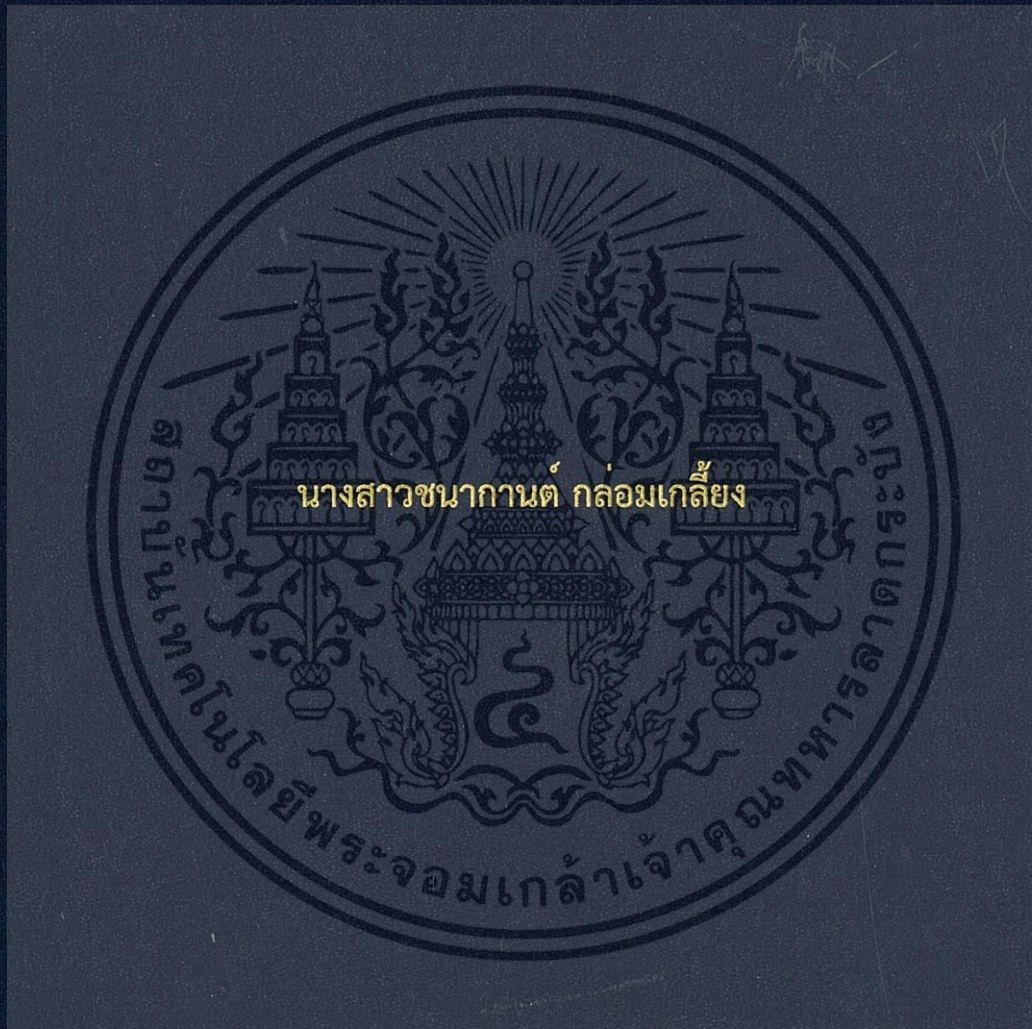


การปรับปรุงสารพืดดีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต
เพื่อใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพในพีวีซี

MODIFICATION OF FATTY ALCOHOL ETHOXYLATE
FOR BIO-BASED PLASTICIZER IN PVC



สหกิจศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การปรับปรุงสารพืดที่แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต
เพื่อใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพในพีวีซี

MODIFICATION OF FATTY ALCOHOL ETHOXYLATE
FOR BIO-BASED PLASTICIZER IN PVC



b. 1288635X
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149447
รับเดือนปี..... 8 ส.ค. 2561

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF FATTY ALCOHOL ETHOXYLATE
FOR BIO-BASED PLASTICIZER IN PVC



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การปรับปรุงสารพลาสติคที่แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เพื่อใช้เป็นพลาสติคไซเซเซอร์
ชีวภาพในพีวีซี
Modification of Fatty Alcohol Ethoxylate for Bio-based
Plasticizer in PVC

ชื่อนักศึกษา นางสาวชนากานต์ กล่อมเกลี้ยง รหัสนักศึกษา 55050613
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติ
ให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบสหกิจศึกษา	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เดินทางไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การปรับปรุงสารพัตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เพื่อใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ชีวภาพในพีวีซี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชนากานต์ กล่อมเกลี้ยง รหัสนักศึกษา 55050613
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

บทคัดย่อ

พีวีซี (PVC) เป็นหนึ่งในพลาสติกที่นิยมใช้อย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ พลาสติกไซเซออร์เป็นสารเติมแต่งที่สำคัญที่สุดสำหรับพลาสติกพีวีซีสูตรนึ่งม อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยเพื่อทำการเปลี่ยนพลาสติกไซเซออร์ชนิดพทาเลต เช่น ไดออกทิลพทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP) เนื่องจากเป็นสารที่มีพิษก่อโรคมะเร็ง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารพัตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เพื่อใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ชีวภาพในพลาสติกพีวีซี โดยนำสารพัตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty Alcohol Ethoxylate) Dehydol[®] LS 1 TH หรือ FAE มาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับกรดโอเลอิก (Oleic acid) จากนั้นนำสารพัตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตชนิดปรับปรุง (Modified FAE, MFAE) ทำการผสมพลาสติกพีวีซีกับสารเติมแต่งต่างๆ โดยเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้งและขึ้นรูปตัวอย่างด้วยเทคนิคอัดขึ้นรูป ทำการศึกษาอัตราส่วนต่างๆ ของ DOP ต่อ MFAE เพื่อดูความเป็นไปได้ที่ทดแทนการใช้ DOP ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพีวีซีเช่น สมบัติเชิงกล และการแพร่ออก (Bleeding) จากการทดลองพบว่าสารสังเคราะห์ได้เป็นสารผสม โดยสารส่วนใหญ่ใน MFAE เป็นสารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีสายโซ่ที่ยาว ในการศึกษาการใช้ MFAE เป็นพลาสติกไซเซออร์ของ PVC พบว่าพลาสติกมีสมบัติเชิงกลดีขึ้นเล็กน้อย เช่น โมดูลัสของยัง (Young's modulus) ความแข็งกด (Hardness) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ส่วนค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของชิ้นงานทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้สมบัติการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์ในชิ้นงานพลาสติกสูตรต่างๆ ไม่เกินค่ามาตรฐานการทดสอบ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณของ MFAE ทำให้ชิ้นงานมีความขุ่นขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าไม่แนะนำที่จะใช้สาร MFAE เป็นพลาสติกไซเซออร์ปฐมภูมิ แต่สามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิและไม่ควรใช้ในงานพีวีซีใส

คำสำคัญ : กรดโอเลอิก, ไดออกทิล พทาเลต, พลาสติกไซเซออร์ชีวภาพ, พลาสติกพีวีซี, พัตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Modification of Fatty Alcohol Ethoxylate for Bio-based Plasticizer in PVC
Student	Miss Chanakan Klomkliang Student ID 55050613
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Associate Professor Dr. Ittipol Jangchud

Abstract

Poly vinyl chloride (PVC) is one of the most popular plastics widely used daily in human life. Plasticizer is the most important additive needed for soft PVC. However, recent research works have been focused on replacement of commercial phthalate plasticizers like Dioctyl Phthalate (DOP) since they are toxic as known to cause cancer. This work was focused on modification of Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE) for bio-based plasticizers. FAE was modified via esterification reaction with oleic acid derived from palm oil in order to get modified FAE (MFAE). After that, MFAE and other additives were compounded with PVC using a two-roll mill and shaped into samples by compression molding technique. To study the DOP replacement, ratios of DOP/MFAE were studied. Factors affecting PVC properties were studied including mechanical properties and bleeding. It was found that the products of modification were mixed substances with large chemical structures and long-chain hydrocarbons. As MFAE was used as PVC plasticizer, it was found that mechanical properties such as Young's modulus, hardness, %elongation at break were improved as MFAE loading was increased. Moreover, tensile strength of PVC sheets were similar. However, opacity of PVC samples was increased as MFAE loading was increased. In bleeding testing, MFAE passed limit of the standard in every ratios. It can be concluded that the use of MFAE was not recommended as a primary plasticizer, however it can be used as secondary plasticizer with opacity concerns.

Keywords : Bio-based plasticizer, Dioctyl phthalate (DOP), Fatty alcohol ethoxylate (FAE), Oleic acid, PVC

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาข้อแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัย และให้กำลังใจในการทำสหกิจศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธารุช มนต์วิเศษ ประธานกรรมการตรวจสอบสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ คณะกรรมการตรวจสอบสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โดยเฉพาะคุณอนุสรณ์ นวลศรี และคุณศิริวรรณ ชลไชยะ บริษัท ไทย อี-ทอกซีเลท จำกัด ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำและให้ข้อมูลที่สำคัญ รวมถึงทุนสนับสนุนในการทำสหกิจศึกษานี้

ขอขอบคุณบุคคลากรต่างๆ ภายในคณะวิทยาศาสตร์ อาทิ นักวิทยาศาสตร์ นักเคมี เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี รวมถึงเจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณขอขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัว และเพื่อนๆ ที่คอยไต่ถามและให้กำลังใจตลอดมา จนสหกิจศึกษานี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชนากานต์

