ้งแล้วเก็บชั้นน้ำมันใส่ขวด เติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสเพื่อคูดน้ำออก ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที จากนั้นกรองโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสออกจากน้ำมัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 41

- 5) ทำปฏิกิริยาเหมือนในข้อ 1 – 4 แต่เปลี่ยนปริมาณเมทานอลที่ใช้เป็น 22.57 กรัม (6 โมล) และ 33.78 กรัม (9 โมล) ตามลำดับ และเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส
- 6) นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโมโนและไดกลีเซอไรด์และฟิสจันโครงสร้างตามวิธีในข้อ 3.4.1

3.3.2 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

- 1) ชั่งกลีเซอรอล 87 กรัม (0.95 โมล) ใส่ขวดก้นกลม 3 คอ ซึ่งมีแมกเนติกอยู่ภายใน เชื่อมต่อกับชุดกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน กลั่นที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำและความชื้นออกจากกลีเซอรอล ซึ่งด้วยระยะเวลาดังกล่าว น้ำผสมกลีเซอรอล ปริมาณ 0.42 มิลลิลิตร (0.49 กรัม) จะถูกกลั่นออก
- 2) ถอดชุดกลั่น แล้วใส่น้ำมันปาล์มโอเลอิน 170 กรัม (0.2 โมล) และสบู่โซเดียม 1.7 กรัม (1% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มโอเลอิน) ลงไป โดยการใส่จะแบ่งน้ำมันปาล์มและสบู่โซเดียมเป็น 3 ส่วน ใส่สลับกันจนหมดภายใน 30 นาที ให้ความร้อน 230 - 240 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างน้ำมันทุก 30 นาที
- 3) หยุดปฏิกิริยาโดยการนำสารตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำแข็งผสมเกลือ ทิ้งไว้ให้แยกชั้น นำเฉพาะส่วนบน (ชั้นน้ำมัน) ไปวิเคราะห์ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์และฟิสจันโครงสร้างตามวิธีในข้อ 3.4.1 – 3.4.3

3.3.3 ปฏิกิริยามาลีเอชัน

- 1) ชั่งมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 24.52 กรัม (1.5 โมล) และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาในข้อ 3.2.1 ปริมาณ 58.73 กรัม (1 โมล) ใส่ลงในขวดก้นกลม 2 คอ ปิดทางเข้าด้วยจุกแก้ว ให้ความร้อนที่ 125 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง
- 2) ทำปฏิกิริยาเหมือนในข้อ 1 แต่เปลี่ยนปริมาณการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็น 32.36 กรัม (2 โมล)
- 3) นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างและหาปริมาณกรดตามวิธีในข้อ 3.4.2 – 3.4.5

3.3.4 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

- 1) ชั่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาในข้อ 3.2.2 25 กรัม และสารละลายเฮกเซน 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดก้นกลม 2 คอ ซึ่งมีแมกเนติกอยู่ภายใน ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ ตั้งกวนไว้ 30 นาที
- 2) เตรียมกรดเปอร์อะซิดิกโดยใช้กรดอะซิดิก 10.58 มิลลิลิตร (11.11 กรัม, 0.19 โมล) กรดซัลฟูริก 0.16 มิลลิลิตร (0.3 กรัม, 0.003 โมล) เติลงในขวดก้นกลม กวนให้เข้ากัน จากนั้นหยด 50%

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 18.89 กรัม (0.56 โมล) ลงไปช้าๆ ใช้เวลาในการหยดมากกว่า 1 ชั่วโมง หลังหยดเสร็จปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปอีก 30 นาที

- 3) หยดกรดเปอร์ออกซิดิกลงในขวดก้นกลมในข้อ 1 อย่างช้าๆ จนกระทั่งหมด ให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส
- 4) เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเทน้ำมันที่ได้ลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทิ้งชั้นน้ำ (ด้านล่าง) เก็บส่วนชั้นน้ำมัน (ด้านบน) นำมาล้างด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งค่า pH 5 - 6 กำจัดน้ำที่เหลือด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส และนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างตามวิธีในข้อ 3.4.2

3.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณโมนอกลิเซอไรด์

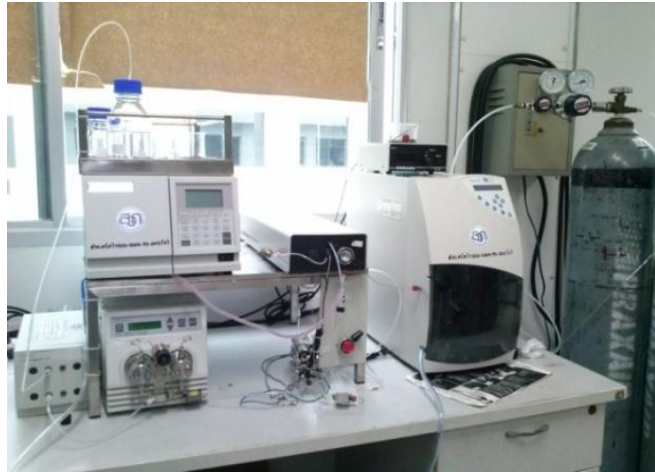
การวิเคราะห์หาปริมาณ โมนอกลิเซอไรด์และองค์ประกอบอื่นในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด (HPLC) คอลัมน์ Phenogel 100 Å (5 ไมครอน, 300 มม. x 7.8 มม. i.d., Phenomenex, USA) และใช้อุปกรณ์ตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering (SEDEX รุ่น 55) เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยชั่งสารตัวอย่าง 3.0 ± 5 มิลลิกรัม ละลายในโทลูอิน 2.5 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องในปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใช้เวลาทดสอบ 30 นาที ภายใต้ความดัน 2 บาร์ อัตราไหล 1.0 มล.ต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้สารละลายผสม ไอโซออกเทน:โทลูอิน:กรดอะซิติก (65 : 35 : 0.15 โดยปริมาตร) เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ องค์ประกอบในสารตัวอย่างถูกแยกออกจากคอลัมน์ตามขนาดโมเลกุล คำนวณหาปริมาณของกลีเซอไรด์แต่ละชนิดและกรดไขมันอิสระจากสมการ 3.4 – 3.7

$$\text{ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคตำแหน่ง 8.4 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการ 3.4}$$

$$\text{ปริมาณไดกลีเซอไรด์ (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคตำแหน่ง 9.8 - 11.6 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการ 3.5}$$

$$\text{ปริมาณโมนอกลิเซอไรด์ (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคตำแหน่ง 21 - 27 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการ 3.6}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคตำแหน่ง 13 - 14 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการ 3.7}$$



รูปที่ 3.1 เครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด

3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์

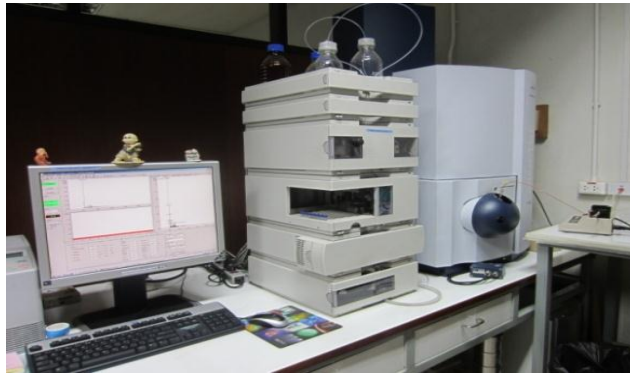
วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคโปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$) ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ เตรียมตัวอย่างโดยชั่งสาร 10 - 15 มิลลิกรัม ละลายในดีวเทอเรคคลอโรฟอร์ม เทสารละลายใส่หลอด NMR สูงจากก้นหลอดประมาณ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$)

3.4.3 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคลิควิด โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (LC-MS) เตรียมตัวอย่างโดยชั่งสาร 2 - 3 มิลลิกรัม ละลายในเมทานอล ทดสอบโดยใช้เทคนิคการวัดแบบ HR-ESI-MS



รูปที่ 3.3 เครื่องลิควิด โครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (LC - MS)

3.4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์โดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR-ATR) หัวทดสอบเพชร ในช่วงเลขคลื่น 550 – 4000 ต่อเซนติเมตร ทดสอบโดยหยดสารตัวอย่างลงบนที่วางชิ้นงานตำแหน่งตรงกับหัวทดสอบ



รูปที่ 3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ATR - FTIR)

3.4.5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) [10]

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดในผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งสารตัวอย่าง 5 - 10 มิลลิกรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำละลายเอทานอล 50 มิลลิลิตร เพื่อละลายสารตัวอย่าง
- 3) หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินเข้มข้น 1% ใน 95% เอทานอล ประมาณ 10 หยด
- 4) ไตเตรทด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ทีละหยด พร้อมทั้งเขย่า เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายในขวดรูปชมพู่จะเปลี่ยนจากสารละลายไม่มีสีเป็นสารละลายสีชมพูอ่อนถาวร
- 5) คำนวณค่าความเป็นกรดโดยใช้สมการที่ 3.8

$$\frac{56.1 \times A \times C}{G}$$

สมการ 3.8

โดยที่

A = ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรทจนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

G = น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)

3.5 ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมกับน้ำมันปาล์มดัดแปร

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ผ่านการดัดแปรจากปฏิกิริยาทั้ง 3 ชั้น (ในที่นี้จะเรียกชื่อย่อว่า EMPO) ไปใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกให้กับพอลิไวนิลคลอไรด์ ทั้งในรูปแบบของการใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกหลักเพียงชนิดเดียวและ/หรือใช้ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังสนใจศึกษาผลของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสร่วมกับปฏิกิริยามาลีเอชัน (ในที่นี้เรียกชื่อย่อว่า MPO) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมพาวด์ การขึ้นรูป และการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้

3.5.1 การเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์และเตรียมตัวอย่างทดสอบสมบัติเชิงกล

- 1) ชั่งเตรียมสารต่างๆ ในอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.3 และชั่งเตรียมสารเสริมสภาพพลาสติกของแต่ละสูตรในอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.4 โดยน้ำหนักสารในแต่ละสูตรหลังการชั่งและปั่นผสมจะอยู่ที่ประมาณ 320 กรัม

ตารางที่ 3.3 สูตรการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์

| ส่วนผสม | ปริมาณ (pph) |
|--|--------------|
| พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) | 100 |
| สารเสริมสภาพพลาสติก | 20 - 60 |
| สารคงสภาพทางความร้อน (Ba - Cd - Zn salt, CS - 1368 N) | 3.0 |
| สารคงสภาพพร้อม (Ba - Cd - Zn salt, CR - 01) | 0.5 |
| สเตียริก | 0.3 |

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกแต่ละชนิดที่นำมาใช้กับพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ในแต่ละสูตร

| รหัสตัวอย่าง | จำนวนส่วนผสม (pph) | | |
|--------------|--------------------|------|-----|
| | ESO | EMPO | MPO |
| ESO60 | 60 | | |
| ESO50 | 50 | 10 | |
| ESO45 | 45 | 15 | |
| ESO40 | 40 | 20 | |
| ESO30 | 30 | 30 | |
| EMPO20 | | 20 | |
| EMPO60 | | 60 | |
| MPO20 | | | 20 |
| MPO60 | | | 60 |

- 2) นำสารผสมของแต่ละสูตรมาปั่นผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High speed mixer) (ดังรูป 3.5) ใช้เวลาในการผสม 1 นาที



รูปที่ 3.5 เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง

- 3) จากนั้นนำสารผสมแต่ละสูตรไปผ่านกระบวนการอัดรีดโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) (ดังรูป 3.6) โดยตั้งค่าอุณหภูมิแต่ละช่วงตั้งแต่บริเวณหัวป้อน (Feeding zone) จนถึงบริเวณหัวตาย (Die zone) เป็น 140 : 150 : 150 : 140 องศาเซลเซียส (สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมสภาพพลาสติก) และ 170 : 180 : 190 : 180 องศาเซลเซียส (สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ที่ไม่ผสมสารเสริมสภาพพลาสติก) โดยใช้ความเร็วในการหมุน 30 รอบต่อนาที



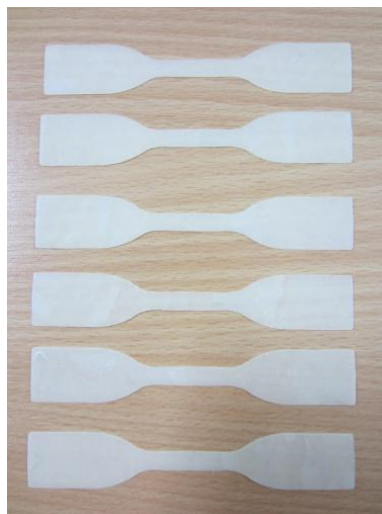
รูปที่ 3.6 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

- 4) นำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้ ไปตัดเม็ดและอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression moulding) แบบใช้ความร้อน (ดังรูป 3.7) ในแม่พิมพ์ที่มีขนาด ความกว้าง 185 มิลลิเมตร ความยาว 185 มิลลิเมตร และความหนา 0.5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 100 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที และ 150 บาร์ 1 นาที ตามลำดับ ใช้เวลาในการหล่อเย็น 3 นาที



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน

- 5) นำแผ่นชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปตัดเป็นรูปคัมเบล (Dumbbell) (ดังรูป 3.8) ตามมาตรฐาน ASTM D – 638 เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้านทานแรงดึง

3.5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D - 638 โดยใช้เครื่อง Universal Testing (ดังรูปที่ 3.9) ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile stress) ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่าโมดูลัส (Young's modulus) จากสมการ 3.9 – 3.11



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบสมบัติต้านทานแรงดึง

$$\text{ความเค้น } (\sigma) = \frac{F}{A_0}$$

สมการ 3.9

โดยที่ F = แรงที่ใช้ในการดึง (นิวตัน)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น (ตารางเมตร)

$$\text{ความเครียด } (\epsilon) = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

สมการ 3.10

โดยที่ L_1 = ความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ (เมตร)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (เมตร)

$$\text{ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

สมการ 3.11

โดยที่ ΔL = ผลต่างของความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำกับความยาวเริ่มต้น (เมตร)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (เมตร)

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

- ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา
- ผลการตัดแปร โครงสร้างเคมีของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
- ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่มีต่อปริมาณ โมโนกลิเซอไรด์
- ผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์
- ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์
- ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวด์

ซึ่งผลการทดลองในแต่ละส่วน มีรายละเอียดและสาระสำคัญ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.1 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในงานวิจัย พบว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด 1 พันธะคู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง และเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวและอิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ร้อยละ 55.26 และมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ร้อยละ 44.74 จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มโอเลอินได้ 852.68 กรัม/โมล โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินนี้มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 59.07 (กรัม I₂/100 กรัม) ค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 0.05 ค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.90 กรัม/มิลลิลิตร และค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเท่ากับ 39.99 ตารางมิลลิเมตร/วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

| รีเทนชันไทม์ (นาที) (Retention time) | ชนิดของกรดไขมัน | ร้อยละกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน |
|---|-------------------------|------------------------------------|
| 7.117 | กรดลอริก (C12 : 0) | 0.57 |
| 9.168 | กรดไมริสติก (C14 : 0) | 1.08 |
| 11.102 | กรดปาล์มมิติก (C16 : 0) | 38.14 |
| 12.858 | กรดสเตียริก (C18 : 0) | 4.49 |