กล่อมเกลี้ยง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 น้ำมันพืช	5
2.1.1 กรดโอเลอิก	7
2.2 น้ำมันปาล์ม	8
2.2.1 น้ำมันปาล์มดัดแปรอีพอกซีไดซ์	9
2.2.2 น้ำมันปาล์มดัดแปรพอลิโออล	10
2.3 สารลดแรงตึงผิว	10
2.3.1 แฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต	14
2.4 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	16
2.5 พลาสติกไซเซอร์	17
2.5.1 พลาสติกไซเซอร์กลุ่มพทาเลต	17
2.5.2 พลาสติกไซเซอร์ปลอดสารพทาเลต	18
2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี	19
2.6.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลคลอไรด์	20
2.6.2 ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์	20
2.7 การตรวจสอบเอกลักษณ์	21
2.7.1 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี	21
2.7.2 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	22
2.7.3 เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	23
2.8 การคอมพาวด์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.8.1 การผสมแบบทั่วไป	24
2.8.2 การคอมปาวด์แบบหลอมเหลว	25
2.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล	27
2.9.1 การทดสอบแรงดึง	27
2.9.2 การทดสอบความแข็งกด	29
2.9.3 การทดสอบการแพร่ออก	30
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS.....	80
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิด	6
2.2 ปริมาณของกรดไขมันจำเพาะในน้ำมันพืชแต่ละชนิด	6
2.3 เปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	14
2.4 แสดงสมบัติเฉพาะของสาร Dehydol® LS 1 TH	15
3.1 สูตรของการขึ้นรูปพลาสติกพีวีซี	39
4.1 ค่าความเป็นกรดและค่าไอโอดีนของกรดโอเลอิกและสาร MFAE	49
4.2 การแพร่ออกของชิ้นงานพลาสติก ณ อัตราส่วนการขึ้นรูปต่างๆ	72
4.3 ราคาสารเคมี	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของน้ำมันพืช	6
2.2 โครงสร้างของกรดโอเลอิก	7
2.3 ส่วนประกอบของผลปาล์ม	9
2.4 ระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน	9
2.5 การเตรียมน้ำมันปาล์มตัดแปรพอลิออล	10
2.6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	11
2.7 ลักษณะการเกิดไมเซลล์	11
2.8 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	12
2.9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก	12
2.10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ	13
2.11 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ	13
2.12 โครงสร้างของสารแปดดีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH	15
2.13 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	16
2.14 หมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล	16
2.15 ไตทุเอทิลเฮซิลพทาเลตหรือไดออกทิลพทาเลต	18
2.16 ไตรออกทิล ไตรเมลลิเตต	19
2.17 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์	20
2.18 ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์	21
2.19 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์	22
2.20 เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์	23
2.21 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์	24
2.22 เครื่องผสมแบบความเร็วสูง	25
2.23 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง	26
2.24 เครื่องผสมแบบภายใน	26
2.25 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงตึงมาตรฐาน ASTM D-412	27
2.26 ตัวอย่างกราฟความเค้น-ความเครียด	28
2.27 เครื่องดูโรมิเตอร์	29
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	38
3.2 การขึ้นรูปแผ่นพลาสติกพีวีซีด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	39
3.3 เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์	41
3.4 ตัวอย่างกราฟความเค้น-ความเครียด	42
3.5 เครื่องวัดความแข็งกด	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.1 สารตั้งต้นของ MFAE	46
4.2 สารที่สังเคราะห์ได้หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	46
4.3 สูตรโครงสร้างของสาร MFAE ที่ได้คาดการณ์ไว้	47
4.4 สารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายหรือ MFAE และสมบัติการไม่ละลายน้ำของ MFAE	48
4.5 สเปกตรัม FT-IR ของสารผสมระหว่างสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด	52
4.6 สเปกตรัม FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ หรือ MFAE	53
4.7 ผลการวิเคราะห์ MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS	57
4.8 Mass Spectrum ของสาร ก. และ Hexadecyl ester	58
4.9 สูตรโครงสร้างของสาร ก. และ Hexadecyl ester	59
4.10 Mass Spectrum ของสาร ข. และ Tetradecyl ester	60
4.11 Mass Spectrum ของสาร ค. และ 3-Hydroxypropyl	61
4.12 สูตรโครงสร้างของสาร ค. และ 3-Hydroxypropyl	62
4.13 ผลการวิเคราะห์ MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR	66
4.14 สีของชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป	68
4.15 ค่าความแข็งแรงดึงเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE	69
4.16 ค่ามอดุลัสของแข็งเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE	70
4.17 ค่าร้อยละการดัดยัด ณ จุดขาด เทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE	70
4.18 ค่าความแข็งกด ชนิด Shore D เทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
พีวีซี	พอลีไวนิลคลอไรด์
PVC	Poly(vinyl chloride)
DOP	Diethyl phthalate
FAE	Fatty Alcohol Ethoxylates Dehydol [®] LS 1 TH
MFAE	Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol [®] LS 1 TH
PTS	<i>p</i> -Toluenesulfonic acid monohydrate
ESBO	Epoxidized soybean oil
GC-MS	Gas Chromatography-Mass Spectroscopy
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
DMA	Dynamic Mechanical Analysis
Ca-Zn stabilizer	Calcium – Zinc stabilizer
ASTM	American Society for Testing and Materials



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันพีวีซี (PVC) หรือพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride)) ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ประเภทพลาสติกที่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสารชนิดนี้มีสมบัติความยืดหยุ่นสูง ผลิตภัณฑ์ที่นิยมผลิตจากพีวีซี ได้แก่ ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร, พลาสติกคลุมอาหาร, ขวดน้ำดื่ม, ถังบรรจุโลหิต, ถังมือยาง, ห่วงยาง, หน้ากากออกซิเจน, แผงบรรจุยา, ท่อน้ำ, หนังสือพิมพ์, ฉนวนหุ้มสายไฟ-สายโทรศัพท์ ฯลฯ รวมไปถึงของเล่นเด็ก และจากประโยชน์ของการประยุกต์ใช้พีวีซีในหลายๆ รูปแบบ ส่งผลให้อุตสาหกรรมพลาสติกพีวีซีมีส่วนในตลาดพลาสติกโลกมากกว่าร้อยละ 65 [1] และจากการสำรวจของ Market Research Organization Ceresana พบว่าอุตสาหกรรมพลาสติกพีวีซีในปัจจุบันจนถึงปีคริสต์ศักราช 2021 มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนเพิ่มขึ้นในตลาดโลกร้อยละ 3.2 ในทุกๆ ปี [2]

พีวีซี เป็นพลาสติกที่มีพิษทั้งต่อสุขภาพของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ปัญหาของการเกิดพิษในผู้บริโภคที่ใช้พลาสติกพีวีซี มักเป็นปัญหาจากพิษที่เกิดจากสารเติมแต่ง (Additives) ที่เติมลงในเนื้อพลาสติกพีวีซีเพื่อให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติตามที่ต้องการ เช่น สารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ที่ใส่ลงในพีวีซี เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ที่มีชื่อว่า Di-2-ethylhexyl adipate (DEHA) และ สารพลาสติกไซเซอร์ประเภท Phthalate (phthalate plasticizer) ได้แก่ Dibutyl phthalate (DBP) และ Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Dioctyl phthalate (DOP) สารเหล่านี้จับกับตัวพลาสติกอย่างไม่แน่นมากนัก ทำให้สามารถถูกปลดปล่อยออกจากพลาสติกได้ง่าย และเนื่องจากสารเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางทั้งทางผิวหนัง การรับประทาน การหายใจ หรือแม้แต่การเข้าสู่ระบบไหลเวียนของร่างกายโดยตรงจากการใช้สายน้ำเกลือหรือถุงน้ำเกลือที่ไม่ได้คุณภาพ จึงส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมาก [3]

สารพลาสติกไซเซอร์ประเภทพทาเลต (Phthalate) [1] เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปลายของน้ำมันปิโตรเลียม มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ และเป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์มากที่สุด เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะไปมีผลต่อระบบฮอร์โมน โดยเฉพาะฮอร์โมนเพศ โดยมีผลรบกวนการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์เพศชายในเด็ก โดยเฉพาะ Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) หรือ Dioctyl phthalate (DOP) ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบในพลาสติกพีวีซีสูงถึงร้อยละ 50 – 80 ของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ทั้งหมด โดยจากการทดลองในสัตว์พบว่า การได้รับสารพลาสติกไซเซอร์ ชนิด DEHP ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดการฝ่อของอัณฑะ นอกจากผลดังกล่าวสารชนิดนี้ยังทำให้เกิดพิษต่อตับ และเป็นสารก่อมะเร็ง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแง่ของสิ่งแวดล้อม การเผาทำลายพลาสติก PVC จะทำให้เกิดแก๊ส Carbon dioxide (CO₂ gas), Carbon monoxide (CO gas) และ Hydrogen chloride (HCl gas) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยแก๊สเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับความชื้นในอากาศจะได้สารละลายกรดที่มีสมบัติในการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรวมตัวของแก๊ส Hydrogen chloride กับความชื้นในอากาศได้เป็นกรด Hydrochloric (HCl in water) ซึ่งเป็นกรดแก่ที่มีความกัดกร่อนสูงมาก

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ทั่วโลกและองค์กรอนามัยโลกเริ่มมีการต่อต้านการใช้สารพลาสติกไซเซอร์ประเภท Phthalate ในวัสดุพีวีซี ส่งผลให้ผู้ผลิตพลาสติกพีวีซีทั่วโลกเริ่มคิดค้นสารพลาสติกไซเซอร์ที่ปราศจาก Phthalate (Non-phthalate plasticizer) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อผู้บริโภค รวมไปถึงมีสมบัติใกล้เคียงกับสารพลาสติกไซเซอร์ประเภท Phthalate และเข้ากับเนื้อพลาสติกพีวีซีได้ดี ซึ่งทางเลือกใหม่ที่ได้รับการนิยมนมากที่สุดในการผลิตสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์ที่ปราศจาก Phthalate คือ การผลิตสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์จากวัสดุทางธรรมชาติหรือชีวมวล (Bio-based additive plasticizer)

น้ำมันพืช (Vegetable oils) เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่สกัดได้จากพืช มีความหนืดสูง มีโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีองค์ประกอบต่างกัน และมีปริมาณไขมันในโครงสร้างสูงถึงร้อยละ 94 - 96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน [4] ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีการปลูกพืชเศรษฐกิจที่ทำให้น้ำมันหลากหลายชนิด เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ทานตะวัน มะพร้าว ข้าวโพด ข้าว เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ฯลฯ ซึ่งพืชดังกล่าวสามารถปลูกได้ทุกฤดูการ หารง่าย ราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมพลาสติกพีวีซี

บริษัท ARKEMA จำกัด ประเทศฝรั่งเศส (ARKEMA Co.,Ltd., France) [5] ได้ผลิตสารพลาสติกไซเซอร์จากน้ำมันพืชและสารชีวมวล โดยผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (esterification process) และได้สารผลิตภัณฑ์ประเภทเอสเทอร์ ที่มีชื่อว่า L-Ketals ซึ่งได้นำสารดังกล่าวมาใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์แบบทุติยภูมิในพลาสติกพีวีซี โดยข้อดีของสารพลาสติกไซเซอร์จากวัสดุทางธรรมชาติหรือชีวมวล คือ ปลอดภัยและไม่เป็นพิษต่อสุขภาพ, สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้, ทนทานต่ออุณหภูมิและแสงแดด, นำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากงานวิจัยเรื่อง Feasibility Study of Fatty Alcohol Ethoxylates (FAEs) as Bio-additives in Polymer Industry [6] ของบริษัท Thai Ethoxylate Company Limited พบว่า สารแพตตีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylates Dehydol® LS 1 TH) ของบริษัท ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม เหมาะสำหรับการเป็นพลาสติกไซเซอร์แบบทุติยภูมิมากกว่า FAEs เกรดอื่นๆ ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิได้ทั้ง Phthalate plasticizer (DOP) และ Non-phthalate plasticizer (TOTM) ที่อัตราส่วน 20:5 โดยให้สมบัติเชิงกล สีของชิ้นงาน สมบัติทางความร้อน และการแพร่ออกของพลาสติกใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารแพตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตเกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylates Dehydol® LS 1 TH, FAE) โดยผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification process) เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในพลาสติกพีวีซี (Poly(vinyl chloride), PVC) โดยศึกษาในแนวเปรียบเทียบระหว่างพลาสติกไซเซอร์จากน้ำมันปิโตรเลียมกับ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการปรับปรุงสารแพตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตเกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือ FAE และความเป็นไปได้ในการใช้ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือ MFAE เป็นสารเติมแต่งชีวภาพประเภทพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในการผลิตพลาสติกพีวีซี (Poly(vinyl-chloride), PVC) สำหรับอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่ศึกษาได้แก่ โครงสร้างและปริมาณการใส่ของ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของพลาสติกพีวีซี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาการปรับปรุงสารแพตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตเกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, FAE) ด้วยกรดโอเลอิก โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ สภาวะอุณหภูมิ 100 °C เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์

1.1) การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction)

1.2) สมบัติและโครงสร้างของ FAE เทียบกับกรดโอเลอิก

2) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกพีวีซี ได้แก่

2.1) โครงสร้างของ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

2.2) ปริมาณการใส่ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

3) ศึกษาสมบัติเปรียบเทียบต่างๆ ของพลาสติกพีวีซี ได้แก่ ศึกษาสมบัติกายภาพและเชิงกล เช่น ความแข็งกด (Hardness), ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), การแพร่ออก (Bleeding), โมดูลัสของยัง (Young's modulus) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถใช้ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว เป็นสารเติมแต่งชีวภาพ (Bio-based additive) ในอุตสาหกรรมพลาสติกได้ อีกทั้งเพิ่มมูลค่าและตลาดของ FAE
- 2) ทราบโครงสร้าง สมบัติต่างๆ และความสัมพันธ์ของ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว ที่มีผลต่อพอลิเมอร์
- 3) ลดความเสี่ยงจากการได้รับสารก่อมะเร็งระหว่างการปฏิบัติงานของผู้ใช้แรงงานในอุตสาหกรรมพลาสติก และลดความเสี่ยงจากการได้รับสารก่อมะเร็งของผู้บริโภควัสดุพอลิเมอร์ประเภทพลาสติก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันพืช น้ำมันปาล์มและกรดไขมัน, สารลดแรงตึงผิว, ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน, พลาสติกไซเซอร์และพลาสติกพีวีซี, เทคนิคที่ใช้ในวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติกพีวีซี รวมทั้งการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 น้ำมันพืช (Vegetable oils)

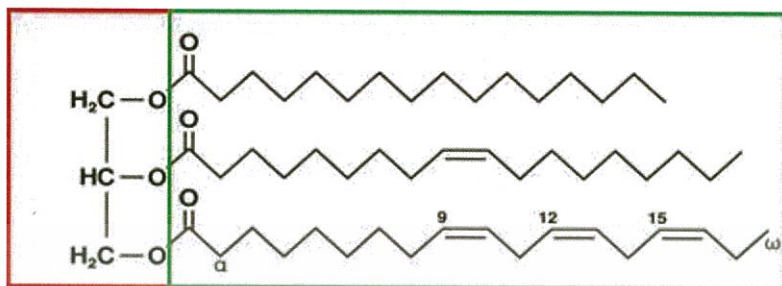
คนเราใช้ประโยชน์จากน้ำมันพืช (Vegetable oils) มาเป็นเวลาหลายพันปีแล้ว น้ำมันพืชส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดหรือผลของพืช เช่น น้ำมันมะพร้าวได้จากเอนโดสเปิร์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดฝ้ายมาจากใบเลี้ยง น้ำมันข้าวโพดมาจากใบเลี้ยงธัญพืช ส่วนน้ำมันมะกอกและน้ำมันปาล์มมีน้ำมันอยู่ในผนังผลชั้นกลาง น้ำมันพืชที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์ม (ร้อยละ 65) น้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ 12) และน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละ 10) นอกนั้นเป็นน้ำมันละหุ่ง น้ำมันรำข้าว น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง และอื่นๆ การสกัดน้ำมันจากพืชนิยมใช้การทุบ สับ หรือบดเมล็ดหรือเนื้อผลให้เซลล์แตก แล้วบีบอัดเอาน้ำมันออกมา กากที่เหลือสามารถนำไปสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายจากนั้นเมื่อระเหยเอาตัวทำละลายออกไปแล้ว จะเป็นขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมต่าง ให้ความร้อน อบไอน้ำ สกัดสีออกด้วยถ่าน ฯลฯ

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประกอบด้วยกลีเซอรอล (Glycerol) 1 โมเลกุล และกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุล โดยที่กรดไขมันมีปริมาณร้อยละ 94 - 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.1 น้ำมันพืชไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้อง ไม่ละลายน้ำ ให้พลังงานสูง ให้วิตามินอี และส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในปริมาณมาก แต่ไม่มีคอเลสเตอรอลเพราะพืชไม่สามารถสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้ [7]

ข้อดีของน้ำมันพืชคือ สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันในการช่วยกระบวนการผลิต เนื่องจากน้ำมันมีโครงสร้างสองส่วนที่ช่วยทำให้อันตรกิริยาระหว่างพลาสติกและสารตัวเติมเกิดได้ดี โดยทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยผสม (Compatibilizer) ทำให้การกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกดีขึ้น ส่วนแรก โครงสร้างหลักที่เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีขั้ว สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารตัวเติมที่มีขั้วได้ดี ส่วนที่สอง สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันที่ไม่มีขั้ว สามารถเกิดอันตรกิริยาหรือเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติพลาสติกที่ไม่มีขั้วได้ดี และความยาวของสายโซ่ของน้ำมัน จะผลักให้สารตัวเติมแตกตัวออกจากกัน อีกทั้งผลักให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกอยู่ห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน ปริมาตรอิสระจึงเพิ่มขึ้น เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับพลาสติก และพันธะคู่ยังสามารถเกิดอันตรกิริยาหรือพันธะเชื่อมโยงกับโมเลกุลของพลาสติก จึงช่วยปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้ดีขึ้น [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของน้ำมันพืช [8]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิด [9]

น้ำมันพืช	ร้อยละปริมาณกรดไขมัน		
	กรดไขมันอิ่มตัว	กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน
น้ำมันปาล์ม	49.3	37.0	9.3
น้ำมันถั่วเหลือง	15.7	22.8	57.7
น้ำมันทานตะวัน	10.1	45.4	40.1
น้ำมันมะพร้าว	91.0	6.0	3.0
น้ำมันมะกอก	14.0	72.0	14.0

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของกรดไขมันจำเพาะในน้ำมันพืชแต่ละชนิด [6]

ชนิดของกรดไขมัน	จำนวน C : จำนวนพันธะคู่	ร้อยละปริมาณกรดไขมัน			
		น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันทานตะวัน	น้ำมันมะกอก
กรดไมริสติก	14 : 0	1.1	0.1	0.2	-
กรดปาล์มมิติก	16 : 0	45.1	11.0	6.8	7.5
กรดสเตียริก	18 : 0	4.7	4.0	4.7	5.0
กรดโอเลอิก	18 : 1	38.8	23.4	18.6	55.0
กรดลิโนเลอิก	18 : 2	9.4	53.2	68.2	21.0

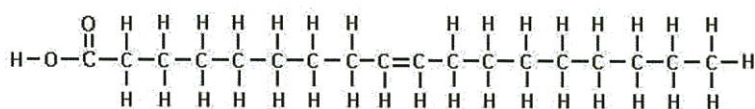
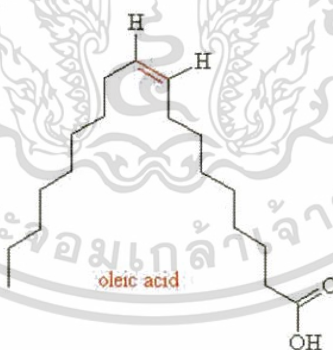
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 กรดไขมัน – กรดโอเลอิก (Oleic acid)

กรดโอเลอิก (Oleic acid) มีชื่อทางเคมีว่า *Octadecenoic acid* เป็นกรดที่สามารถสกัดได้จากทั้งพืชและสัตว์ แต่ส่วนมากพบในพืช กรดโอเลอิกมีสูตรโครงสร้าง คือ $C_{18}H_{34}O_2$ กรดโอเลอิกเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) ประเภทกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ (Double bond) 1 อัน ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 โดยทั่วไปนิยมนำกรดโอเลอิกไปทำสบู่เพื่อทำความสะอาดผิวกาย

สมบัติทั่วไป

- ลักษณะ : เป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน มีสีเหลืองชาหรือเหลืองอ่อน
- น้ำหนักโมเลกุล : 282.47 g/mol
- ความหนาแน่น : 0.895 g/mL
- จุดหลอมเหลว : 13 - 14 °C
- จุดเดือด : 360 °C
- ความสามารถในการละลาย : ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในเอทานอลหรือตัวทำละลายอินทรีย์



Oleic Acid- Monounsaturated Fatty Acid

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดโอเลอิก (oleic acid) [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

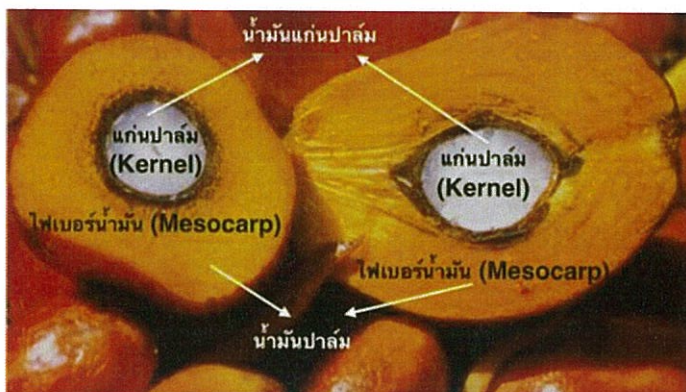
2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืช (Vegetable oil) ซึ่งสกัดได้จากผลของต้นปาล์มน้ำมัน ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอีส กินีเอ็นซิส (*Elaeis guineensis*) น้ำมันที่ได้มีสีเหลืองส้มของแคโรทีน (Carotene) ผลปาล์มน้ำมันให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตัน/ไร่/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ในน้ำมันปาล์มประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายๆ ชนิด ซึ่งกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (ร้อยละ 45.1) และกรดโอเลอิก (ร้อยละ 38.8) น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้หลากหลายและใช้ในการประกอบอาหารเนื่องจากมีสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง และมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลอดจากสารตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) น้ำมันปาล์มสามารถผลิตได้เองในประเทศไทย และการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศไทยอีกด้วย [6] น้ำมันปาล์ม (Palm oil) ได้จากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ