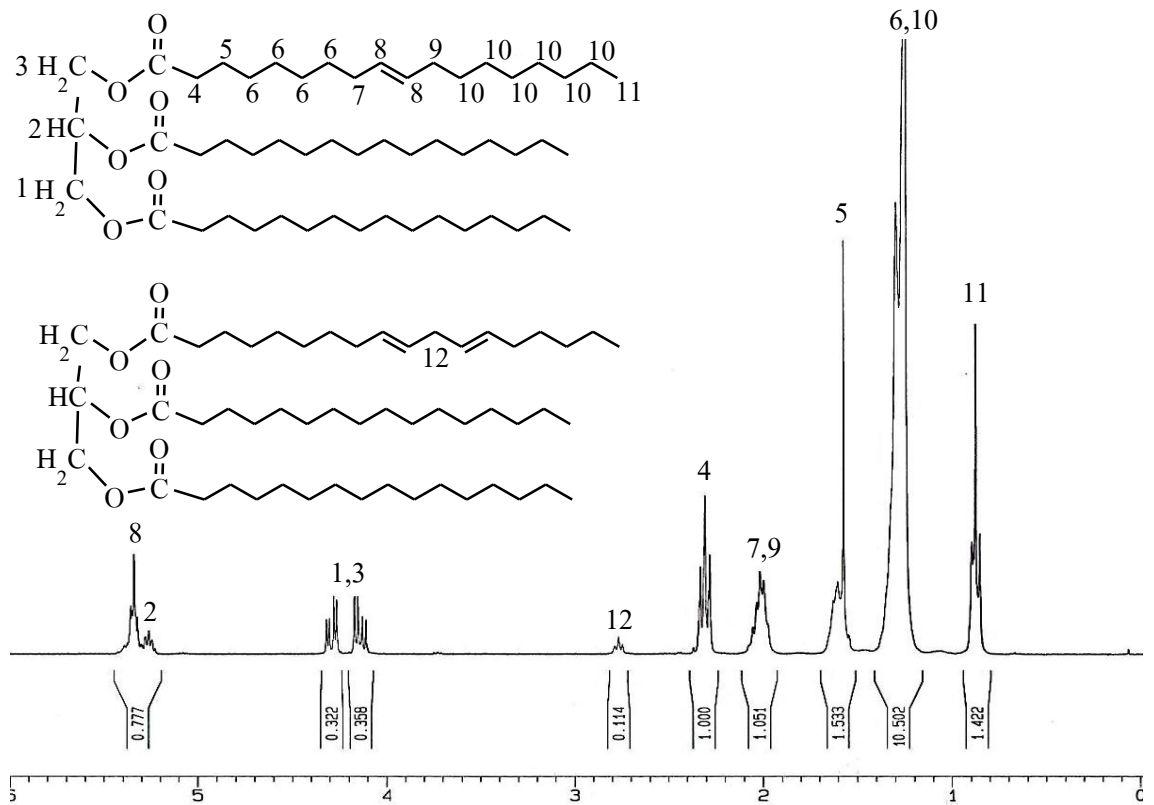
ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน (ต่อ)

| รีเทนชันไทม์ (นาที) (Retention time) | ชนิดของกรดไขมัน | ร้อยละกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน |
|---|------------------------|------------------------------------|
| 12.974 | กรดโอเลอิก (C18 : 1) | 42.91 |
| 13.294 | กรดลิโนเลอิก (C18 : 2) | 11.41 |
| 14.478 | กรดอะราคิติก (C20 : 0) | 0.46 |
| 16.125 | กรดอีลูซิก (C22 : 1) | 0.94 |

ตารางที่ 4.2 สมบัติและลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในงานวิจัย

| สมบัติ | ค่าที่ได้จากการทดสอบ |
|---|---------------------------------|
| น้ำหนักโมเลกุล | 852.68 กรัม/โมล |
| ค่าไอโอดีน | 59.07 กรัม ของ ไอโอดีน/100 กรัม |
| กรดไขมันอิสระ | ร้อยละ 0.05 |
| ค่าความถ่วงจำเพาะ (ที่ 40 องศาเซลเซียส) | 0.90 กรัม/มิลลิลิตร |
| ค่าความหนืด (ที่ 40 องศาเซลเซียส) | 39.99 ตารางมิลลิเมตร/วินาที |

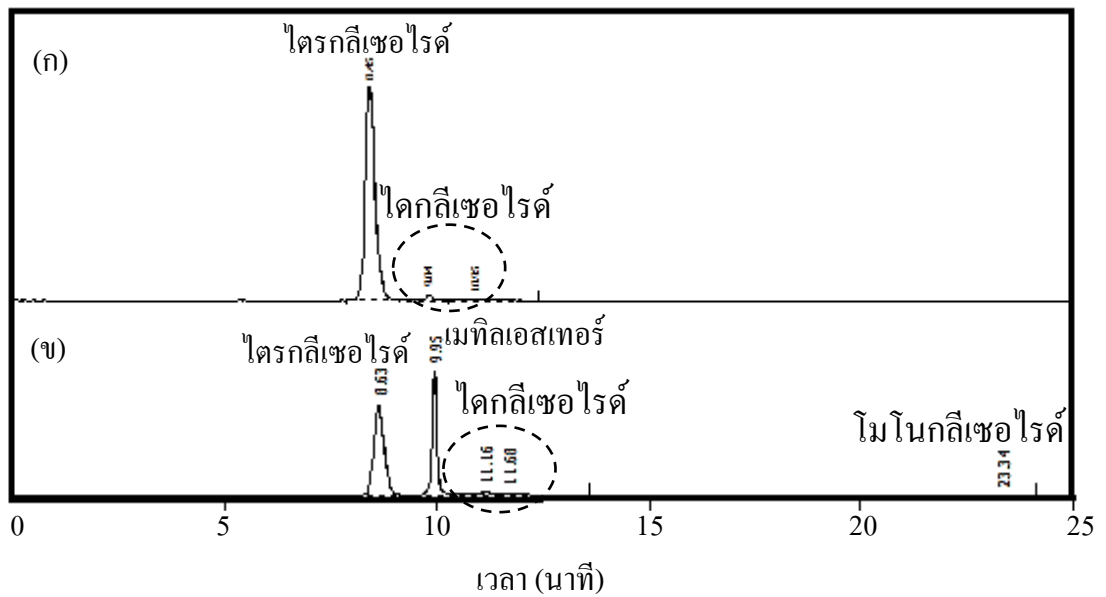
เมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มาทดสอบ LC-MS พบว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่ามวล m/z เท่ากับ 855.7413 $[M+Na]^+$ ซึ่งค่ามวลดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมวลของสูตรโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ($C_{53}H_{100}NaO_6$) และจากสเปกตรัม ^1H-NMR ในรูปที่ 4.1 ยืนยันการมีพันธะคู่บนโครงสร้างได้จากตำแหน่งที่ 2.7 และ 5.3 ppm ซึ่งเป็นโปรตอนของ CH_2- ที่อยู่ระหว่างพันธะคู่ (ตำแหน่งของ C-12) และอยู่ใกล้กับพันธะคู่ (ตำแหน่งของ C-7 และ C-9) ตามลำดับ ผลของสเปกตรัมดังกล่าวสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 และค่ามวลของสูตรโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากการทดสอบ LC-MS ซึ่งบ่งชี้ว่ามีกรดโอเลอิกและลิโนเลอิกเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ สเปกตรัมดังกล่าวยังบอกถึงลักษณะโครงสร้างของน้ำมันปาล์มโอเลอินว่าเป็นแบบไตรกลีเซอไรด์ โดยพิจารณาจากโปรตอนในตำแหน่งที่ 4.1 – 4.3 และ 5.2 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ CH_2- และ $CH-$ ที่อยู่ใกล้กับหมู่เอสเทอร์ (OCO-) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

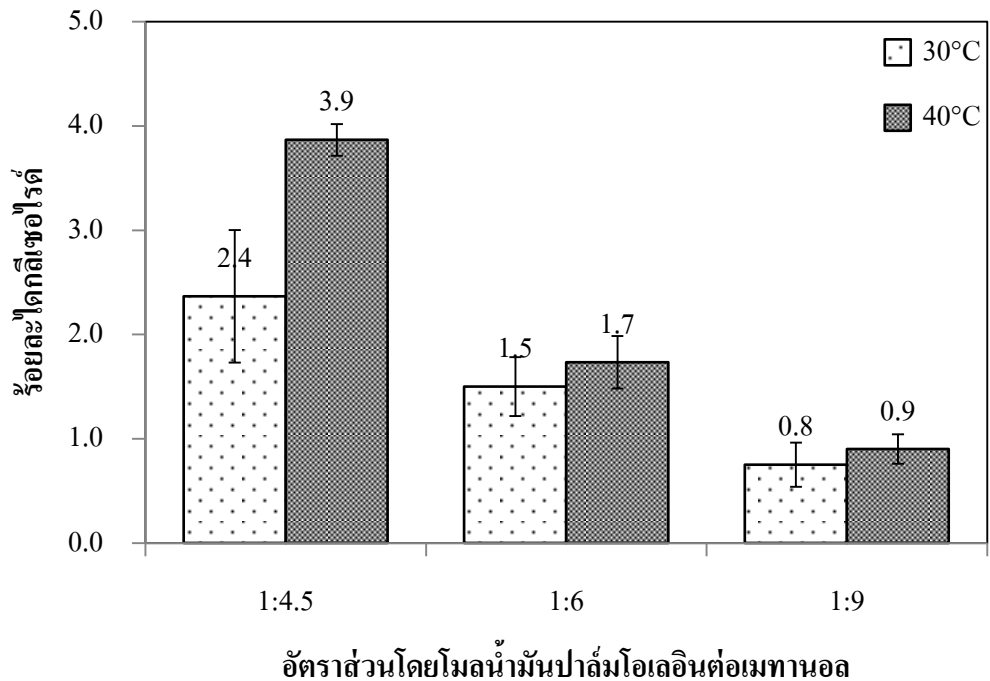
4.2 ผลการตัดแปรโครงสร้างเคมีของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

รูปที่ 4.2 แสดง HPLC โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน จากการเปรียบเทียบโครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มกับสารมาตรฐานพบว่า น้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ และหลังผ่านการตัดแปรด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน สารองค์ประกอบในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยตำแหน่งของพีคที่ปรากฏในโครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา (รูปที่ 4.2 (ก)) ประกอบด้วยพีคของ ไตรกลีเซอไรด์ ที่ตำแหน่ง 8.45 นาทีและไดกลีเซอไรด์ ที่ตำแหน่ง 9.84 และ 10.95 นาที และ โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มโอเลอินหลังทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในรูปที่ 4.2 (ข) ประกอบด้วยพีคของ ไตรกลีเซอไรด์ ที่ตำแหน่ง 8.63 นาที, เมทิลเอสเทอร์ ที่ตำแหน่ง 9.95 นาที, ไดกลีเซอไรด์ ที่ตำแหน่ง 11.16 และ 11.68 นาที และ โมโนกลีเซอไรด์ ที่ตำแหน่ง 23.34 นาที



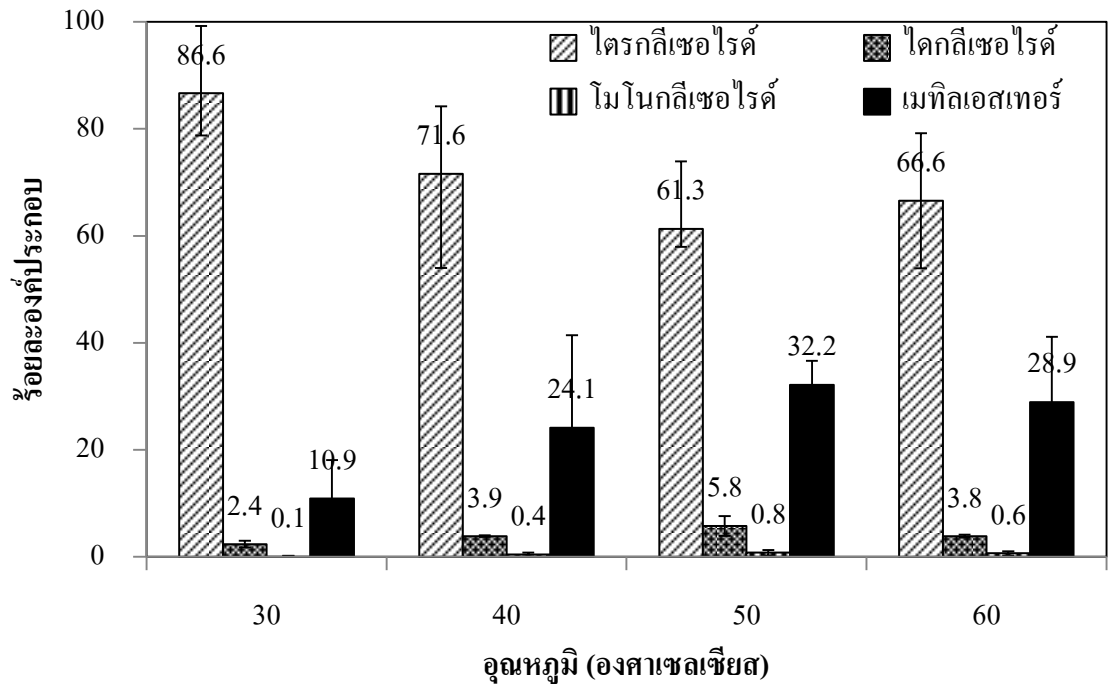
รูปที่ 4.2 HPLC โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา (ก) และหลังผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (ข) ที่สภาวะ 50 องศาเซลเซียส 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนโดยโมล น้ำมันปาล์มโอเลอินต่อเมทานอล 1:4.5

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมลน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อเมทานอลกับปริมาณร้อยละไดกลีเซอไรด์ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ที่เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที) พบว่าปริมาณไดกลีเซอไรด์มีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนโมลของเมทานอลที่เพิ่มขึ้น (จาก 1:4.5 ไปเป็น 1:9) ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 เป็น 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ได้ปริมาณไดกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยในที่นี้พบว่าการใช้อัตราส่วนโมล 1:4.5 ให้ปริมาณร้อยละของไดกลีเซอไรด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนทั้งหมด เนื่องจากการลดอัตราส่วนโมลของน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อเมทานอลมีผลทำให้ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ลดลง [42] จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดระหว่างทาง (Intermediate) อย่างไดกลีเซอไรด์มีโอกาสเกิดเพิ่มขึ้น [43]



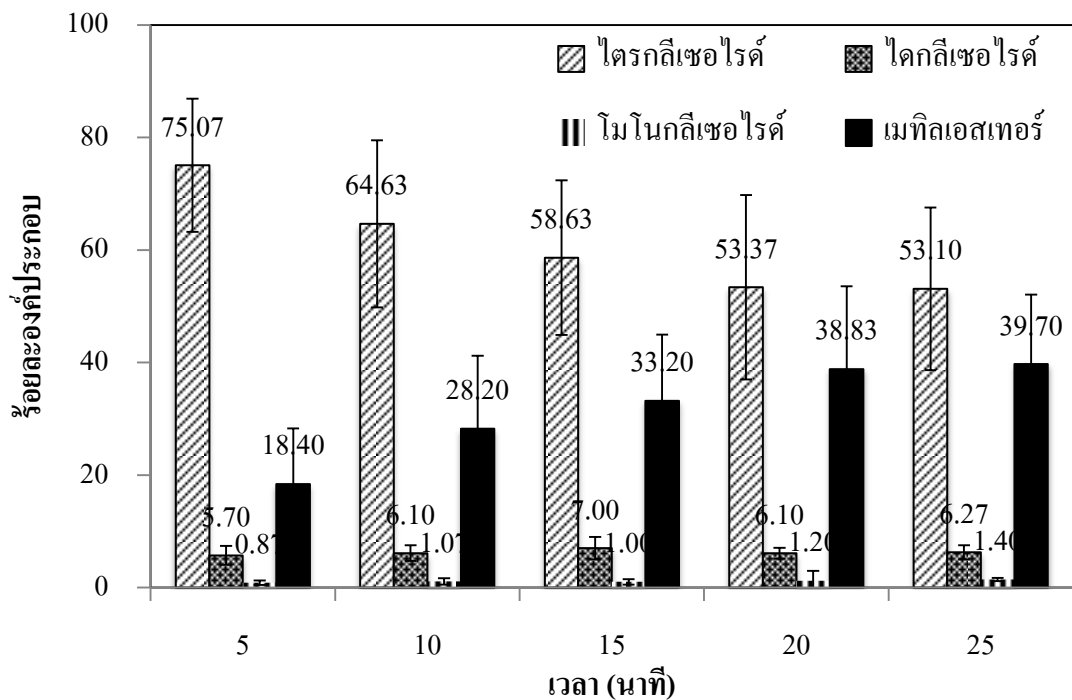
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมลน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อเมทานอลกับปริมาณร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ที่เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้น (โดยทำปฏิกิริยาที่สภาวะอัตราส่วนโมล 1:4.5 และที่เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที) พบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณไตรกลีเซอไรด์จะเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มดังกล่าว และเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยคาดว่าอาจจะเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ [43] ดังนั้น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล อาจเกิดการซึมออกของเมทานอลที่ระเหย ส่งผลให้ปริมาณของเมทานอลที่เข้าทำปฏิกิริยาลดลง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น [32] ประกอบกับในระบบใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว [44] จึงทำให้ในช่วงแรกปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้รวดเร็วและมีปริมาณผลิตภัณฑ์มากเกินพอจึงเป็นแรงขับเคลื่อนให้ เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (โดยใช้ อัตราส่วนโมล 1:4.5 เวลา 15 นาที)