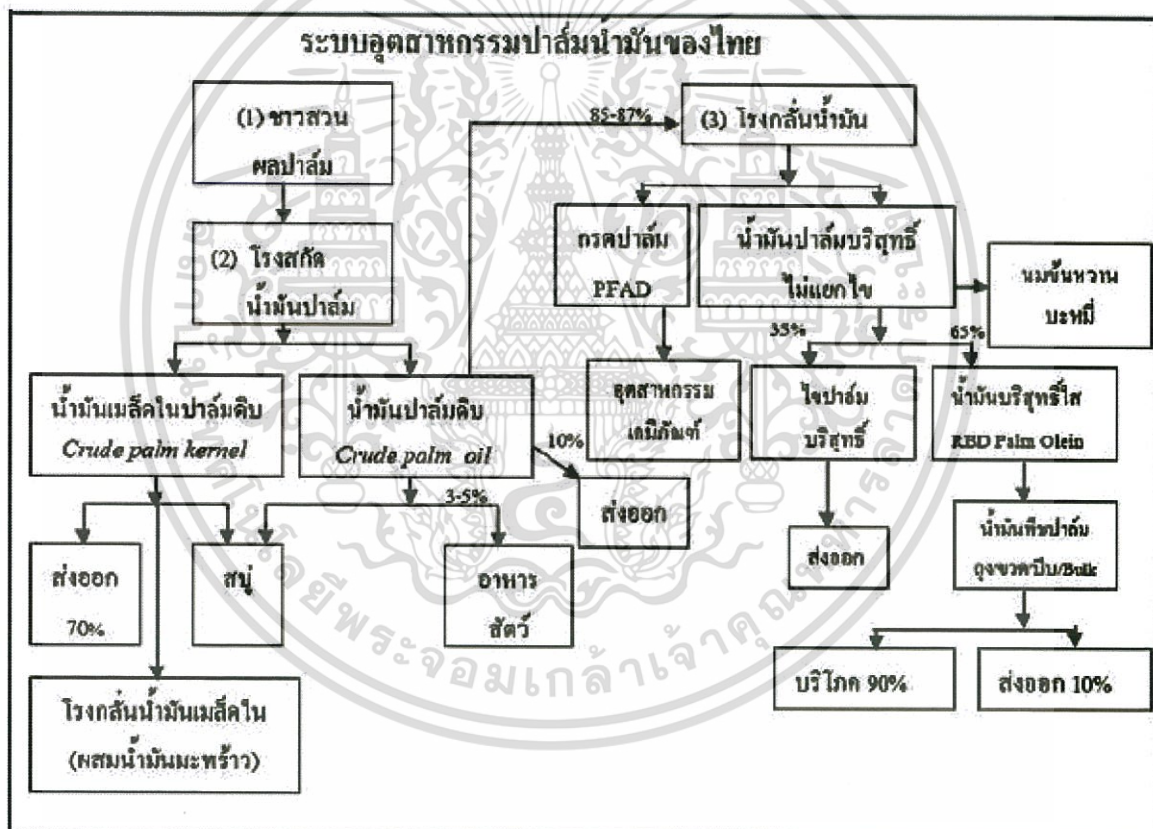
1. จากเปลือกหุ้มภายนอกหรือไฟเบอร์น้ำมัน (Mesocarp) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเนื้อเมล็ดปาล์ม (Palm oil)
2. จากเนื้อในของเมล็ด (Palm kernel) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์มหรือน้ำมันแก่นปาล์ม (Palm kernel oil) ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 44-48

สำหรับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) ที่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่ประมาณร้อยละ 45 และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวผสมอยู่ด้วย ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)

ผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยในช่วงปี 2552-2556 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ร้อยละ 12.31 ต่อปี โดยปี 2556 มีผลผลิต 12.42 ล้านตัน ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มของไทย ปี 2552-2556 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งเพื่อการบริโภคและการผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 6.35 และร้อยละ 18.61 ต่อปี ตามลำดับ โดยปี 2556 มีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค 0.99 ล้านตัน และมีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล 0.68 ล้านตัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยทั้งหมดใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มทั้งหมด โดยน้ำมันปาล์มดิบใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ ร้อยละ 85 ส่วนที่เหลือส่งออกร้อยละ 15 [10]



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของผลปาล์ม [10]



รูปที่ 2.4 ระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน [11]

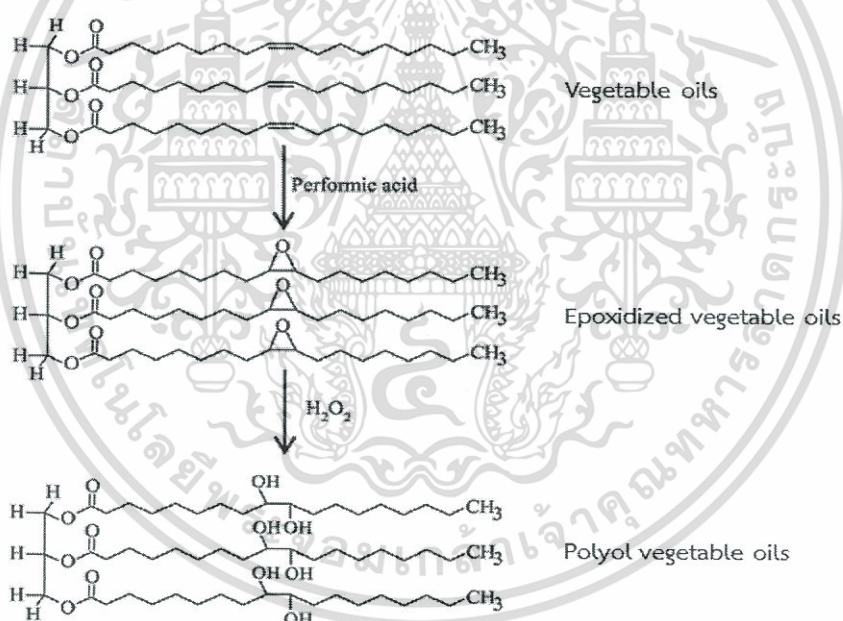
2.2.1 น้ำมันปาล์มดัดแปรอีพอกไซด์ (Epoxidized palm oil, EPO) และน้ำมันถั่วเหลืองดัดแปรอีพอกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESBO)

สังเคราะห์โดยนำน้ำมันพืช มาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และกรดอะซิติก (Acetic acid) ความร้อนประมาณ 55 °C โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แม้ว่ากรรมวิธีทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Catalyst) ปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นระยะเวลา 5 - 8 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการหล่อเย็น ล้างน้ำมันพืชตัดแปรออกซิไดซ์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH = 7 แยกน้ำกลั่นออกจากน้ำมันพืชตัดแปรออกซิไดซ์แล้วดูความข้นด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส น้ำมันถั่วเหลืองตัดแปรออกซิไดซ์ เป็นสารที่นำมาใช้เป็น พลาสติกเซออร์ของพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี เพื่อทำปะเก็นสำหรับผืนกีฬาโลหะของขวดแก้วที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

2.2.2 น้ำมันปาล์มตัดแปรพอลิโออล (Polyol palm oil, PPO)

สังเคราะห์โดยนำน้ำมันปาล์มตัดแปรออกซิไดซ์มาทำปฏิกิริยาการเปิดวงออกซิเรนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) น้ำมันปาล์มตัดแปรพอลิโออล มีประโยชน์ใช้เป็นวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติในการเตรียมเป็นสารไดออลและพอลิโออล แทนการใช้สารไดออลและพอลิโออลที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในการผลิตพอลิยูรีเทนชีวภาพที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

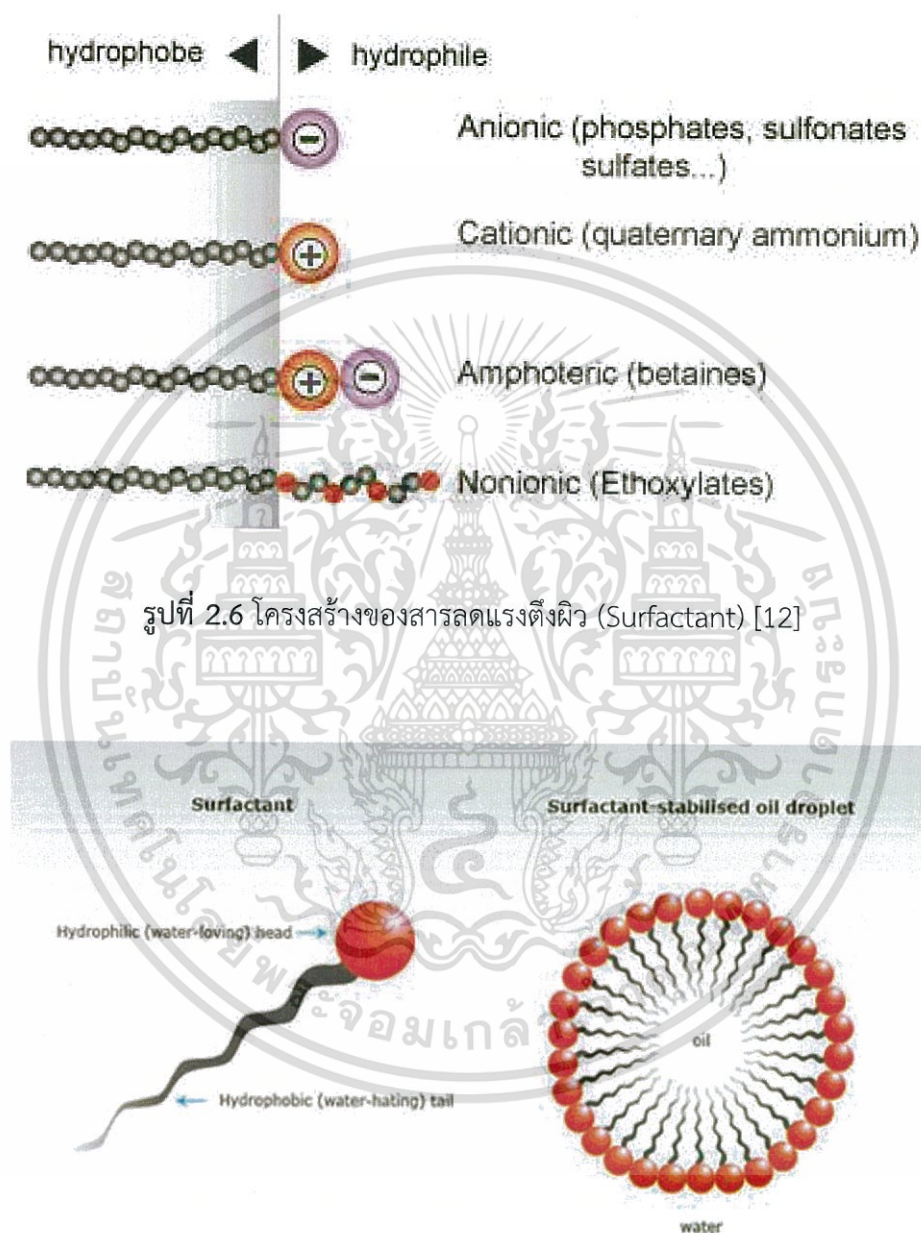


รูปที่ 2.5 การเตรียมน้ำมันปาล์มตัดแปรพอลิโออล โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Epoxydation) ตามด้วยปฏิกิริยาการเปิดวงออกซิเรนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [6]

2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [6]

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารประกอบที่ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง ช่วยให้การกระจายตัวของของเหลวดีขึ้น และช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิดหรือระหว่างเอกสาร์นี้เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวกับของแข็ง สารลดแรงตึงผิวสามารถใช้เป็น น้ำยาซักล้าง อิมัลชัน โฟมมิ่งเอเจนต์ หรือสารช่วยกระจาย (Dispersing agent) สารชนิดนี้จะมีทั้งส่วนที่มีและไม่มีขั้ว เมื่ออยู่ในน้ำจึงมักจัดตัวเป็นไมเซลล์ (Micelle)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [12]

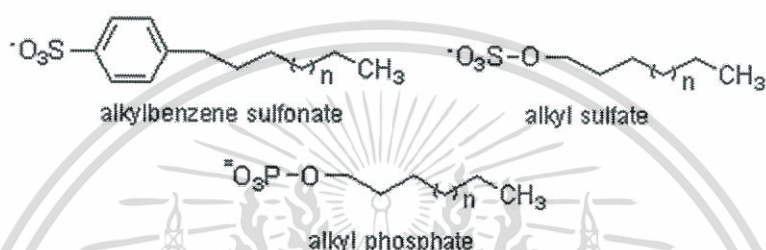
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิดไมเซลล์ (micelle) [13]

สารลดแรงตึงผิว แบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้ 4 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant)

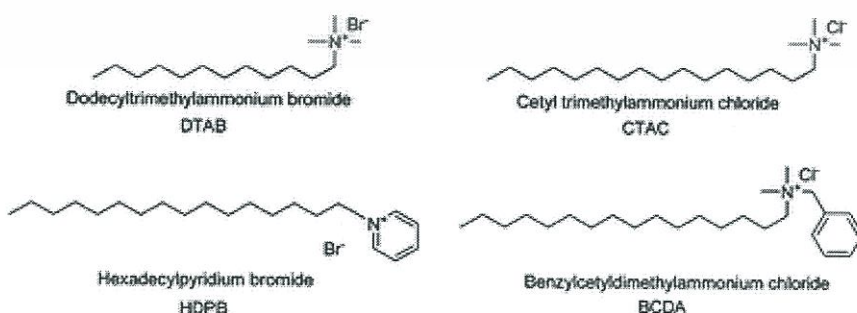
เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป Carboxylate, Sulfate, Sulfonate หรือ Phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก, ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด, น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้จัดคราบสกปรกได้ดี ตัวอย่างเช่น สารกลุ่มอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Alkylbenzene sulfonate), อัลคิลซัลเฟต (Alkyl sulfate) และอัลคิลฟอสเฟต (Alkyl phosphate) ในรูปเกลือโซเดียม เป็นต้น



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic Surfactant) [6]

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก Ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท cationic จะทำให้ระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic นิยมใช้ในพวบน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม ตัวอย่างเช่น เบนซิลโคเนียมคลอไรด์ (Benzalkonium chloride) เป็นต้น

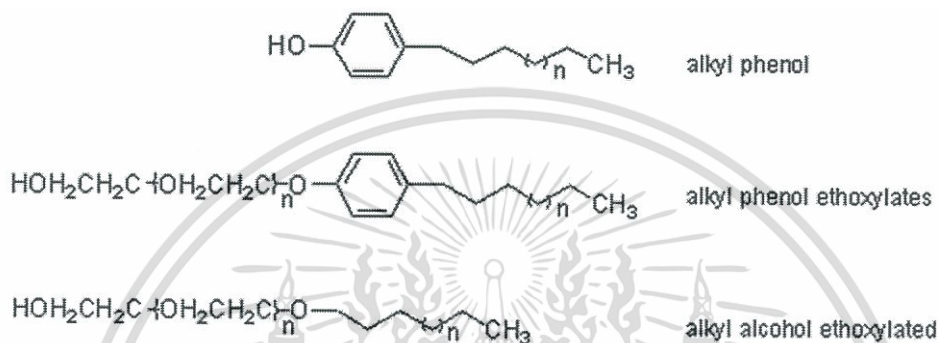


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant)

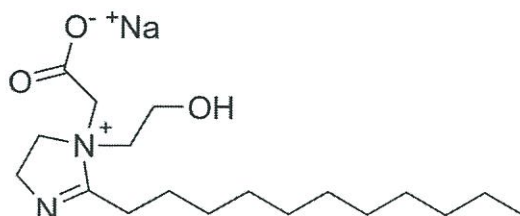
สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแตกต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic และ Cationic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก Polyether หรือ Polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มอัลคิลฟีนอล (Alkyl phenol), อัลคิลฟีนอลเอทอกซีเลต (Alkyl phenol ethoxylates) และอัลคิลแอลกอฮอล์เอทอกซีเลต (Alkyl alcohol ethoxylates) เป็นต้น



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant) [6]

4. สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ (Amphoteric surfactant หรือ Zwitterionics)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำสามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่าง (pH >7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำจะให้ประจุลบ ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรด (pH <7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำจะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำ สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น ตัวอย่างเช่น สารประกอบในกลุ่มของอัลคิลบีเทน (Alkyl betaine) เป็นต้น



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ (Amphoteric Surfactant) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ [6]

ประเภทสมบัติ	Anionic Surfactant	Cationic Surfactant	Nonionic Surfactant	Amphoteric surfactant
ให้ประจุ	ลบ	บวก	ไม่มีประจุ	ทั้งประจุบวกและลบ
กลุ่มสารเคมี	carboxylate, Alkylbenzene sulfate, Linear Alkylbenzene sulfonate,(LAS)	Quaternary Ammonium Compound (QACs)	Polyether, Polyhydroxyl	Betaine เช่น Mirataine BET C30, Dehyton K และ Amphoacetate เช่น Miranol LC 32
อุตสาหกรรมที่ใช้	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไป โดยใช้มากถึง 49 % ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อ	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เกิดฟองน้อย	ผลิตภัณฑ์ชำระล้างของเด็ก, สบู่, แชมพู, ครีมอาบน้ำ
pH ที่เหมาะสม		หาก pH เป็นเบส (pH10-11) ส่งผลให้ ammonium salt สูญเสียประจุบวก เกิดการตกตะกอน ทำให้ประสิทธิภาพลดลง		การแสดงคุณสมบัติขึ้นอยู่กับสภาพ pH ของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นเบส (pH>7) จะให้ประจุลบ, ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่าง (pH<7) จะให้ประจุบวก, ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกลาง (pH = 7) จะไม่ให้ประจุ
ประสิทธิภาพเมื่ออยู่ในน้ำกระด้าง ¹	ไม่ละลาย	ละลายน้อยกว่า nonionic	ละลายดีที่สุด	n.a.
การเกิดฟอง	ดีที่สุด	น้อยที่สุด	ดี	ค่อนข้างดี
ความระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง	มาก	มากที่สุด	น้อย	น้อยที่สุด

¹ ค่าความกระด้างของน้ำ: ค่าความกระด้างของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) น้ำกระด้างมีค่าตั้งแต่ ระดับ 150 ขึ้นไป

2.3.1 สารลดแรงตึงผิว – แพลตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty Alcohol Ethoxylate) เกรด Dehydol® LS 1 TH

สารแพลตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty Alcohol Ethoxylate) เกรด Dehydol® LS 1 TH หรือ FAE เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยมีสารตั้งต้นเป็นเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) และแพลตตี้แอลกอฮอล์ (Fatty alcohol) โดยที่แพลตตี้แอลกอฮอล์นั้นผลิตมาจากน้ำมันแก่นปาล์มหรือน้ำมันเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถผลิตทดแทนได้ ทำให้สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fatty Alcohol Ethoxylate เกรด Dehydol® LS 1 TH มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีคุณลักษณะ ดังต่อไปนี้

- ลักษณะทั่วไป (General characterization)

- Alcohol C12-14 ethoxylate โดยประมาณ และ 1 moles EO
- Polyoxyethylene (1) Lauryl ether

- สมบัติของผลิตภัณฑ์ (Product properties)

- ลักษณะ : ของเหลวใส ไม่มีสี
- ประเภท : สารลดแรงตึงผิวประจุลบ
- การใช้งาน : ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickener) ในการเตรียมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) สำหรับเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิว-กาย เช่น แชมพู, ครีมอาบน้ำและโฟมสำหรับอาบน้ำ

- Characteristic values

- pH (1% Aq.) : 6.0 - 7.5
- Hydroxyl value (mgKOH/g) : 234 - 240
- Glycol (%) : ≤ 1.0
- Water content (%) : ≤ 0.1
- Free alcohol (%) : ≥ 40



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH

ตารางที่ 2.4 สมบัติเฉพาะของสาร Dehydol® LS 1 TH [23]

Product name	Chemical description / INCI name	Density (g/cm ³) @70°C	Apperance	HLB	Emulsifier	Active Matter (%)
Dehydol® LS 1 TH	Fatty alcohol C13-14 approx. 1 mole EO / Laureth-1	0.837	Liquid	3.6	Water in oil	>99.7%