รูปที่ 4.5 แสดงผลของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับร้อยละของผลิตภัณฑ์ (ที่ อัตราส่วนโมล 1:4.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) พบว่าไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มลดลงและเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่ม ในขณะที่ไดกลีเซอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 7 ที่ เวลา 15 นาที คาดว่ามีสาเหตุเนื่องมาจากค่าการเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ของระบบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่ม [28] ซึ่งไดกลีเซอไรด์เป็นเพียงผลิตภัณฑ์ระหว่างทางก่อนการเปลี่ยนเป็น โมโนกลีเซอไรด์และ เมทิลเอสเทอร์ [34] ดังนั้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จึงถูกเปลี่ยนเป็น โมโนกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ

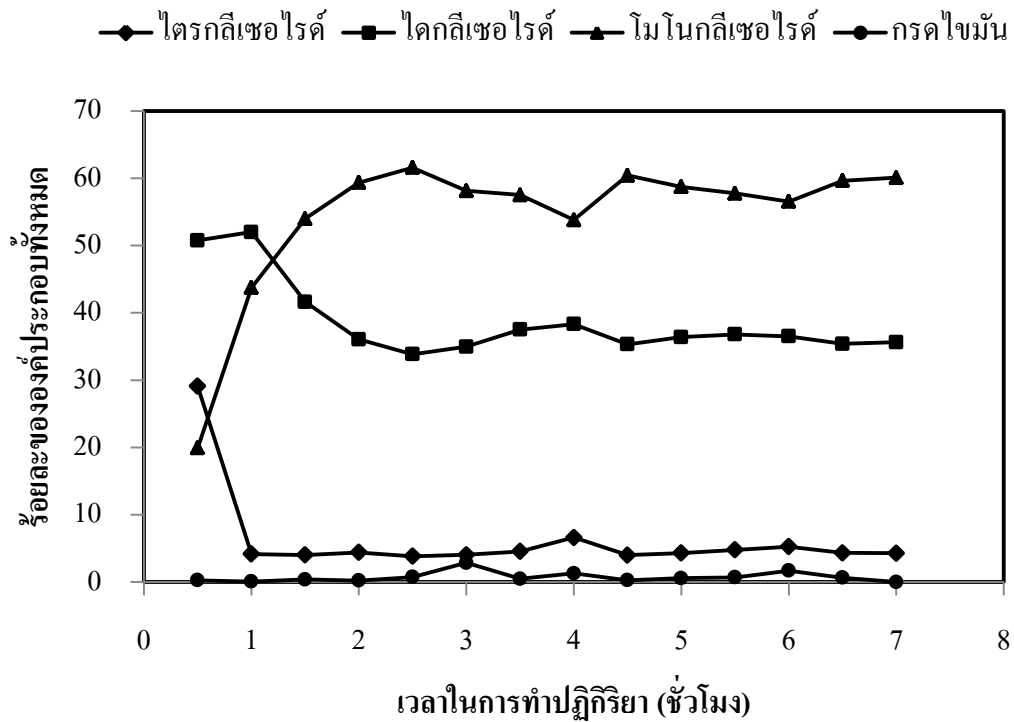


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (โดยใช้อัตราส่วนโมล 1:4.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส)

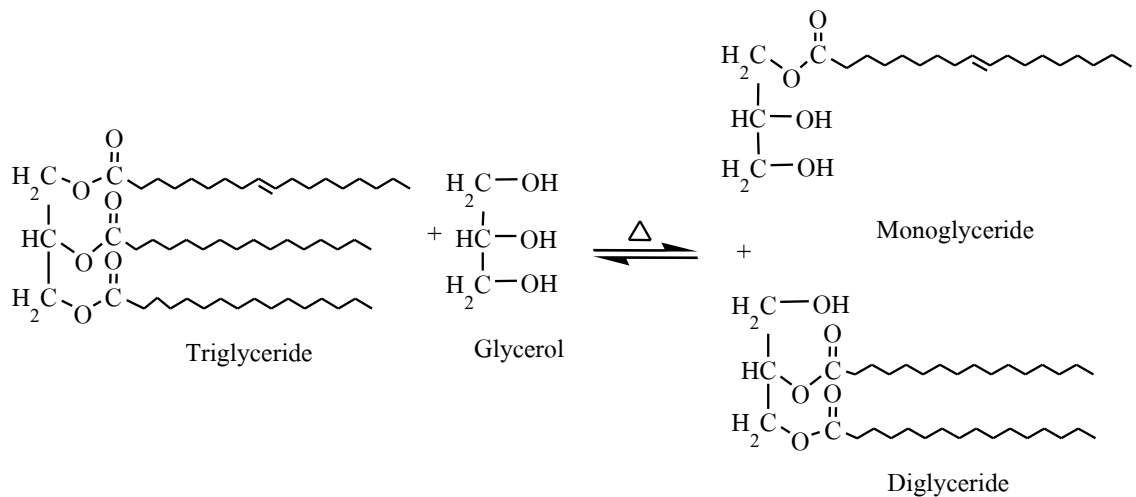
จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าปริมาณไดกลีเซอไรด์ที่ได้ยังมีปริมาณน้อยมากแม้ใช้สภาวะที่ดีที่สุด ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตัดแปรน้ำมันปาล์ม อีกทั้งจากการศึกษางานวิจัยเพิ่มเติม [9, 33 - 35, 45 - 46] จึงมีแนวคิดที่จะใช้กลีเซอรอลแทนเมทานอลในการตัดแปรน้ำมันปาล์มให้มีองค์ประกอบหลักเป็นโมนอกลิเซอไรด์ และจะใช้โดยไม่แยกประเภทของกลีเซอไรด์

4.3 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสที่มีต่อปริมาณโมนอกลิเซอไรด์

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละองค์ประกอบและเวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึง 2.5 ชั่วโมงจะให้ปริมาณโมนอกลิเซอไรด์สูงสุดร้อยละ 61.6 ในขณะที่มีปริมาณไดกลีเซอไรด์ลดลงคิดเป็นร้อยละ 33.9 กรดไขมันอิสระคิดเป็นร้อยละ 0.7 และไตรกลีเซอไรด์คิดเป็นร้อยละ 3.8 สำหรับสาเหตุที่พบไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาปฏิกิริยาอยู่ในผลิตภัณฑ์คาดว่าเนื่องมาจากปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถผันกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ และพบว่าปริมาณของโมนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการทำปฏิกิริยาที่ 3 - 4.5 ชั่วโมง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการย้อนกลับของปฏิกิริยา ดังที่แสดงในรูปที่ 4.7



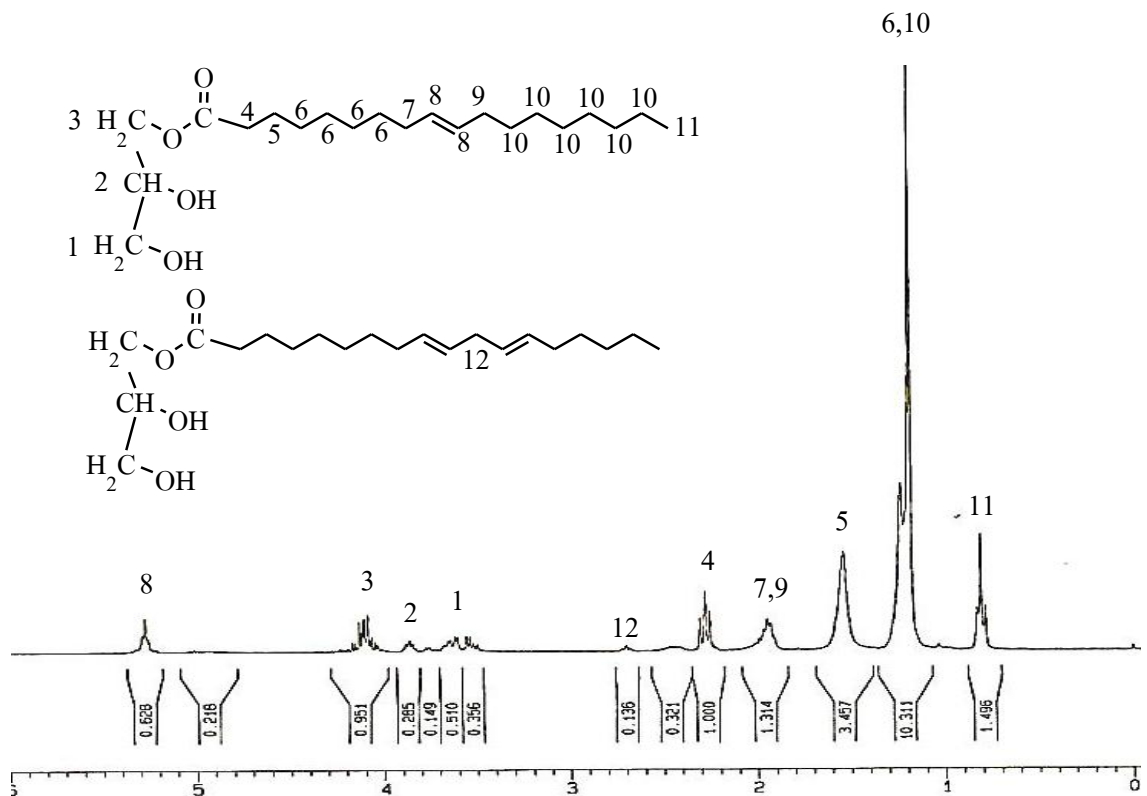
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของร้อยละองค์ประกอบและเวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส



รูปที่ 4.7 ปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากการทดสอบหาค่าน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคลิควิด โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (LC-MS) ซึ่งวัดค่ามวลต่อประจุที่เกิดจากแหล่งกำเนิดประจุบวกแบบอิเล็กโทรสเปร์รี่ (ESI+) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่ามวล m/z เท่ากับ 379.3191 $[M+Na]^+$ ซึ่งค่ามวลดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมวลของสูตรโมเลกุลโมนโอเลอิน ($C_{21}H_{40}NaO_4^+$ 379.2819) และจากการพิจารณาสเปกตรัม ^1H-NMR ในรูปที่ 4.8 พบว่ามีพีคปรากฏที่ตำแหน่ง 3.6 และ 3.8 ppm แสดงถึงการมีโปรตอนของหมู่

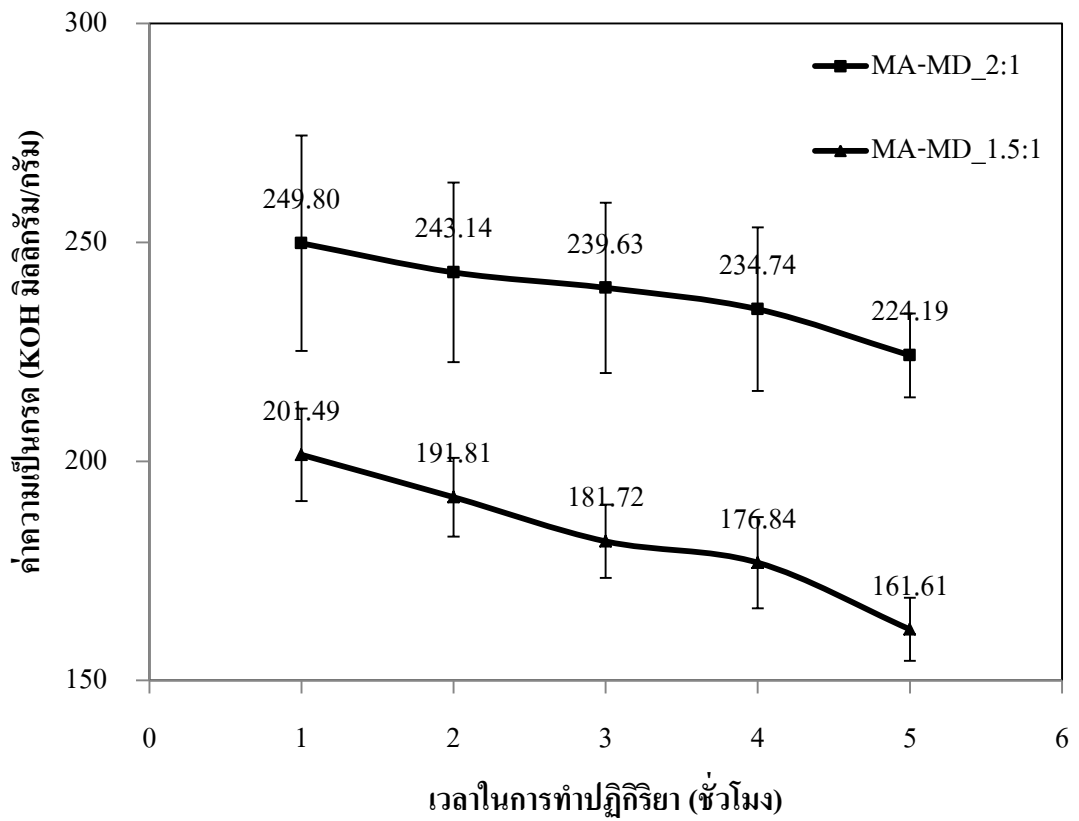
CH₂- และ CH- ตามลำดับ ที่ติดอยู่กับหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และพบพีคปรากฏในตำแหน่ง 4.0 - 4.1 ppm แสดงถึงการมีโปรตอนในหมู่เอสเทอร์ (CH₂OCO-) และพีคที่ปรากฏในตำแหน่ง 5.3 ppm แสดงถึงโปรตอนในหมู่ CH₂- ที่อยู่ติดกับพันธะคู่ จากผลของสเปกตรัมดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นโมโนโอเลอที่ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ LC-MS ดังนั้น จึงเลือกใช้เวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสสำหรับสังเคราะห์น้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็น 2.5 ชั่วโมง เนื่องจากได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของผสมระหว่างโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ ที่มีอัตราส่วนโมโนกลีเซอไรด์มากที่สุด