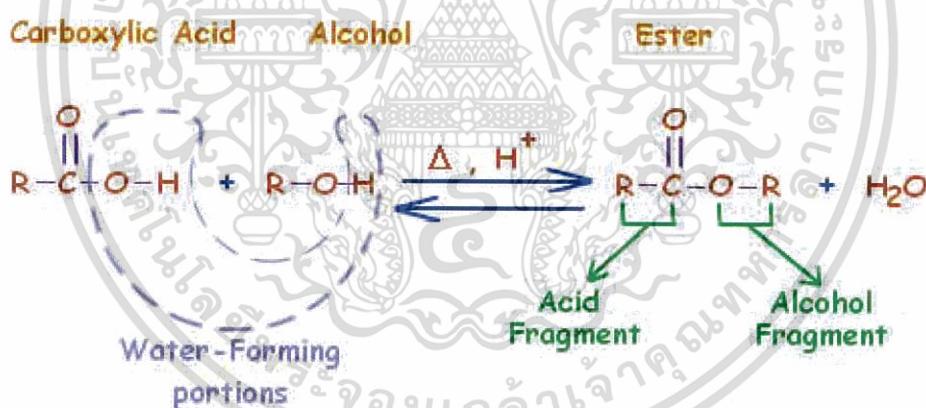
หมายเหตุ *25% BDG/water, **1% aq. solution, ***1% in 5% NaCl

HLB : Hydrophilic-lipophilic balance
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

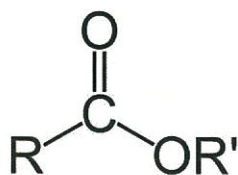
2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction)

ในปัจจุบันมีการนำสารประกอบประเภทเอสเทอร์ไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อาทิ นิยมใช้เป็นสารแต่งกลิ่นอาหาร, ทำน้ำหอม, เป็นตัวทำละลาย เช่น น้ำมันขัดเงา น้ำยาล้างเล็บ, ใช้เป็นยาบรรเทาอาการปวดเมื่อย เช่น แอสไพริน, ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อผลิตเส้นใยสังเคราะห์ และยังใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุพอลิเมอร์ เช่น ใช้เป็นโมโนเมอร์, น้ำมันหล่อลื่น รวมถึงเป็นสารเติมแต่งในวัสดุพอลิเมอร์อีกด้วย

สารประกอบประเภทเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกหรือกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ [15] ที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดแก่ เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์ว่า “เอสเทอร์ฟิเคชัน” (Esterification) ดังรูปที่ 2.13 จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เอสเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (Alcoxy carbonyl) เป็นหมู่ฟังก์ชัน มีสูตรทั่วไปเป็น หรือ $\text{R}'\text{COOR}$ หรือ $\text{R}'\text{CO}_2\text{R}$ เมื่อ R หรือ R' แทนหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลของกรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) [16]



รูปที่ 2.14 หมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (Alcoxy carbonyl) [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) มี 2 ขั้นตอน [18] ดังนี้

1. ออกซิเจนอะตอม (O) ของสารประเภทแอลกอฮอล์เป็น nucleophile จะสร้างพันธะกับคาร์บอนอะตอม (C) ของ $C=O$ ในกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติม (Addition reaction)
2. เกิดการสลายพันธะระหว่าง $C-OH_2^+$ จนได้น้ำและสารประกอบพวกเอสเทอร์ออกมา ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการกำจัดออก (Elimination reaction)

2.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) [1]

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์ (Polymer) หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการนิ่มตัว (Flexing temperature) ของพลาสติกทำให้พลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทนต่อกรดต่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร พลาสติกห่ออาหาร เครื่องมือแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือด น้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์, รองเท้า, กระเป๋า, เสื้อผ้า, กระเบื้องยางปูพื้น, สายไฟ, เทปพันสายไฟ, ท่อน้ำ, แท็งก์เก็บสารเคมีและอื่นๆ โดยที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ถึง 65% ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt Brothers ในปี ค.ศ.1870

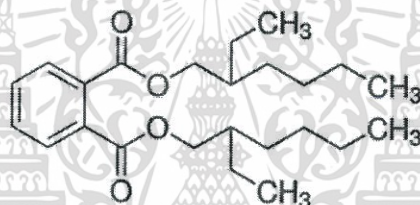
ในเนื้อพลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ (Polymer molecules) ที่มีหน่วยย่อยเป็นโมเลกุลโมโนเมอร์ (Monomer molecules) แต่ละโมเลกุลของโมโนเมอร์เชื่อมต่อกันด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (Vander Waals) โดยที่พลาสติไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์โดยไปทำให้แรงวานเดอร์วาลส์ลดลง ในปัจจุบันพลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 พลาสติไซเซอร์กลุ่มพทาเลต (Phthalate plasticizers)

เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์มากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปลายของน้ำมันปิโตรเลียม มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี ตัวอย่างการสังเคราะห์สารพทาเลต (phthalate) ที่ผลิตในอุตสาหกรรม เช่น การทำปฏิกิริยาระหว่างพทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) กับเอกซารีนเป็นเอกซารีนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เช่น กรดซัลฟิวริกหรือกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก และ สารพทาเลตที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ เช่น

- ไดเมทิลพทาเลต (Dimethyl phthalate, DMP)
- ไดเอทิลพทาเลต (Diethyl phthalate, DEP)
- ไดนอร์มัลบิวทิลพทาเลต (Di-n butyl phthalate, DBP)
- บิวทิลเบนซิลพทาเลต (Butylbenzyl phthalate, BBP)
- ไดทูเอทิลเฮกซิลพทาเลต (Di-(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP) หรือ ไดออกทิลพทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP)
- ไดไอโซโนนิลพทาเลต (Diisononyl phthalate, DINP)



รูปที่ 2.15 ไดทูเอทิลเฮกซิลพทาเลต (di-(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP) หรือ ไดออกทิลพทาเลต (dioctyl phthalate, DOP) [19]

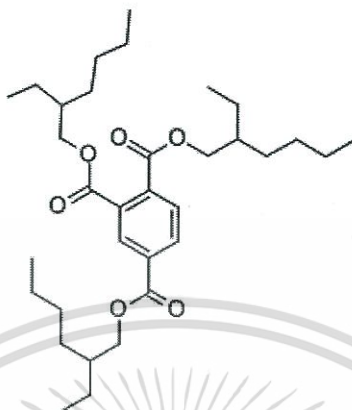
2.5.2 พลาสติไซเซอร์ปลอดสารพทาเลต (Non-Phthalate Plasticizer)

ส่วนมากเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ผลิตมาจากสารชีวมวล เช่น น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันละหุ่ง และ กรดต่างๆ ที่ได้จากธรรมชาติ พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้มีความปลอดภัยค่อนข้างสูง, ไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค, ทนทานต่อความร้อนและน้ำมันได้ดี, ความดันไอสูง ระบายยาก, เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้จึงนิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารและยา พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้มีราคาค่อนข้างสูง ตัวอย่างสารพลาสติไซเซอร์ปลอดสารพทาเลต เช่น

- ไดทูเอทิลเฮกซิลอดิเพต (Di-2-ethylhexyl adipate, DOA)
- ไดไอโซเดซิลอดิเพต (Diisodecyl adipate, DIDA)
- ไดไอโซออกทิลซีเลต (Diisooctyl azelate, DIOZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

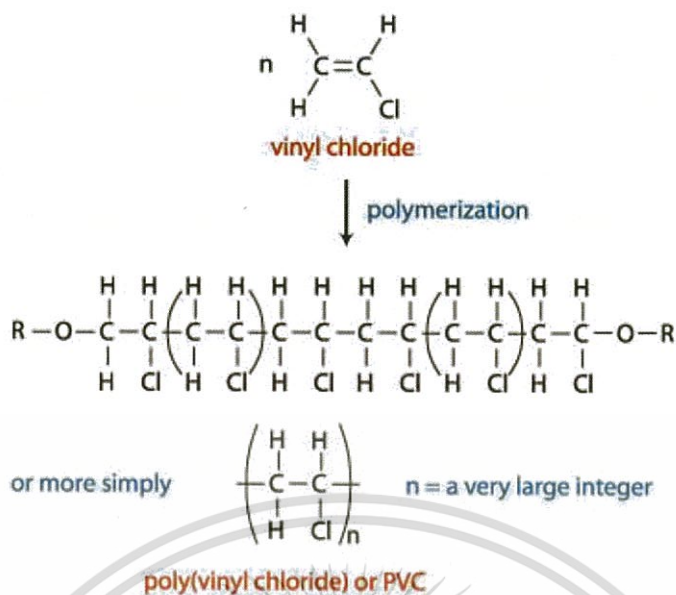
- อีพอกซีไดซ์ซอยบินออยล์ (Epoxidized soybean oil, ESBO)
- ไตรออกทิล ไตรเมลลิเตต (Trioctyl trimellitate, TOTM)



รูปที่ 2.16 ไตรออกทิล ไตรเมลลิเตต (Trioctyl trimellitate, TOTM) [20]

2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) [21]

พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) [6] เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มไวนิลด้วยกัน โดยมีสารไวนิลคลอไรด์เป็นโมโนเมอร์ (Vinyl chloride monomer) พอลิไวนิลคลอไรด์ มักเรียกกันทั่วไปว่า “พีวีซี (PVC)” เนื้อพีวีซีมักมีลักษณะขุ่นทึบแต่ก็สามารถผลิตออกมาให้มีสีใสได้ทุกเฉดสี เป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ตัวมันเองเป็นสารที่ทำให้ไฟดับจึงไม่ติดไฟ มีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคง -รูปและอ่อนนุ่ม เหนียว เรซินมีทั้งที่เป็นเม็ดแข็ง, อ่อนนุ่มหรือเป็นผงจึงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) [22]

2.6.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี

- มีความแข็งแรงดีทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ
- ต้านทานต่อสารเคมีและน้ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- สามารถผสมสีและแต่งสีได้อย่างไม่จำกัด
- สามารถเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรุงแต่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง และคงตัว จนถึงอ่อนนิ่ม และยืดหยุ่นมาก
- มีสมบัติอื่นๆ กว้างขวางและสามารถสลายตัวเอง

2.6.2 ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี

พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูง ทำให้มีการใช้อย่างกว้างขวาง เราจึงสามารถพบพลาสติกชนิดนี้ได้รอบตัว ตั้งแต่ของใช้ในบ้าน เช่น ชั้นวางของ เฟอร์นิเจอร์ ของเล่นเด็ก รถเข็นเด็ก กรอบรูป อุปกรณ์รถยนต์ อุปกรณ์สำนักงาน ฝ้าบุโต๊ะ ตะแกรงคว่ำจาน พลาสติกห่อหุ้มอาหาร ขวดน้ำดื่ม ม่านในห้องน้ำ รองเท้า กระเป๋า บัตรเครดิต ฯลฯ วัสดุที่ใช้สร้างอาคารบ้านเรือน เช่น รั้ว กรอบประตู-หน้าต่าง ฝ้า กระเบื้องยาง ท่อน้ำ ฉนวนหุ้มสายไฟ-สายโทรศัพท์ ฯลฯ นอกจากนี้ของใช้ในบ้านและส่วนประกอบภายในบ้านแล้ว ยังมีการใช้พลาสติกพีวีซี ในด้านการแพทย์ เช่น ถังบรรจุเลือด ถังน้ำเกลือ สายน้ำเกลือ สายสวน หรือเป็นถุงมือยางพีวีซี ที่สามารถทนกรด - ด่างและทนความร้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) [24]

2.7 การตรวจสอบเอกลักษณ์

2.7.1 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy ,GC-MS) [25]

เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่างๆ ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer ,GC-MS) ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและให้ความแม่นยำสูง สามารถเปรียบเทียบผลวิเคราะห์กับฐานข้อมูล (Library) เพื่อความถูกต้องได้โดยไม่ต้องใช้สารมาตรฐาน ซึ่งถือเป็นข้อดีของเครื่องมือทั้ง 2 ประเภทนี้ คือเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) และเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) ดังรูปที่ 2.19

2.7.1.1 หลักการทำงานในส่วนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC) อาศัยเทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid) เป็นแก๊ส (Gas) และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายใน

เอกสรณ์เป็นเอกสรณ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม จากนั้นโมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวจะถูกพาเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer)

2.7.1.2 หลักการทำงานในส่วนเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer, MS)

เมื่อสารเชิงเดี่ยวเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer, MS) โมเลกุลของสารเชิงเดี่ยว จะได้รับพลังงานจากลำแสงอิเล็กตรอนพลังงานสูง ที่ค่า 70 อิเล็กตรอนโวลต์ เพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในรูปประจุ เรียกว่า “Molecular ion, M^+ หรือ $M^{+•}$ ” รูปแบบการแตกตัวของแต่ละโมเลกุลมีลักษณะเฉพาะ เรียกว่า “Mass spectrum” โดยจะแสดงการแตกตัว (Fragmentation) ในรูปของ mass-to-charge ratio (m/z)



รูปที่ 2.19 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) [26]

2.7.2 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) [27]

เทคนิคนี้นิยมใช้หาหรือพิสูจน์เกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ต่างๆ ซึ่งจะปรากฏออกมาที่ความถี่ต่างๆ กัน และยังใช้วิเคราะห์หาปริมาณสาร (Qualitative Analysis) อีกด้วย เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) เมื่อรังสีอินฟราเรดที่มีหลายความถี่จากแหล่งคลื่นรังสีอินฟราเรด ผ่านเข้าไปยังอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ ลำแสงจะถูกแบ่งออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ แล้วเข้าสู่ตัวแยกแสง ที่มีชื่อว่า “Beam splitter” ลำแสงครึ่งหนึ่งจะทะลุผ่านออกไปและลำแสงครึ่งหนึ่งจะผ่านไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกที่ตรงอยู่กับที่ ซึ่งกระจกมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เมื่อลำแสงสะท้อนกลับมาที่ Beam splitter จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือการแทรกสอดแบบหักล้างของแต่ละความยาวคลื่น เมื่อแสงผ่านสารตัวอย่างไปยังตัววัดสัญญาณ ตัวตรวจวัดจะตรวจวัดสัญญาณได้ทุกช่วงความถี่พร้อมกันกับช่วงสแกนของกระจก โดยที่อัตราการสแกนสัญญาณและความเร็วของกระจกที่เคลื่อนที่ได้จะถูกควบคุมให้มีความถูกต้องและคงที่ เรียกสัญญาณอ้างอิงจากตัววัดสัญญาณที่เกิดจากหลอด He – Ne Laser ว่า “Internal Reference Laser” สัญญาณที่ตัววัดสัญญาณอ่านได้จะอยู่ในรูปอินเทอร์-เฟอโรแกรม



รูปที่ 2.20 เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR Spectrometer) [28]

2.7.3 เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) [29,30]

เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) หรือที่เรียกโดยย่อว่า “เอ็นเอ็มอาร์ (NMR)” เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุ ซึ่งมีพลังงานอยู่ในช่วงที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง "สปิน" (Spin) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของนิวเคลียสแต่ละชนิด เมื่ออยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กไม่ใช่ นิวเคลียสทุกชนิดที่จะสามารถเกิดการดูดกลืนคลื่นวิทยุได้ แต่จะต้องเป็นนิวเคลียสที่มีค่า “สปิน” ไม่เป็นศูนย์เท่านั้น ตัวอย่าง เช่น ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{19}F เป็นต้น ในที่นี้ ^1H เป็นนิวเคลียสที่มีความสำคัญมากที่สุดเนื่องจากเป็นธาตุที่พบมากในสารประกอบอินทรีย์ทั่วไป หลักการของ NMR พอจะอธิบายได้ ดังนี้ นิวเคลียสเป็นอนุภาคที่มีประจุ ในนิวเคลียสของธาตุดังกล่าวอย่าง ประจุนี้จะหมุน (Spin) เป็นวงรอบแกนนิวเคลียส (Nuclear axis) เช่นเดียวกับที่อิเล็กตรอนซึ่งเป็นอนุภาคมีประจุซึ่งหมุนรอบนิวเคลียส การสปินของนิวเคลียสนี้จะก่อให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็ก (Magnetic moment) และโมเมนต์แม่เหล็กดังกล่าวจะให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของธาตุที่ตรวจวัดได้ออกมาสู่เครื่องอ่านสัญญาณ เทคนิคนี้นิยมใช้ในการหาโครงสร้างโมเลกุลของสารเคมีเป็นหลัก



รูปที่ 2.21 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer, NMR) [31]

2.8 การคอมปาวด์ (Compounding) [6]

การผสมหรือคอมปาวด์ (Rubber Compounding) คือ ขั้นตอนการวัสดุพอลิเมอร์ (เช่น ยางหรือพลาสติก) กับสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ทำให้วัสดุเกิดการผสม เสียตสี และคลุกเคล้าให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเครื่องที่ใช้ผสมมีหลายชนิดสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.8.1 การผสมแบบทั่วไป (Simple mixing)

การผสมแบบนี้จะไม่มี การใช้ความร้อนทำให้เกิดการอ่อนตัวหรือทำให้เกิดความร้อนขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) เครื่องผสมแบบกลิ้งไปมา (Tumble blender) และเครื่องผสมแบบรียบอน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องผสมแบบความเร็วสูง (High-speed mixer) ดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



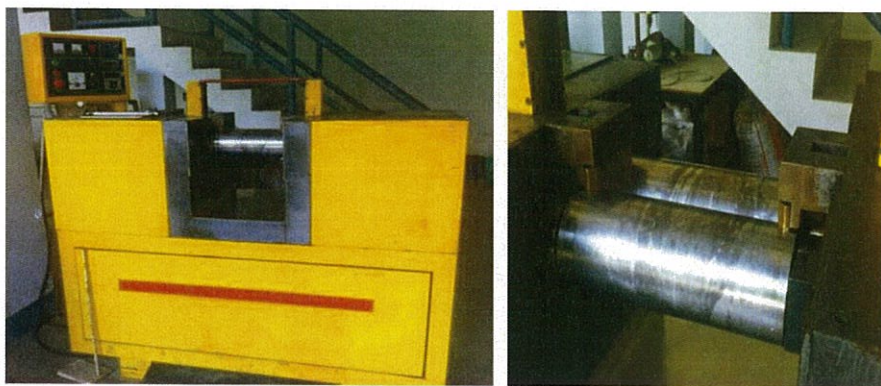
รูปที่ 2.22 เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) [32]

2.8.2 การคอมปาวด์แบบหลอมเหลว (melt compounding)

การทำคอมปาวด์แบบนี้ขึ้นอยู่กับแรงเฉือนระหว่างผิวโลหะสองแผ่น มีทั้งที่เป็นแบบครั้งคราว (Batch compounding) ได้แก่ เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) และแบบต่อเนื่อง (Continuous compounding) ได้แก่ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องผสมภายใน (Internal mixer)

2.8.2.1 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียาง ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมา ในขณะที่เติมสารเคมีลงไปในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการผสม ดังรูปที่ 2.23

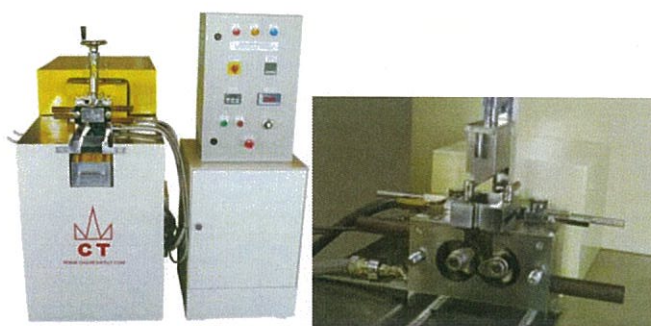


รูปที่ 2.23 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) [6]

2.8.2.2 เครื่องผสมแบบภายใน (Internal mixer) [33]

เครื่องผสมแบบภายใน (Internal mixer) ดังรูปที่ 2.24 เป็นเครื่องสำหรับใช้ในการผสมยางหรือพลาสติกเข้ากับสารเคมีและสารตัวเติมต่างๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ผสม (Rotor) ที่สามารถถอดเปลี่ยนชนิดเพื่อให้เหมาะกับการผสมแต่ละประเภท และถอดออกเพื่อทำความสะอาดได้สะดวก ในการทำงานผสมผู้ใช้งานยังสามารถปรับความเร็วรอบของโรเตอร์และอุณหภูมิของห้องผสมได้ในช่วงที่กว้าง เพื่อให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท เครื่องผสมสามารถบดสารเคมีให้แตกเป็นอนุภาคเล็กๆ และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ เครื่องผสมแบบภายใน (Internal mixer) อาจเรียกชื่อได้หลายชื่อ เช่น เครื่องผสมแบบชุด (Batch mixer) เครื่องผสมแบบปิด (Closed mixer) เครื่องนวดยาง (Kneader) เครื่องผสมยาง (Rubber mixer) เครื่องผสมพลาสติก (Plastic mixer) เครื่องผสมแบนบิวรี (Banbury mixer) เครื่องผสมแบบแกนคู่ (Twin rotor mixer) เหมาะสำหรับการใช้งานหลายประเภท ได้แก่