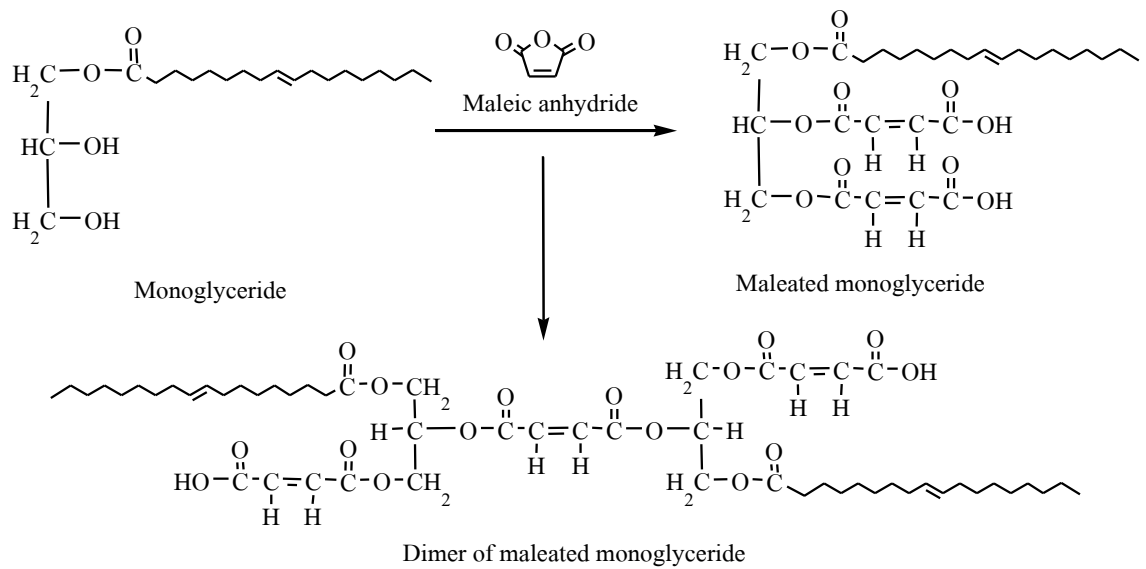
รูปที่ 4.8 สเปกตรัม ¹H-NMR ของน้ำมันปาล์มโอเลอีนหลังผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

4.4 ผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยามาเลอีนที่มีต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยามาเลอีนของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มคัดแปรในขั้นที่ 1 (ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส) กับค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีหมู่คาร์บอกซิลลดลงเนื่องจากโครงสร้างผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นไดเมอร์ ไตรเมอร์ หรือโอลิโกเมอร์ มากขึ้น [11] ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ล่าง)

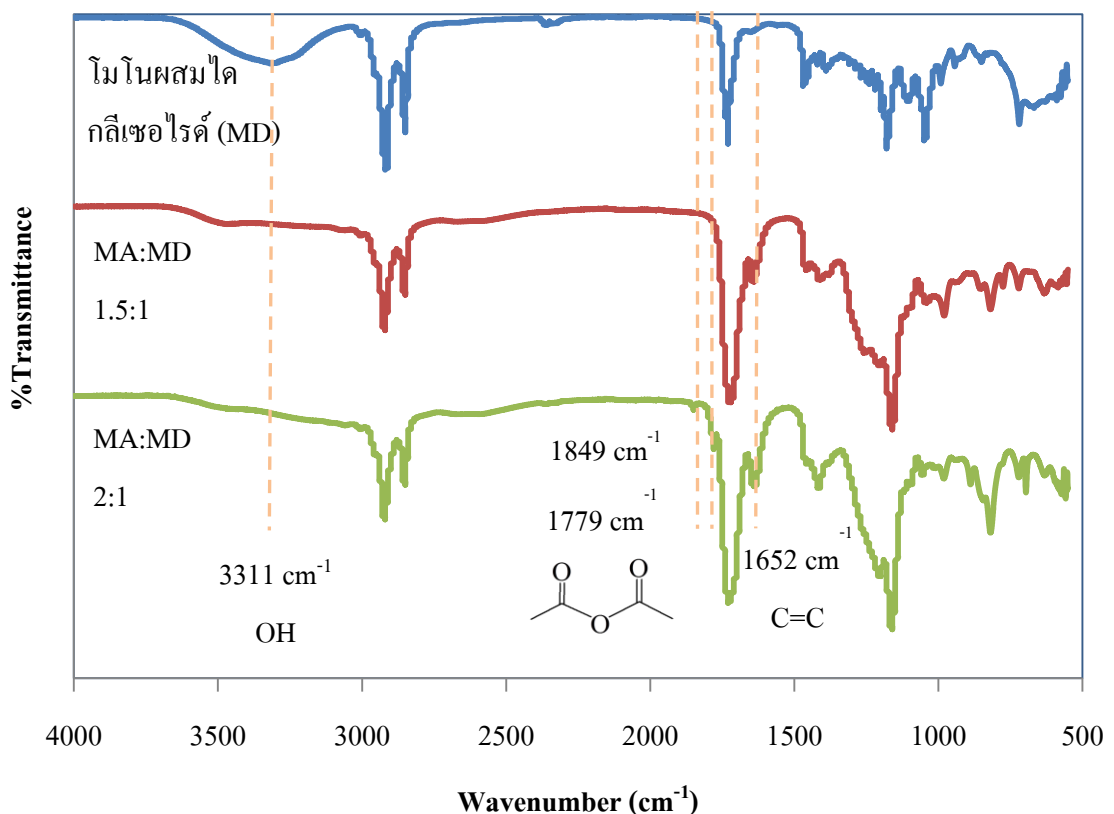


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มตัดแปร ด้วยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสกับค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยามาลีเอชันของน้ำมันปาล์มตัดแปร

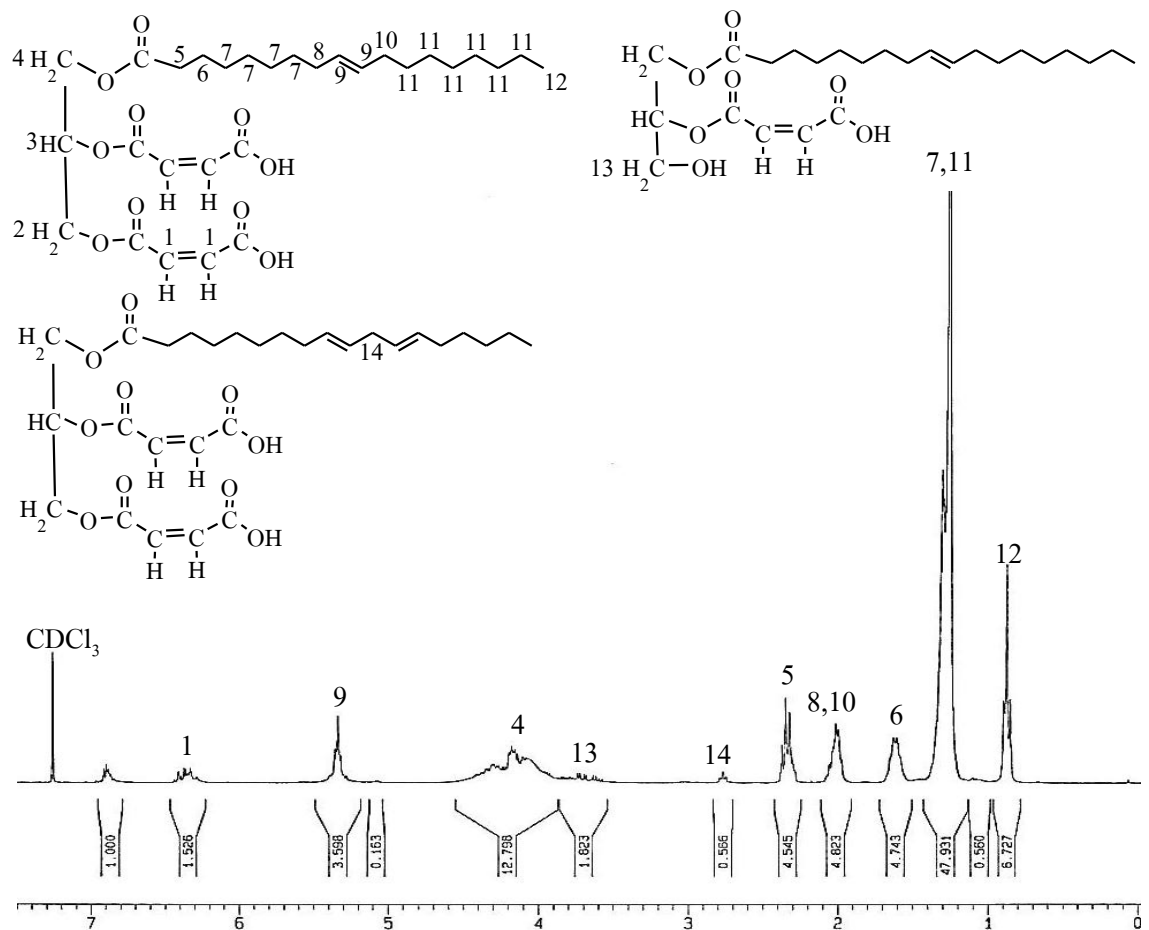
จากรูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัม FTIR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังการทำปฏิกิริยามาลีเอชัน พบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปรหลังทำปฏิกิริยามาลีเอชันเกิดการลดลงของพีคที่ตำแหน่ง 3311 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซี (OH) โดยน่าจะเป็นผลจากการเข้าไปแทนที่ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ นอกจากนี้ยังพบพีคใหม่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1652 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่แอลคีน (C=C) ที่เกิดจากการเปิดวงออกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยทราบได้จากการเกิดพีคที่ตำแหน่ง 1779 และ 1849 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C=O ในหมู่แอนไฮไดรด์ ในกรณีนี้ทำปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ MA:MD เป็น 2:1 โมล จะมีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยาเหลืออยู่ ในขณะที่ไม่พบพีคดังกล่าวในอัตราส่วนโดยโมลของ MA:MD 1.5:1 โมล ดังนั้นจึงได้เลือกใช้อัตราส่วนดังกล่าว (1.5:1) ในการทำปฏิกิริยามาลีเอชัน เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนที่มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์เพียงพอกับปริมาณของหมู่ไฮดรอกซีในน้ำมันปาล์มดัดแปร โดยไม่เหลือมาเลอิกแอนไฮไดรด์มากเกินไป



รูปที่ 4.11 สเปกตรัม FTIR ของน้ำมันปาล์มดัดแปรก่อนและหลังทำปฏิกิริยามาลีเอชัน

เมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มาทดสอบ LC-MS พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่ามวล m/z เท่ากับ 715.5144, 575.2960 และ 477.3086 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ ซึ่งค่ามวลดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมวลของสูตรโมเลกุลมาลีเอทไดคัลซิเอไรด์ $\text{C}_{41}\text{H}_{72}\text{NaO}_8^+$, $\text{C}_{29}\text{H}_{44}\text{NaO}_{10}^+$, $\text{C}_{25}\text{H}_{42}\text{NaO}_7^+$ ตามลำดับ และจาก

การยืนยันโครงสร้างโมเลกุลโดยใช้สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ในรูปที่ 4.12 พบว่ามีพีคปรากฏที่ตำแหน่ง 6.3 - 6.4 ppm ซึ่งแสดงถึงการมีไวนิลโปรตอนในพันธะคู่ที่เกิดจากการเปิดวงออกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์เข้าทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบพีคที่ตำแหน่ง 6.9 ppm ซึ่งเป็นพีคที่แสดงถึงการมีไวนิลโปรตอนในพันธะคู่ของฟูมาเรท (Fumarate) ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของมาเลอิก โดยฟูมาเรทมีโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันจัดเรียงตัวในทิศตรงกันข้าม (Trans-isomer) กับมาเลอิกซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันจัดเรียงตัวในทิศเดียวกัน (Cis-isomer) เกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน [11] ในขณะที่ไวนิลโปรตอนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งปรกติจะปรากฏที่ตำแหน่ง 7.1 ppm แต่พบว่าไม่ปรากฏในสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากมาเลอิกแอนไฮไดรด์สามารถละลายน้ำได้จึงถูกชะออกไปในขั้นตอนการล้างผลิตภัณฑ์ จากผลที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจึงสามารถยืนยันได้ว่ามาเลอิกแอนไฮไดรด์มีการเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซีของน้ำมันปาล์มดัดแปรจริงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นแบบมาลีเอทไดกลีเซอไรด์

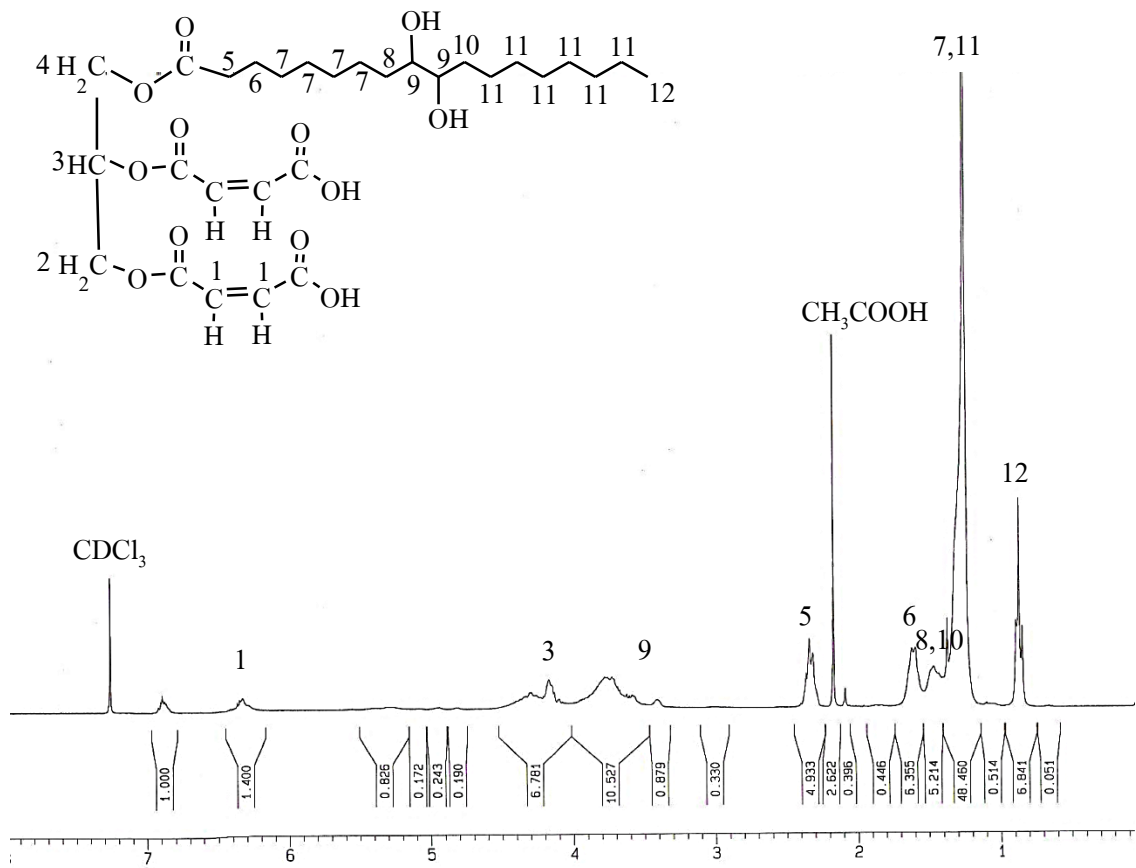


รูปที่ 4.12 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยามาลีเอชัน

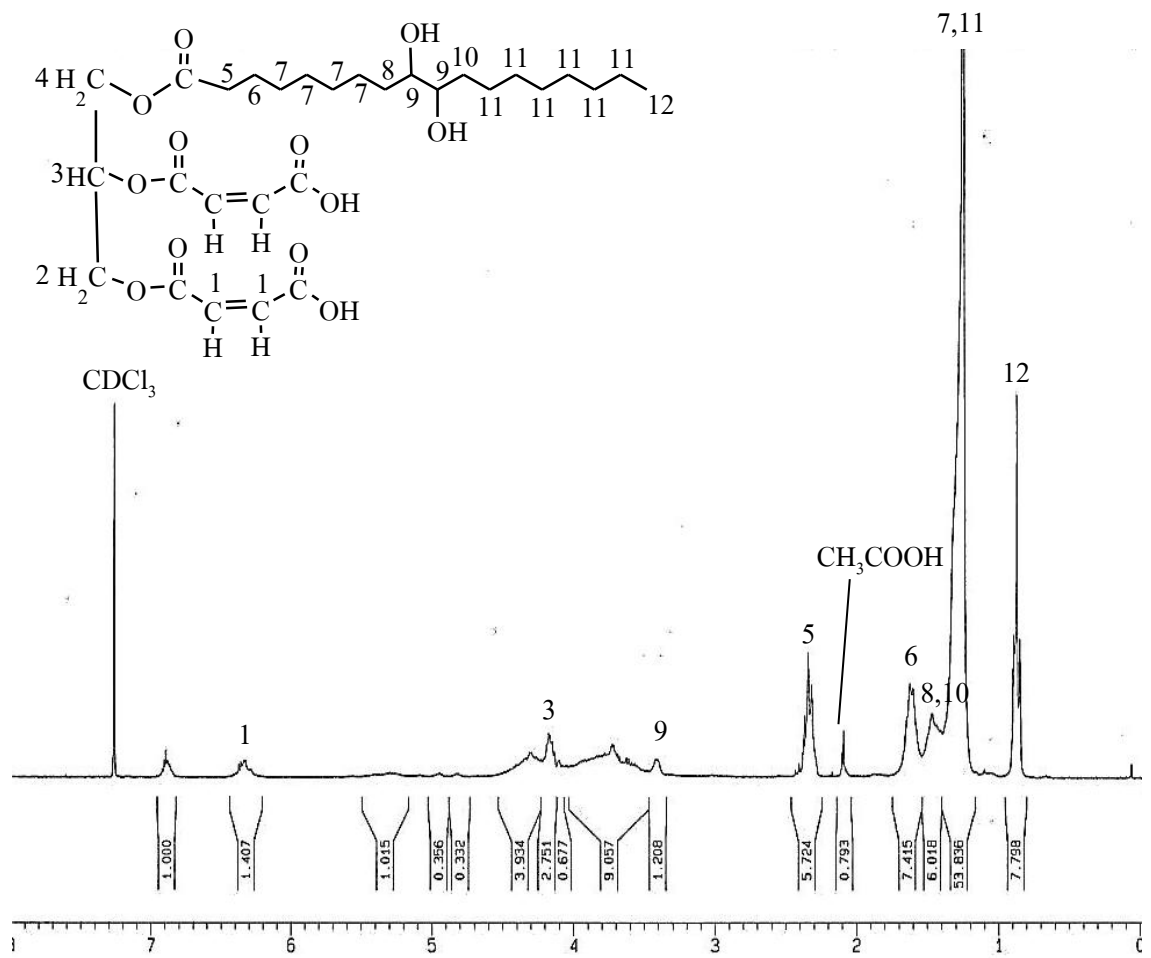
4.5 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 4.13 – 4.15 แสดงสเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับ MA ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจากสเปกตรัมต่างๆ ดังกล่าว ไม่พบพีคในตำแหน่ง 2.7 - 3.0 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งพีคของโปรตอนในวงแหวนออกซิเรน และนอกจากนั้นยังสังเกตพบการลดลงของพีคในตำแหน่งที่ 5.3 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งพีคของโปรตอนของพันธะคู่ในกรดไขมัน ในขณะที่พีคที่ตำแหน่ง 3.4 – 4.0 ppm (ซึ่งพีคในตำแหน่งดังกล่าวเป็นพีคของโปรตอนที่มีหมู่ไฮดรอกซี) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาเปิดวง (Ring opening reaction) ของวงแหวนออกซิเรนเกิดขึ้น ซึ่งการเปิดออกของวงแหวนออกซิเรนนี้นั้นสามารถอธิบายได้ดังกลไกในรูปที่ 4.16 ซึ่งคาดว่าเกิดจากกรดอะซิดิกและน้ำที่มีอยู่ในปฏิกิริยาเหนี่ยวนำให้วงแหวนออกซิเรนเปิดออก

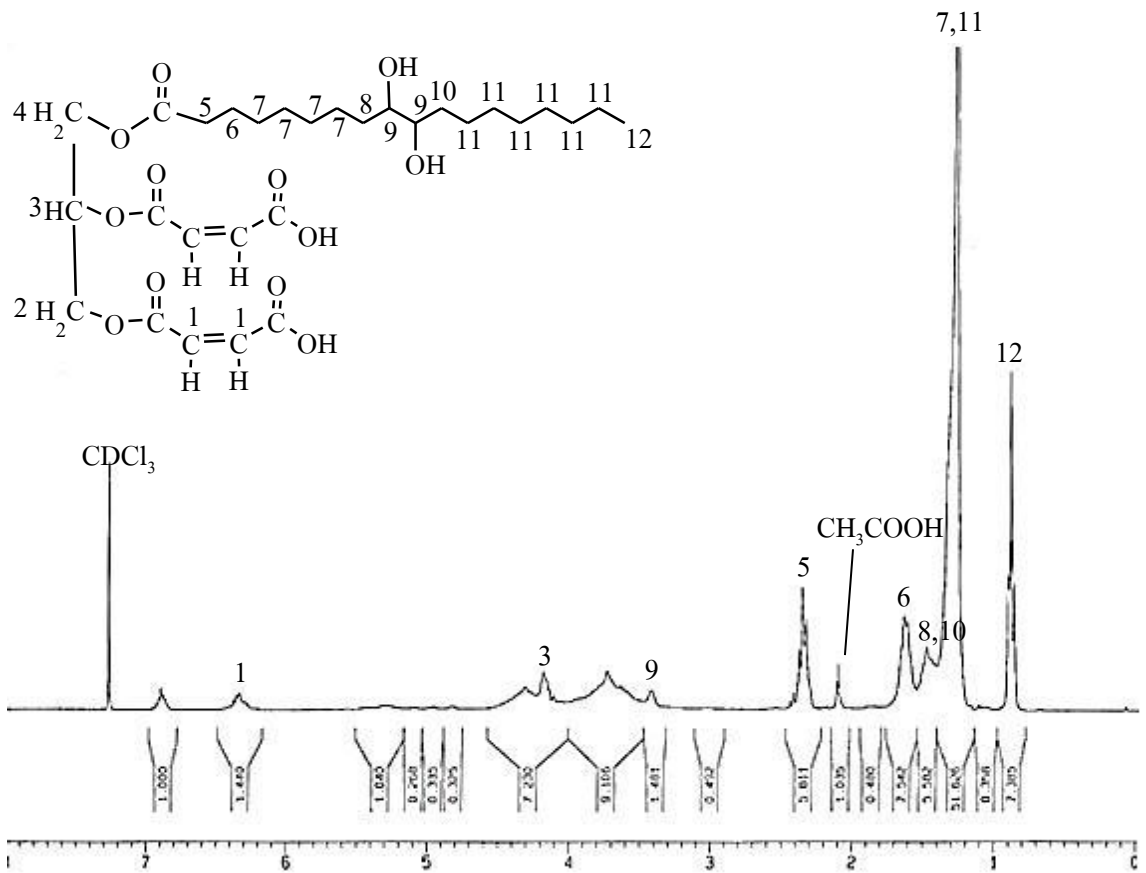
จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง อย่างไรก็ตามเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปรเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซีในงานขึ้นถักไป จึงเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาศึกษา เนื่องจากมีปริมาณกรดอะซิดิกปนอยู่น้อยและเป็นช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะการทำปฏิกิริยาเดียวกับที่ใช้ดัดแปรทำน้ำมันปาล์ม โอเลอินอีพอกซิไดซ์ได้ปริมาณออกซิเรนสูงสุดที่สามารถนำไปผสมกับพีวีซีคอมพาวด์ได้



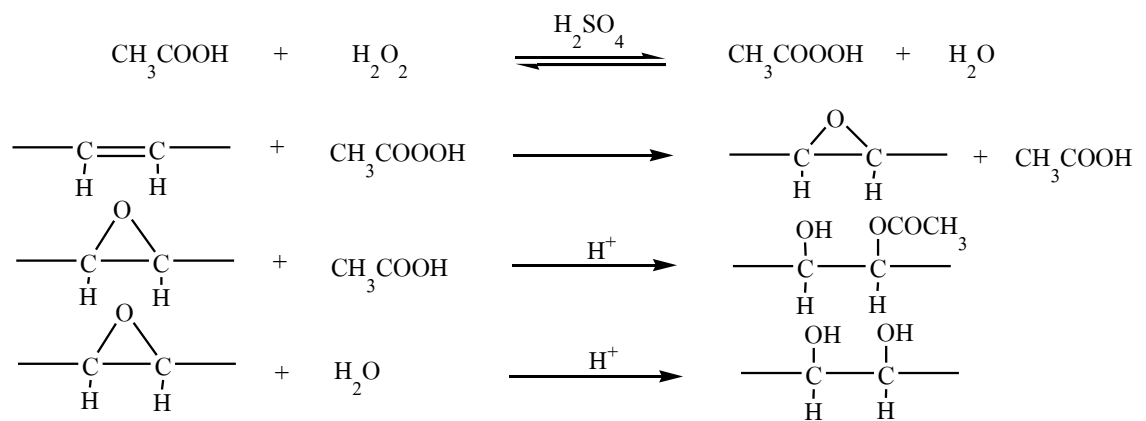
รูปที่ 4.13 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.14 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.15 สเปกตรัม ¹H-NMR ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและการเปิดวงแหวนออกซิเรน [47]

4.6 ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวด์

จากการทดลองผสมพีวีซีคอมปาวด์กับน้ำมันปาล์มตัดแปร 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มตัดแปรที่ผ่านปฏิกิริยาเกลือโรไลซิสตามด้วยปฏิกิริยามาลีเอชัน (MPO) และน้ำมันปาล์มตัดแปรที่ผ่านกระบวนการเกลือโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ (EMPO) โดยใช้กระบวนการอัดรีดพบว่าไม่สามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 2 สูตร โดยสูตรที่ใช้ MPO สามารถผสมด้วยเครื่องอัดรีดได้ แต่พีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวดายมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ผิวแตกขรุขระ (ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18) และไม่สามารถขึ้นรูปให้เป็นแผ่นซีทบางได้เนื่องจาก MPO ไหลเยิ้มแยกออกจากพีวีซีคอมปาวด์ส่งผลให้เกิดรูและรอยแยกบนแผ่นซีท จึงไม่สามารถขึ้นรูปให้เต็มแม่พิมพ์ได้ (ดังแสดงในรูปที่ 4.19) ส่วนสูตรที่ใช้ EMPO ผสม พบว่าพอลิเมอร์ที่อัดรีดออกจากหัวดายไม่หลอม เพราะมี EMPO บางส่วนไหลเยิ้มออกจากหัวดายและเกิดการแยกเฟสระหว่างพีวีซีกับ EMPO (ดังแสดงในรูปที่ 4.20) จากที่กล่าวมานั้น คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากน้ำมันดังกล่าวไม่มีวงแหวนออกซิเรน จึงมีสภาพขี้ตัว ทำให้ไม่สามารถจับกับสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีได้ จึงเกิดการแยกเฟสของพีวีซีกับน้ำมันตัดแปร



รูปที่ 4.17 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ MPO ในสัดส่วน 60 pph



รูปที่ 4.18 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ MPO ในสัดส่วน 20 pph



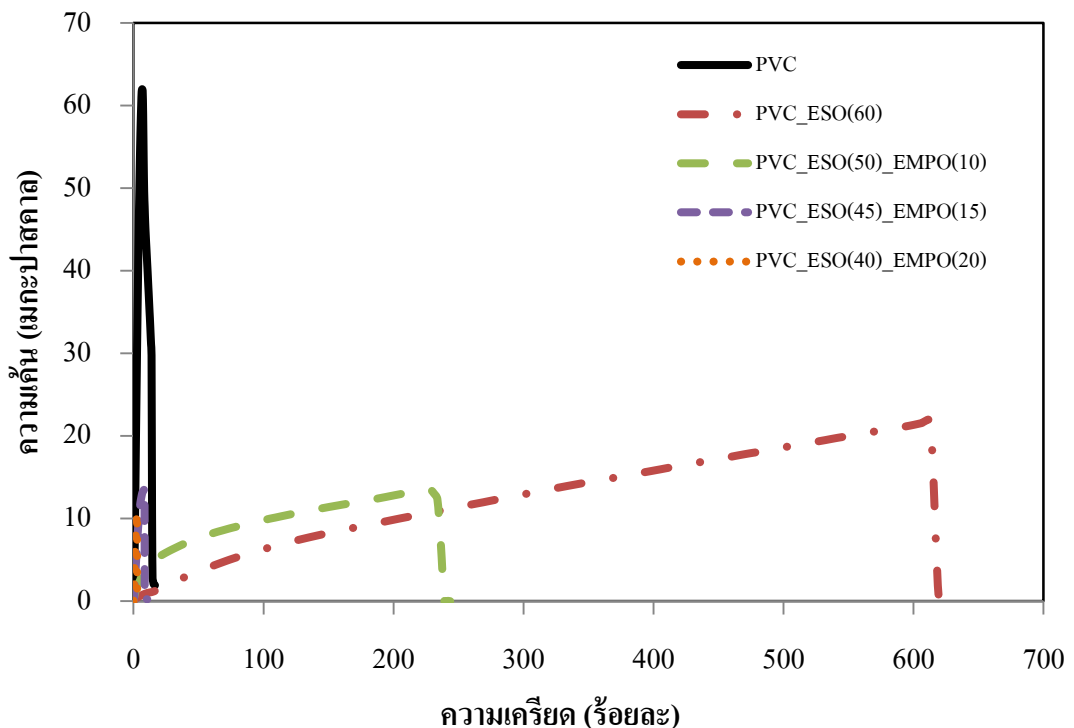
รูปที่ 4.19 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ใช้ MPO เมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นซีท



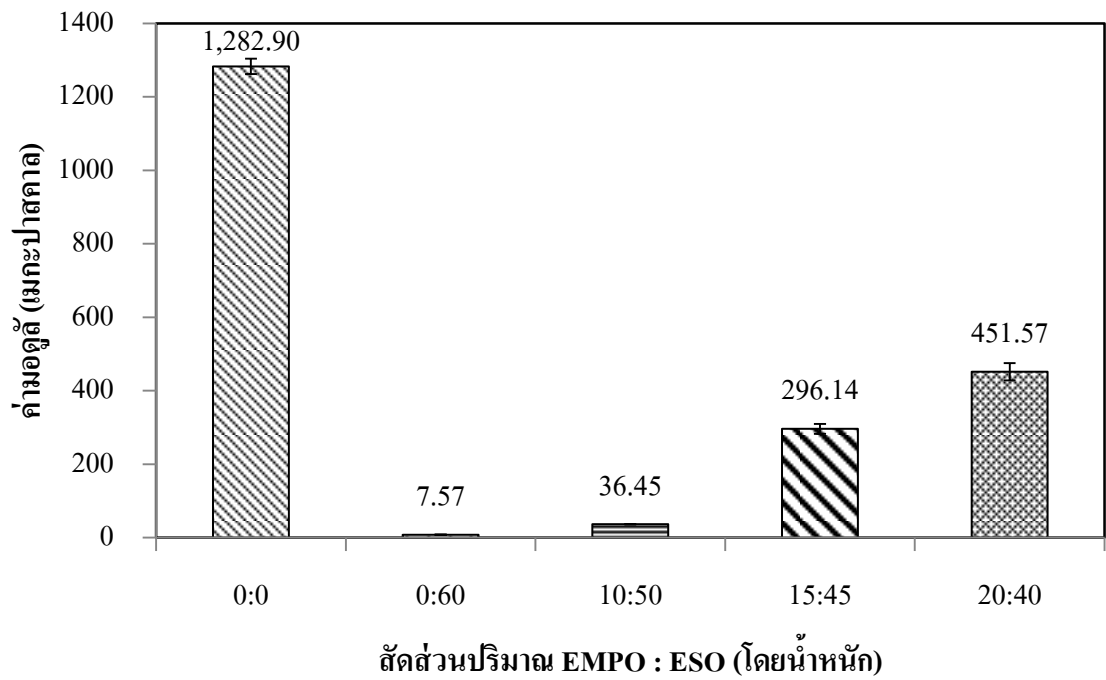
รูปที่ 4.20 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์เมื่อใช้ EMPO ในสัดส่วน 60 pph