- การผสมพอลิเมอร์ หรือ ยางคอมปาวด์
- การผสมพอลิเมอร์ หรือ ยางคอมโพสิต
- การผสมพอลิเมอร์ หรือ ยางหลายชนิดเข้าด้วยกัน



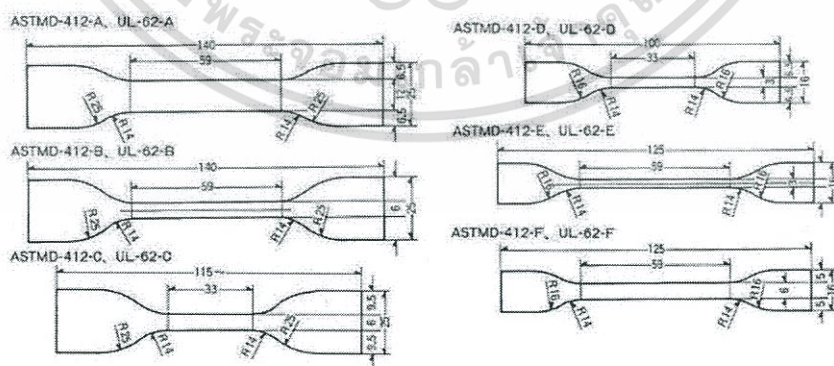
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2.24 เครื่องผสมแบบภายใน (Internal mixer) [6] ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Tests) [6]

2.9.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Tests)

การทดสอบแรงดึง คือการวัดความสามารถของวัสดุหนึ่งที่จะทนต่อแรงดึงยืดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก หรือเสียหาย ค่ามอดุลัสแรงดึงจะเป็นค่าที่บอกถึงความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุ สามารถหาได้จากความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) การทดสอบแรงดึงทำได้โดยการยึดชิ้นงานตัวอย่างที่ขนาดและรูปร่างตามมาตรฐาน โดยใช้ที่จับ (Grips) สองชุด ที่จับข้างหนึ่งจะถูกยึดให้อยู่กับที่ และอีกข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่โดยมีเซลล์แรงวัด (Load cells) เป็นตัววัดและควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงานตัวอย่าง โดยมากแล้วชิ้นงานตัวอย่างมีรูปร่างคล้าย “ดัมเบลล์” (Dumb-bell) หรือรูปวงแหวน (Ring) การยืดออกของชิ้นงานพอลิเมอร์สามารถวัดได้จากการวัดระยะห่างระหว่างสองเส้น (Gauge marks) บนชิ้นงานตัวอย่างที่ห่างกันเป็นระยะเท่ากับ “ความยาวเกจ” หรือ Gauge length ตามมาตรฐานใช้ความยาวเกจ 20 หรือ 25 มิลลิเมตร โดยการใช้เครื่อง “เอ็กซ์เทนโซมิเตอร์” (Extensometer) แบบสัมผัส (Contacting extensometer) หนีบกับตัวอย่างชิ้นงานหรือแบบไม่สัมผัส (Non-contacting extensometer) อัตราเร็วการดึงที่ใช้จะขึ้นกับชนิดตัวอย่างพอลิเมอร์ เช่น วัสดุยืดหยุ่นคล้ายยาง (Elastomers) จะทำการดึงยืดด้วยอัตราเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ตามมาตรฐาน ASTM D-412 การทดสอบแรงดึงสามารถบอกค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength), มอดุลัสแรงดึง (Tensile modulus), และร้อยละการดึงยืด (% Elongation) ค่าเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของวัสดุต่างๆ และมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสำหรับยางหรือพลาสติก มาตรฐานที่ใช้ทดสอบแรงดึงพลาสติกมีหลายมาตรฐาน เช่น ASTM-D412, ISO-37, BS-903, JIS-K6251, DIN-53504 เป็นต้น

ASTM D412 TYPE A, B, C, D, E, F



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงมาตรฐาน ASTM D-412 ดัมเบลล์ตาย A B C D E และ F [34]

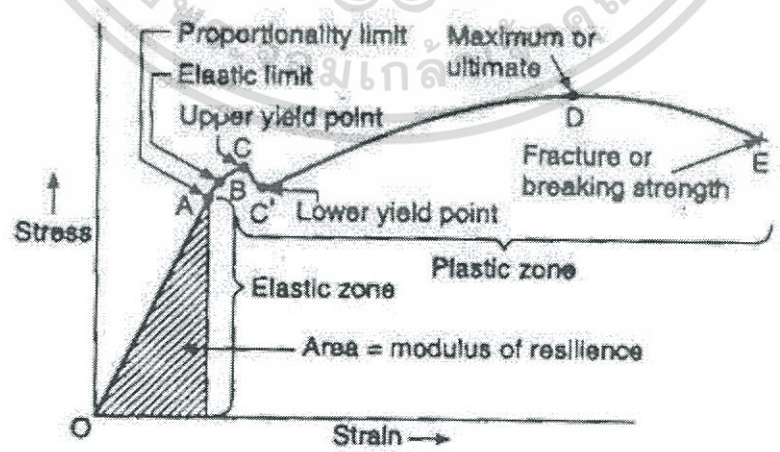
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแรงดึงที่ใช้และการยืดออกของตัวอย่างสามารถคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ดังนี้

- ความเค้นดึง (Tensile stress), $\sigma = F/A$
- ความเครียดดึง (Tensile strain), $\epsilon = (l - l_0)/l_0 = \Delta l/l_0$
- ร้อยละความเครียดหรือร้อยละการยืด (% Strain or Elongation) = $(\Delta l/l_0) \times 100$
- โมดูลัส (Modulus), E = ความเค้นดึง/ความเครียดดึง

- เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยึดตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน (N))
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm²))
- l คือ ระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่าง (Guage marks) ขณะดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm))
- l₀ คือ ระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่างก่อนดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm))

ความเค้น (Stress) และโมดูลัส (Modulus) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²) หรือเมกะปาสคาล (MPa) ส่วนความเครียด (Strain) จะไม่มีหน่วย (Dimensionless) โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus หรือ Modulus of elasticity), ค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus หรือโมดูลัสดึง (Tensile modulus) คือค่าอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดของส่วนเส้นกราฟที่ยังคงเป็นเส้นตรง นั่นคือช่วงแรกของการดึงนั่นเอง วัสดุของยางมีความยืดหยุ่นสูงสามารถดึงได้หลายเท่าของขนาดเดิม โดยมากแล้วจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดช่วงแรกเป็นเส้นตรงในช่วงสั้น ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าความแข็งแรงแบบ “โมดูลัสของยาง” (Rubber modulus) เป็นค่าความเค้น (Stress) ที่ร้อยละความเครียดหนึ่งๆ เช่น M100 คือความเค้นที่ 100% การยืด, M300 คือความเค้นที่ 300% การยืด แสดงได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ของการดึงชิ้นงาน [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความแข็งกดอีกชนิด คือ “ดูโรมิเตอร์” (Durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ดูโรมิเตอร์มักมีขนาดเล็ก กะทัดรัด และสะดวกในการใช้งาน นิยมใช้และเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก มักใช้แรงสปริงในการกด (Spring-loaded durometer) สเกลสำหรับเครื่องวัดความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ คือ 0 ถึง 100 เช่น ดูโรมิเตอร์ชนิด A หรือชอร์ A (Type A or Shore A durometer) ใช้วัดพอลิเมอร์อ่อนนิ่ม เช่นยาง หรือใช้วัสดุที่มีความแข็งไม่เกิน 90 ถ้าวัสดุมีความแข็งเกิน 90 จะใช้ดูโรมิเตอร์ชนิด D หรือชอร์ D (Type D or Shore D durometer) ซึ่งมีรูปร่างของหัวกดและความแข็งของสปริงแตกต่างกันไป

ข้อเสียของเทคนิคการวัดความแข็งกดด้วยหัวดูโรมิเตอร์ คือ ความไม่แน่นอนของค่าที่วัดได้ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดสอบ ค่าที่อ่านได้ยังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการกดและระยะเวลาในการกด ทั้งนี้เนื่องจากการคืนตัวเนื่องจากความยืดหยุ่น (Elastic recovery) และปรากฏการณ์ “คลายแรงเค้น” (Stress relaxation) ของพอลิเมอร์นั่นเอง บางมาตรฐานใช้ค่าที่อ่านได้สูงสุด บางครั้งอาจใช้ค่าที่อ่านได้หลังจากการกดระยะเวลาหนึ่ง เช่น 5 วินาที หรือ 30 วินาที เป็นต้น

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบต้องมีความหนาอย่างน้อย $\frac{1}{4}$ นิ้ว อาจทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยวิธีการหล่อแบบหรือตัดจากแผ่น อาจใช้การซ้อนตัวอย่างหลายแผ่นเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ ตัวอย่างของเครื่องดูโรมิเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 เครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การทดสอบการแพร่ออก (Bleeding)

สารเติมแต่งสามารถละลายได้ทั้งในพอลิเมอร์และวัสดุที่อยู่ข้างเคียงอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ซึ่งการแพร่ออก (Bleeding) ทำให้วัสดุนั้นเกิดสีหรือรอยเปื้อน (Contaminate) หรืออาจเรียก migration จะเกิดได้มากที่อุณหภูมิเหนือ T_g ของพอลิเมอร์ หรือ T_m ในกรณีที่มีผลึก อัตราการเกิดการแพร่ออกจะเป็นไปตามกฎการแพร่ (Law of diffusion) การแพร่ขึ้นกับ

- ปริมาตรอิสระ (Free volume) ในพอลิเมอร์
- ขนาดโมเลกุลของสารเติมแต่งที่แพร่ออกมา
- ความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่อยู่ในพอลิเมอร์

ในงานวิจัยนี้จะทดสอบการแพร่ออก ตามมาตรฐาน ISO 177 ที่ปริมาณการแพร่ออกของสารเติมแต่ง 0.45 กรัม โดยการทดสอบมีดังนี้

1. ตัดชิ้นงานขนาด 5x5 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น
2. อบกระดาษไขเพื่อไล่ความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของกระดาษไขและชิ้นงานตัวอย่างเป็นน้ำหนักก่อนอบ
4. วางกระดาษไขบนและล่างของชิ้นงานตัวอย่าง แล้วมีน้ำหนักกดทับ 5 กิโลกรัมที่สภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชม.
5. ชั่งน้ำหนักกระดาษไขและชิ้นงานตัวอย่างเป็นน้ำหนักหลังอบเทียบกับมาตรฐาน ซึ่งการแพร่ออกไม่ควรเกิน 0