ในขณะที่พีวีซีคอมปาวด์ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ผสมกับ EMPO พบว่าขึ้นงานสามารถอัดรีดได้และจากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่ามีความเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับพีวีซีที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติกใดๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.21) ในขณะที่ค่าโมดูลัสและค่าทนแรงดึงลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 4.22 -รูปที่ 4.24) ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเมื่อใช้ EMPO : ESO ที่สัดส่วน 0 : 60 โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมเฉพาะ ESO และพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมน้ำมันคัลดแปรผสมระหว่าง EMPO กับ ESO พบว่ากรณีแรกให้ค่าโมดูลัสสูงกว่า ส่วนค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดต่ำกว่า คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจาก ESO มีวงแหวนออกซิเรน (ดังแสดงในรูปที่ ข.5) ส่งผลให้มีสภาพขี้วสูงกว่า EMPO จากสภาพขี้วที่ต่างกันส่งผลให้สารสองตัวดังกล่าวทำงานร่วมกันได้ไม่ดี ขึ้นงานพีวีซีจึงมีความเปราะและแตกง่าย

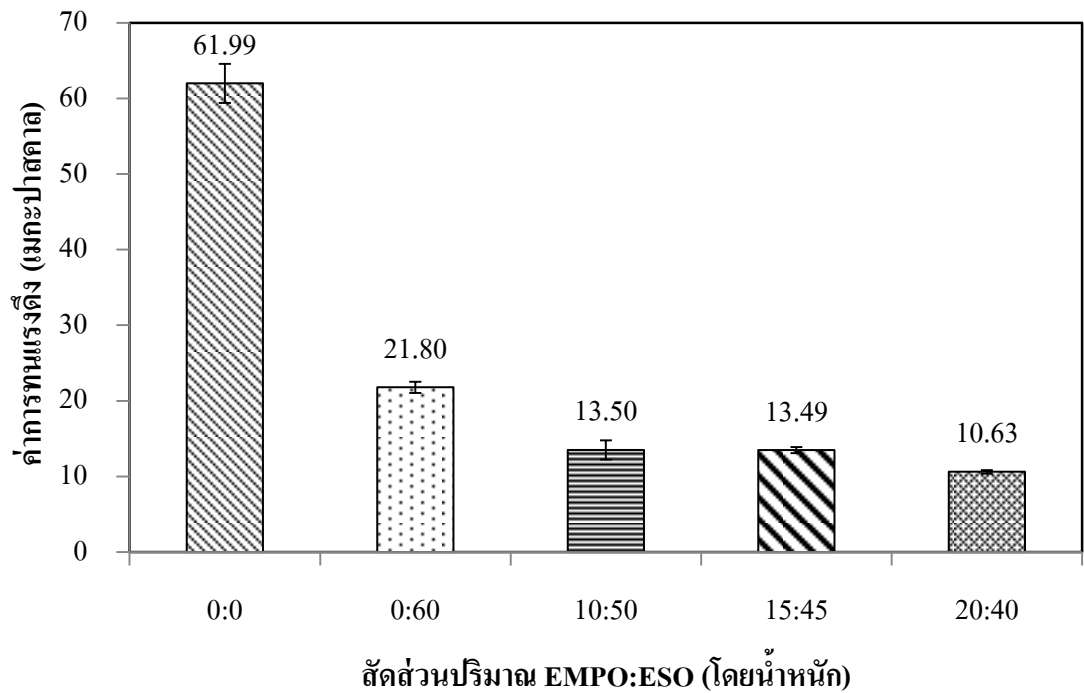
จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่า EMPO มีประสิทธิภาพในการทำน้ำที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซีไม่ดีเท่ากับ ESO ทั้งนี้ น่าจะมีสาเหตุมาจากสภาพขั้วที่ต่างกันของพีวีซีกับน้ำมันคัลแดรที่ใช่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ EMPO ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้าง (ดังแสดงในรูปที่ 4.14) พบว่ามีการเปิดวงออกของวงแหวนออกซิเรนซึ่งอาจเกิดเป็นได้ทั้งหมู่อะซิเตต (acetate) และหมู่ไฮดรอกซี (ดังแสดงในรูปที่ 4.16) ส่งผลให้ EMPO มีสภาพขั้วต่ำ ดังนั้นเมื่อเติมน้ำมันปาล์มคัลแดรตัวนี้ลงไป ในพีวีซีคอมปาวด์จึงเข้ากับสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีได้ไม่ดี ในขณะที่ ESO มีโครงสร้างที่มีวงแหวนออกซิเรน ซึ่งช่วยให้ น้ำมันคัลแดรดังกล่าวมีสภาพขั้วสูงขึ้น จึงส่งผลให้เข้ากับพีวีซีได้มากกว่า



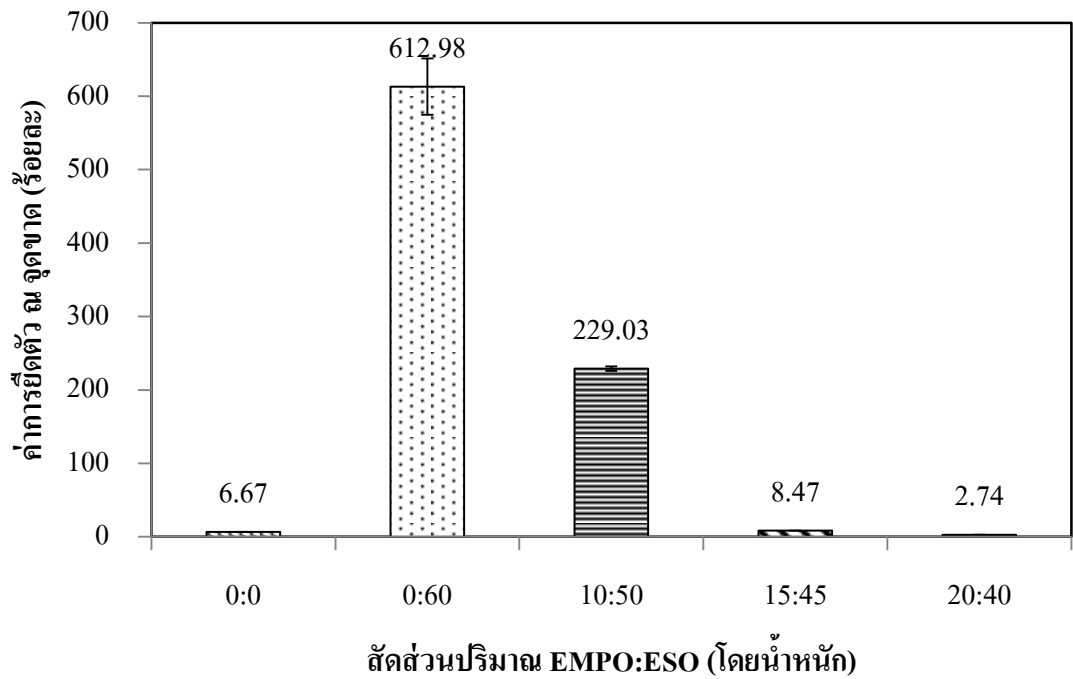
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับความเครียดของพีวีซีคอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมสภาพพลาสติกน้ำมันปาล์มคัลแดรผ่านกระบวนการกลีเซอโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชันตามลำดับ (EMPO) ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ในอัตราส่วน EMPO:ESO 0:60, 10:50, 15:45, 20:40 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับพีวีซีคอมปาวด์ที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของพีวีซีคอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมสภาพพลาสติกน้ำมันปาล์มตัดแปรผ่านกระบวนการกลีเซอโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ (EMPO) ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ในอัตราส่วน EMPO:ESO 0:60, 10:50, 15:45, 20:40 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับพีวีซีคอมปาวด์ที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแรงดึงของพีวีซีคอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมสภาพพลาสติก น้ำมันปาล์มตัดแปรผ่านกระบวนการกลีเซอโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ (EMPO) ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ในอัตราส่วน EMPO:ESO 0:60, 10:50, 15:45, 20:40 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับพีวีซีคอมปาวด์ที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดตัว ณ จุดขาดของพีวีซีคอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมสภาพน้ำมันปาล์มคัดแปรผ่านกระบวนการกลีเซอโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชันตามลำดับ (EMPO) ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) ในอัตราส่วน EMPO:ESO 0:60, 10:50, 15:45, 20:40 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับพีวีซีคอมปาวด์ที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยา

จากการตรวจวิเคราะห์สมบัติน้ำมันปาล์ม โอเลอิน สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

- องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก คิดเป็นร้อยละ 42.91
- น้ำหนักโมเลกุลมีค่าเท่ากับ 852.68 กรัม/โมล
- ค่าไอโอดีน 59.07 กรัม ของ ไอโอดีน/100 กรัม
- กรดไขมันอิสระ ร้อยละ 0.05
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (ที่ 40 องศาเซลเซียส) 0.90 กรัม/มิลลิลิตร
- ค่าความหนืด (ที่ 40 องศาเซลเซียส) 39.99 ตารางมิลลิเมตร/วินาที

5.2 ผลของสถานะในการทำปฏิกิริยา

5.2.1 ผลการตัดแปรโครงสร้างเคมีของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปริมาณไดกลีเซอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียสและ 15 นาที ตามลำดับ จากนั้นปริมาณดังกล่าวจึงเริ่มลดลงตามอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไดกลีเซอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเมทานอลที่ลดลง โดยสถานะที่ให้ปริมาณไดกลีเซอไรด์สูงสุด (ร้อยละ 7) คือ ที่อัตราส่วนโดยโมล น้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:4.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

5.2.2 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสที่มีต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์

เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกส่งผลให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเพิ่มสูงสุดที่ 2.5 ชั่วโมง ให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 61.6 ที่เหลือเป็นไดกลีเซอไรด์และอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 33.9 และ 4.5 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนโอเลอิกที่มีค่ามวลโมเลกุล m/z 379.3191 $[M+Na]^+$

5.2.3 ผลของสถานะในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์

การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น สถานะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันของน้ำมันปาล์มตัดแปรกลีเซอโรไลซิสที่อุณหภูมิ 125

องศาเซลเซียส คือ ที่อัตราส่วนโดยโมลมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อน้ำมันปาล์มดัดแปรกลีเซอโรไลซิส 1.5:1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง (ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 161.61 (KOH มิลลิกรัม/กรัม))

5.2.4 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์

การใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (โดยใช้ปริมาณกรดอะซิติก 0.19 โมล กรดซัลฟูริก 0.003 โมล และ 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.56 โมล) ไม่ส่งผลให้เกิดวงแหวนออกซิเรน ในทางตรงกันข้ามทำให้เกิดการเปิดออกของวงแหวนออกซิเรน

5.3 ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวด์

พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีการเติมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (ESO) มีค่าโมดูลัสและค่าทนแรงดึงต่ำลง ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลคลอไรด์สูตรที่ปราศจากสารเสริมสภาพพลาสติก ส่วนการเติมน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ผ่าน กระบวนการกลีเซอโรไลซิส มาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ (EMPO) ทำให้ค่าโมดูลัสมีแนวโน้มสูงขึ้น ค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง จึงส่งผลให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นจาก 7.57 เป็น 451.57 เมกะปาสคาล และค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงจาก 21.80 เป็น 10.63 เมกะปาสคาล และจากร้อยละ 612.98 เป็น ร้อยละ 2.74 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์เพียงอย่างเดียว

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมด พบว่าน้ำมันปาล์มที่เตรียมด้วยปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส ปฏิกิริยามาลีเอชันและปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ตามลำดับ นั้นยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกให้กับพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ ส่งผลให้ความเข้ากันได้ยังไม่ดีนัก จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาจึงมีข้อที่น่าสังเกตที่ควรนำมาพิจารณาปรับปรุง เพื่อให้ได้สารเสริมสภาพพลาสติกจากน้ำมันปาล์มที่ดี ดังนี้

- 1) การแยกกลีเซอรอลที่เหลือเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดออกให้หมด อาจใช้กรดช่วย เช่น กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น
- 2) เพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามาลีเอชันให้นานขึ้น เนื่องจากยังพบว่ายังมีหมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาเหลืออยู่
- 3) สภาพของอัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรดังกล่าว เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดวงแหวนออกซิเรนและการเปิดออกของวงแหวนออกซิเรน

- 4) น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่มีพันธะคู่อยู่น้อย จึงอาจใช้ปฏิกิริยาเปิดวง (Ring-opening) และปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) ตามลำดับ เพื่อเพิ่มปริมาณพันธะคู่ในโครงสร้างให้กับน้ำมันปาล์มก่อนนำมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน
- 5) ปรับปรุงสภาพตัวของน้ำมันปาล์มดัดแปรให้สูงขึ้น โดยผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีปริมาณพันธะคู่สูง เช่น น้ำมันยางพารา และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. ปารีชาติ ศิริ, 2552, **สถานการณ์และแนวโน้ม อุตสาหกรรมพลาสติกไทย** [Online], Available: <http://www.thai-plastic.com/uploads/files/doc/document1.pdf> [13 มิถุนายน 2556]
2. นวตล เพ็ชรวัฒนา, 2554, "การเสริมสภาพพลาสติกในพอลิไวนิลคลอไรด์", **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ฉบับที่ 13, ปีที่ 4, หน้า 30 - 41.
3. ปิยาณี ตั้งทองทวี, 2546, "โพลีไวนิลคลอไรด์", **เทคโนโลยีอุตสาหกรรม Rubber&Plastics**, ฉบับที่ 30, ปีที่ 169, หน้า 147 - 150.
4. สุภาณี หิรัญชนกจิจากุล, 2538, **ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 10** [Online], Available: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146 [13 มิถุนายน 2556]
5. ปราณี วิเศษ, 2542 "อันตรายของไดออกซิลพทาเลท (DOP) ในฟิล์มห่อหุ้มอาหาร", **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, ฉบับที่ 47, ปีที่ 150, หน้า 25 - 26.
6. Herman P. B., Bhima R. V., and Joel D. E., 2004, "**Plasticizers Derived from Vegetable Oils**", United State Patent, No. 6797753 B2.
7. กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค มอก. 288 - 2535", **น้ำมันปาล์ม**, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 109, ตอนที่ 52, หน้า 3.
8. Riedeman, W.L., and Lupichuk, A., 1969, "**Compositions Comprising Polyvinyl Chloride and Epoxidized Methyl Esters of Maleinized Fatty Acids**", United State Patent, No. 3451958.
9. Can, E., Kusefoglu, S., and Wool, R.P., 2001, "Rigid Thermosetting Liquid Molding Resins from Renewable Resources I. Synthesis and Polymerization of Soy Oil Monoglyceride Maleates", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 81, No. 1, pp. 69 - 77.

10. Wang, H.J., Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Hu, J., Chen, H.W., and Czigány, T., 2007, "Biodegradable Foam Plastics Based on Castor Oil", **Biomacromolecules**, Vol. 9, No. 2, pp. 615 - 623.
11. Mistri, E., Routh, S., Ray, D., Sahoo, S., and Misra, M., 2011, "Green Composites from Maleated Castor Oil and Jute Fibres", **Industrial Crops and Products**, Vol. 34, No. 1, pp. 900 - 906.
12. คารณี เจริญสุข, 2548, **ไบโอดีเซลแบบหลายหน้าที่จากสต็อกสบู่**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 25, 32 - 33.
13. Derawi, D., and Salimon, J., 2010, "Optimization on Epoxidation of Palm Olein by Using Performic Acid", **E-Journal of Chemistry**, Vol. 7, No. 4, pp. 1440 - 1448.
14. Okieimen, F.E., Bakare, O.I., and Okieimen, C.O., 2002, "Studies on the Epoxidation of Rubber Seed Oil", **Industrial Crops and Products**, Vol. 15, No. 2, pp. 139 - 144.
15. Benaniba, M.T. and Massardier-Nageotte, V., 2010, "Evaluation Effects of Biobased Plasticizer on the Thermal, Mechanical, Dynamical Mechanical Properties, and Permanence of Plasticized PVC", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 118, No. 6, pp. 3499 - 3508.
16. ประภาพรรณ จิตรีเที่ยง, 2546, **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารเพิ่มสภาพพลาสติกที่ทำจากน้ำมันเมล็ดยางพาราสำหรับพีวีซี**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 54 - 58
17. ทินโน ขวัญดี, **โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Palm Oil Mills)** [Online], Available: http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=1859&Itemid=4 [13 มิถุนายน 2556]

18. ชีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีระพงษ์ จันทรมิขม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สรสนอง, 2548, **เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน**, ม.ป.พ., กรุงเทพมหานคร, หน้า 30 - 31.
19. พรชัย เหลืองอากาศพงศ์, 2549, **คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค**, สำนักพิมพ์ มติชน, กรุงเทพมหานคร, หน้า 27 - 28, 321 - 324.
20. กรมวิชาการเกษตร, 2548, **วิชาการปาล์มน้ำมัน** [Online], Available: <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html> [13 มิถุนายน 2556]
21. Wilkes, C.E., Summers, J. W. and Daniels, C. A., 2005, **PVC Handbook**, USA: Hanser Gardner, pp. 19 - 21.
22. กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สถาบันพลาสติก, 2556, **แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อทดแทนการนำเข้า**, อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ, กรุงเทพมหานคร, หน้า 10.
23. Esser, A., 2001, **Manufacture of PVC** [Online], Available: <http://www.chm.bris.ac.uk/web/projects2001/esser/manufacture.html> [13 June 2013]
24. Lakshmi, S. and Jayakrishan, A., 2008, **The Economic Benefits of Polyvinyl Chloride in the United States and Canada**, Chlorine Chemistry Division of the American Chemistry Council and the Vinyl Institute, Vol. 12, pp. 3 - 22.
25. Mulder, K. and Knot, M., 2001, "PVC Plastic: A History of Systems Development and Entrenchment", **Technology in Society**, Vol. 23, No. 2, pp. 265 - 286.
26. อรุษา สรวารี, 2546, **สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1**, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 107 - 111
27. Marcilla, A. and Beltran, M., 2012, "Mechanisms of Plasticizers Action", In G. Wypych (Ed.), **Handbook of Plasticizers**, (2nd ed.), Ontario: ChemTec, pp. 116

28. Meher, L.C., Vidya S. D., and Naik, S.N., 2006, "Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification — A Review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 10, No. 3, pp. 248-268.
29. Silva, C., Vieitez, I., Jachmanián, I., Castilhos, F., Filho, L.C., and Oliveira, J.V., 2012, "Non-Catalytic Production of Ethyl Esters Using Supercritical Ethanol in Continuous Mode", In Z. Fang (Ed), **Biodiesel - Feedstocks Production and Applications**, ISBN: 978 - 953 - 51-09 10 -5, InTech, DOI: 10.5772/52013, [Online], Available: <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-production-and-applications/non-catalytic-production-of-ethyl-esters-using-supercritical-ethanol-in-continuous-mode> [13 June 2013]
30. Schuchardt, U., Sercheli, R., and Vargas, R.M., 1998, "Transesterification of Vegetable Oils: A Review", **Journal of the Braz Chemical Society**, Vol. 9, No. 1, pp. 199 - 210.
31. เกศรา เสนีย์ศรีสกุล, ธาณี เจริญวงศ์ธนชัย และมนัสวี สุทธิพงษ์, 2551, การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากไขมัน/น้ำมันพืชด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 11 - 12.
32. Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., Pardal, A., and Martinez, G., 2010, "Transesterification of Rapeseed Oil with Methanol in the Presence of Various Co-Solvents", **Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste**, Venice: Environmental Sanitary Engineering Centre, pp. 10.
33. Hui, Y.H., 1996, "Edible Oil and Fat Products: Processing Technology", In A. E. Bailey and Y. H. Hui (Ed), **Bailey's Industrial Oil and Fat Products** (5th ed), ISBN: 9780471594284, Wiley-Interscience, Vol. 4.
34. Nouredini, H., Harkey, D.W., and Gutsman, M.R., 2004, "A Continuous Process for the Glycerolysis of Soybean Oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 81, No. 2, pp. 203 - 207.

35. Sonntag, N.V., 1982, "Glycerolysis of Fats and Methyl Esters — Status, Review and Critique", **Journal of the American Oil Chemists Society**, Vol. 59, No. 10, pp. 795A-802A.
36. William, R.D., Alan, J.P., Nestor, P.H., Paul, W.B., Charles, C.M., 2010, "**Caustic Removable Hot Melt Adhesive Formulations**", United State Patent, No. 0255228 A1.
37. Mazo, P.C., Estenoz D., and Rios, L.A., 2009, "Kinetics of the Esterification of Maleic Anhydride with Castor Oil", **Latin American Applied Research**, Vol. 41, pp. 11 - 15.
38. Forney Le Roy, S. and Sheerin Thomas, J., 1973, "Preparation of Electrodeposition Resins: Lactone Formation During Maleinization", **Electrodeposition of Coatings**, Washington: American Chemical Society, Vol. 119, pp. 88 - 97.
39. Aigbodion, A.I., Okieimen, F.E., Ikhuoria, E.U., Bakare, I.O., and Obazee, E.O., 2003, "Rubber Seed Oil Modified with Maleic Anhydride and Fumaric Acid and Their Alkyd Resins as Binders in Water-Reducible Coatings", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 89, No. 12, pp. 3256 - 3259.
40. Gamage, P.K., O'Brien, M., and Karunanayake, L., 2009, "Epoxidation of Some Vegetable Oils and Their Hydrolysed Products with Peroxyformic Acid - Optimised to Industrial Scale", **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, Vol. 37, No. 4, pp. 229 - 240.
41. Tayde, S., Patnaik, M., Bhagt, S.L., and Renge, V.C., 2011, "Epoxidation of Vegetable Oils: A Review", **International Journal of Advanced Engineering Technology**, Vol. 2, No. 4, pp. 491 - 501.
42. Sulistyoy, H., Rahayu, S.S., Suardjaja, I.M., and Setiadi, U.H., 2009, "Crude Candlenut Oil Ethanolysis to Produce Renewable Energy at Ambient Condition", **The World Congress on Engineering and Computer Science**, Vol. 1, pp. 85 - 88.

43. Becerra Ortega, M., Centeno Hurtado, A., and Giraldo Duarte, S.A., 2011, **Triglyceride Transesterification in Heterogeneous Reaction System with Calcium Oxide as Catalyst**, [Online], Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0120-62302011000100001&lng=pt&nrm=iso&tlng=en, No. 57, pp. 7 - 13. [13 June 2013]
44. Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H., 2001, "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils", **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Vol. 92, No. 5, pp. 405 - 416.
45. Chetpattananondh, P., and Tongurai, C., 2008, "Synthesis of High Purity Monoglycerides from Crude Glycerol and Palm Stearin", **Songklanakarinn Journal of Science and Technology**, Vol. 30, No. 4, pp. 515 - 521.
46. May, C.Y., Ngan, M.A., and Basiron, Y., 1999, **Production Technology of Palm-Based Monoglycerides**, Kuala Lumpur: PORIM TT, No.14, pp. 1 - 2.
47. Milchert, E., Smagowicz, A., and Lewandowski, G., 2010, "Optimization of the Reaction Parameters of Epoxidation of Rapeseed Oil with Peracetic Acid", **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Vol. 85, No. 8, pp. 1099 - 1107.

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ก.1 คำนวณหาค่าไอโอดีน

ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และใช้สมการที่ 3.1 คำนวณหาค่าไอโอดีน คิดเป็นค่าไอโอดีนเฉลี่ยได้ 59.08 ดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน

| ครั้งที่ | น้ำหนักน้ำมันปาล์ม (กรัม) | ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ที่ใช้ไป (มิลลิลิตร) | ค่าไอโอดีน (กรัม I ₂ /100 กรัม) |
|----------|------------------------------|--|---|
| blank | | 49.45 | |
| 1 | 0.204 | 39.9 | 59.41 |
| 2 | 0.218 | 39.15 | 59.96 |
| 3 | 0.205 | 40.10 | 57.88 |
| เฉลี่ย | 0.209 | - | 59.08 |

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าไอโอดีนโดยใช้สมการที่ 3.1

$$= ((49.45 - 39.9) \times 0.1 \times 12.69) / 0.204$$

$$= 59.41 \text{ กรัม ของ ไอโอดีน/100 กรัม}$$

ก.2 คำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ตารางที่ ก.2 องค์ประกอบกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน

| ชนิดของกรดไขมัน | สูตรโมเลกุล | น้ำหนักโมเลกุลของ กรดไขมัน | ร้อยละกรดไขมัน ในน้ำมันปาล์มโอเลอิน |
|-----------------|--|-------------------------------|--|
| กรดลอริก | (C12 : 0) C ₁₂ H ₂₄ O ₂ | 200 | 0.57 |
| กรดไมริสติก | (C14 : 0) C ₁₄ H ₂₈ O ₂ | 228 | 1.08 |
| กรดปาล์มมิติก | (C16 : 0) C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 256 | 38.14 |
| กรดสเตียริก | (C18 : 0) C ₁₈ H ₃₆ O ₂ | 284 | 4.49 |
| กรดโอเลอิก | (C18 : 1) C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 282 | 42.91 |
| กรดลิโนเลอิก | (C18 : 2) C ₁₈ H ₃₂ O ₂ | 280 | 11.41 |
| กรดอะราคิติก | (C20 : 0) C ₂₀ H ₄₀ O ₂ | 312 | 0.46 |
| กรดอีลูซิก | (C22 : 1) C ₂₂ H ₄₂ O ₂ | 338 | 0.94 |

จากตารางที่ ก.2 และ สมการที่ 3.2 สามารถนำมาใช้คำนวณหาปริมาณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้ ดังนี้

คำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

$$= ((0.57 \times 200) + (1.08 \times 228) + (38.14 \times 256) + (4.49 \times 284) + (42.91 \times 282) + (11.41 \times 280) + (0.46 \times 312) + (0.94 \times 338)) / 100$$

$$= 271.56 \text{ กรัม/โมล}$$

คำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์ม

$$= (3 \times \text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม}) + \text{มวลโมเลกุลของกลีเซอรอล} - (3 \times \text{มวลโมเลกุลของน้ำ})$$

$$= (3 \times 271.56) + 92 - (3 \times 18)$$

$$= 852.68 \text{ กรัม/โมล}$$

ก.3 คำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล และใช้สมการที่ 3.2 คำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ (กรดปาล์มมิติก) คิดเป็นค่าร้อยละกรดไขมันเฉลี่ยได้ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ผลวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน

| ครั้งที่ | น้ำมันปาล์ม (กรัม) | ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร) | ร้อยละกรดปาล์มมิติก |
|----------|-----------------------|--|---------------------|
| blank | - | 0.15 | - |
| 1 | 5.01 | 0.25 | 0.0510 |
| 2 | 5.03 | 0.25 | 0.0508 |
| 3 | 5.03 | 0.25 | 0.0508 |
| เฉลี่ย | 5.02 | - | 0.0509 |

ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระโดยใช้สมการที่ 3.2

$$= ((0.25 - 0.15) \times 0.1 \times 25.6) / 5.01$$

$$= 0.0510$$

ก.4 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

หาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปาล์ม โอเลอินที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และคำนวณหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม โอเลอิน โดยใช้สมการที่ 3.3 จะได้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม โอเลอินเฉลี่ย 0.90026 กรัม/มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ผลวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน

| ลำดับ | น้ำหนักขวด พิคโนมิเตอร์ (กรัม) | น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์และ น้ำมันปาล์มโอเลอิน (กรัม) | น้ำหนักน้ำมัน ปาล์มโอเลอิน (กรัม) | ค่าความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร) |
|--------|--------------------------------------|---|---|------------------------------------|
| 1 | 17.88251 | 26.87382 | 8.99131 | 0.89913 |
| 2 | 17.88251 | 26.89633 | 9.01382 | 0.90138 |
| เฉลี่ย | 17.88251 | 26.88508 | 9.00256 | 0.90026 |

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความหนาแน่นโดยใช้สมการที่ 3.3

$$= 8.99131 / 10$$

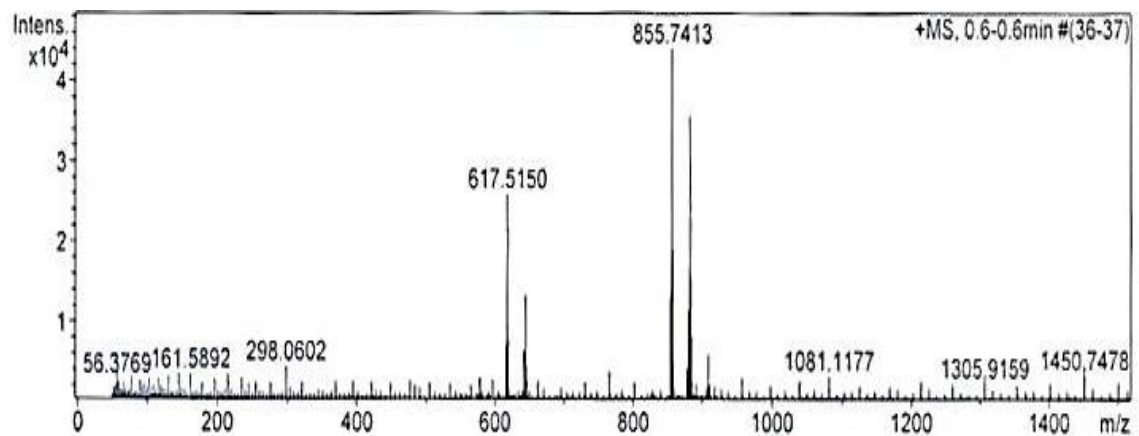
$$= 0.899131 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}$$

ภาคผนวก ข

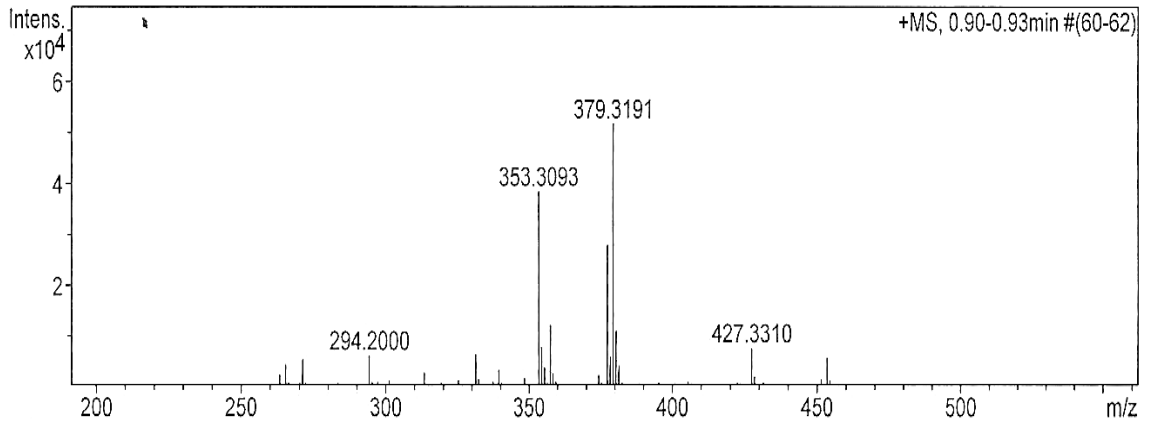
ผลวิเคราะห์น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองหลังผ่านการตัดแปร

ตารางที่ ข.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มคัดแปรที่ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส

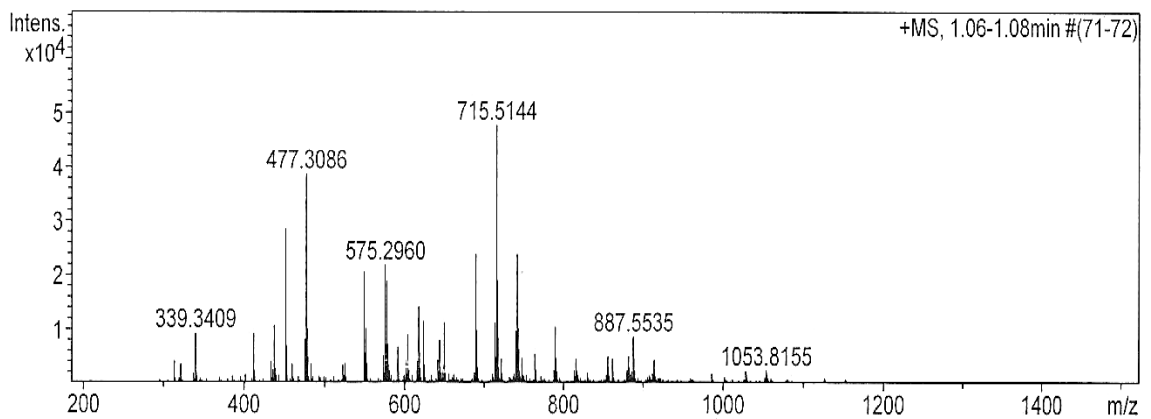
| ชนิดของกลีเซอไรด์ | ตัวอย่าง | | | ร้อยละเฉลี่ย |
|-------------------|----------|------|------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| ไตรกลีเซอไรด์ | 3.4 | 3.5 | 4.6 | 3.8 |
| ไดกลีเซอไรด์ | 31.4 | 33.6 | 36.6 | 33.9 |
| โมนอกลิเซอไรด์ | 65.2 | 60.8 | 58.8 | 61.6 |
| กรดไขมันอิสระ | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 0.7 |



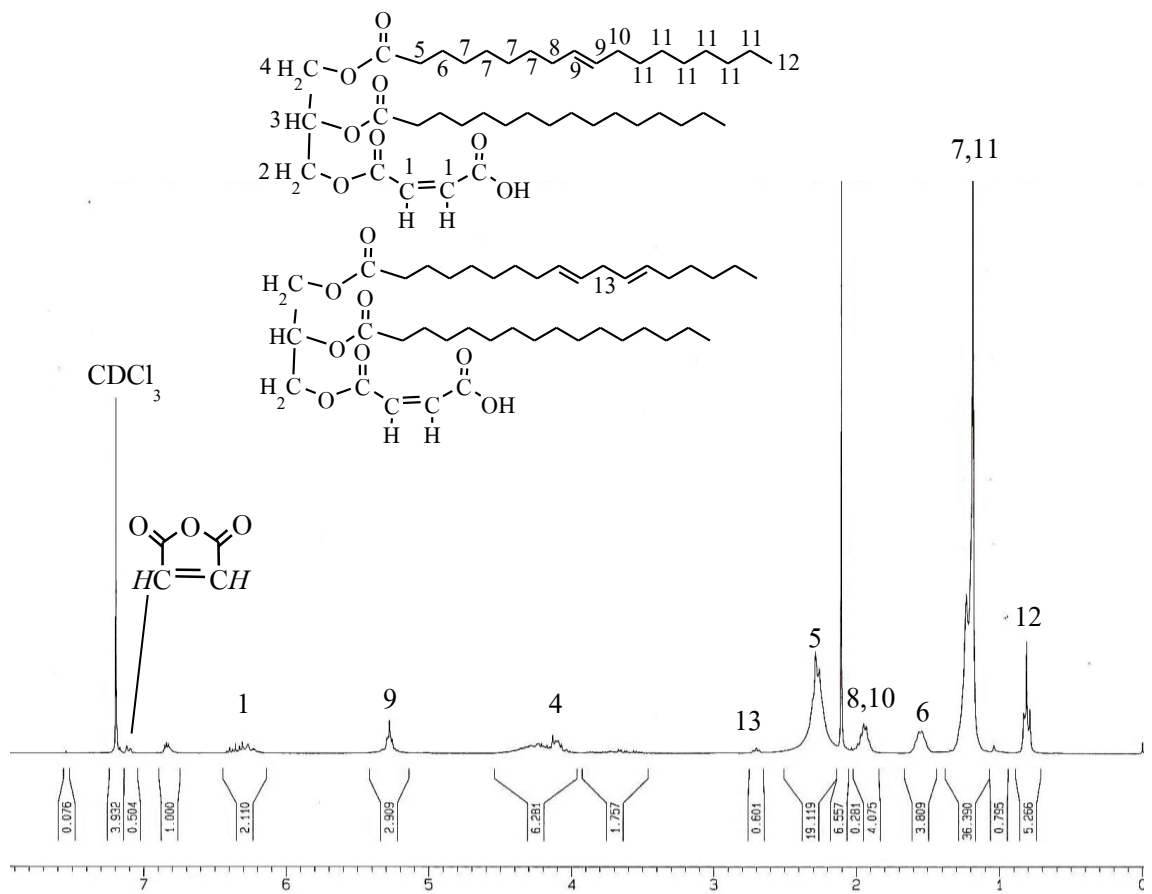
รูปที่ ข.1 โครมาโตแกรม LC - MS ทดสอบโดยวิธี HR - ESI - MS ที่ m/z 855.7413 $[M+Na]^+$ (คำนวณสำหรับสูตรโมเลกุล $C_{53}H_{100}NaO_6^+$ 855.7412) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มโอเลอิน



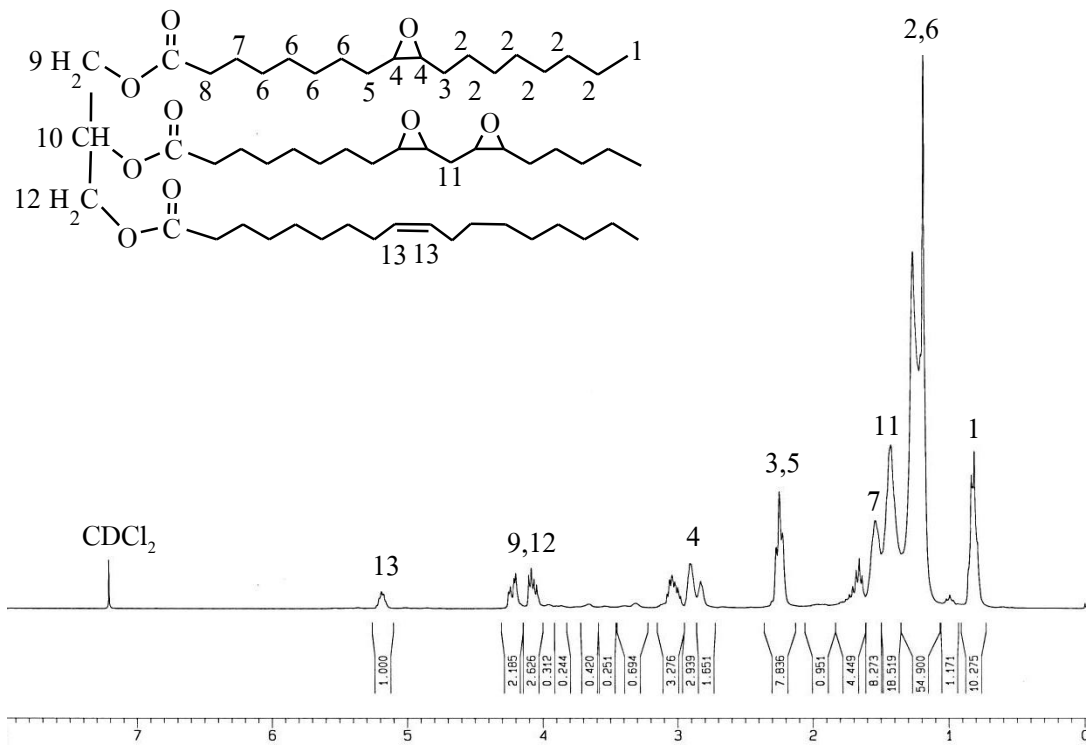
รูปที่ ข.2 โครมาโตแกรม LC-MS ทดสอบโดยวิธี HR-ESI-MS ที่ m/z 379.3191 $[M+Na]^+$ (คำนวณสำหรับสูตรโมเลกุล $C_{21}H_{40}NaO_4^+$ 379.2819) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มที่ผ่านการตัดแปรโดยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส



รูปที่ ข.3 โครมาโตแกรม LC-MS ทดสอบโดยวิธี HR-ESI-MS ที่ m/z 715.5144 $[M+Na]^+$ (คำนวณสำหรับสูตรโมเลกุล $C_{41}H_{72}NaO_8^+$ 715.5119) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มที่ผ่านการตัดแปรโดยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสและมาลีเอชัน ตามลำดับ



รูปที่ ข.4 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรหลังผ่านปฏิกิริยามาเลชันก่อนทำการล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ ข.5 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์

ภาคผนวก ค

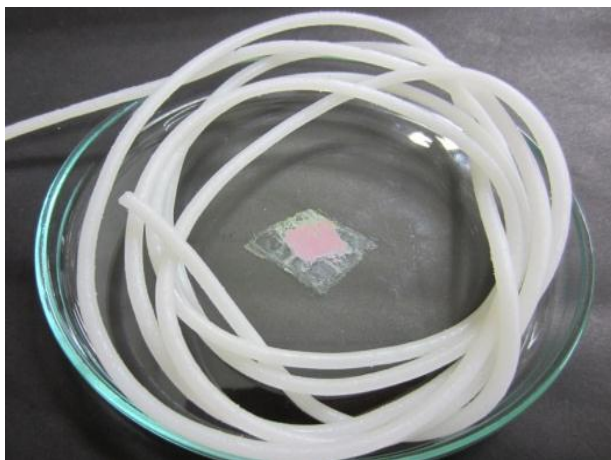
รูปพีวีซีคอมปาวด์ชนิดต่างๆ



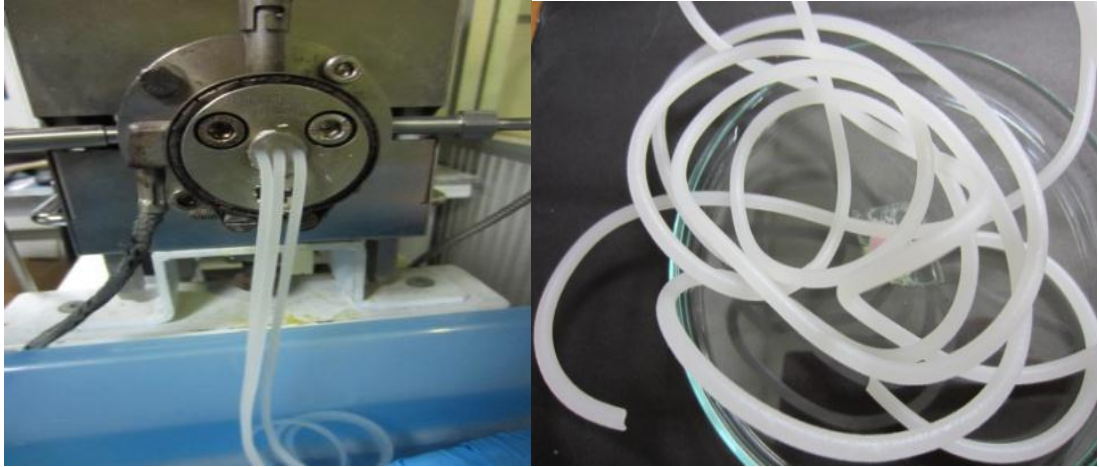
รูปที่ ค.1 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวดายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 30 : 30 pph



รูปที่ ค.2 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวดายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 20 : 40 pph



รูปที่ ค.3 ลักษณะของพีวีซีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวดายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 15 : 45 pph



รูปที่ ค.4 ลักษณะของฟิชีคอมปาวด์ที่ออกจากหัวดายเมื่อใช้ EMPO : ESO ในสัดส่วน 10 : 50 pph

ประวัติผู้วิจัย

| | |
|--------------------------|---|
| ชื่อ - สกุล | นางสาวอชิษฐาน แสนยะเสนีย์ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 25 ธันวาคม 2530 |
| ประวัติการศึกษา | |
| ระดับมัธยมศึกษา | มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีศรีน่าน จังหวัดน่าน พ.ศ. 2548 |
| ระดับปริญญาตรี | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2552 |
| ระดับปริญญาโท | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555 |
| ทุนวิจัย | ทุนวิจัยสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม ประจำปี 2554 สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย(สกว.) ภายใต้โครงการ “การพัฒนาสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซีคอมปาวด์จากน้ำมันปาล์ม” สัญญาเลขที่ RDG5450022 |
| ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ | อชิษฐาน แสนยะเสนีย์, จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, 2555, “การศึกษาผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณไดคลิเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน”, การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6, 8 - 9 กันยายน 2555, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, หน้า 1421 - 1428. |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 21 มิถุนายน 2556

ข้าพเจ้า นางสาวอริษฐาน แสนยะเสนีย์ รหัสประจำตัว 53401017

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา โท ปร.ด
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
อยู่บ้านเลขที่17 หมู่ 1..... ตรอก/ซอย..... ถนน.....

ตำบล/แขวงฝ่ายแก้ว..... อำเภอ/เขตภูเก็ต..... จังหวัดน่าน.....

รหัสไปรษณีย์.....55000..... เป็น"ผู้โอน"ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี ดร.พัฒนะ รักความสุข ตำแหน่ง คณบดีคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
เป็นตัวแทน "ผู้รับโอน" สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลง ดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ความเป็นไปได้ในการคัดแปรน้ำมันปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์
เอสเทอร์ฟิเคชันมาลีเอชันและอีพอกซิเดชัน สำหรับใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี"
ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ รศ.ดร.จตุกร วุฒิกนกกาญจน์, ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่า
วิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อ
สาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้า
จะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน

5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองาน
ทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำ
ได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว
รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตาม
ระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจาก ทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการ บริหารผลประโยชน์อันเกิดทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....ผู้โอนลิขสิทธิ์

(นางสาวอริษฐาน แสนยะเสนีย์)

ลงชื่อ.....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์

(ดร.พัฒนา รักษ์ความสุข)

ลงชื่อ.....พยาน

(รศ. ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์)

ลงชื่อ.....พยาน

(ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ)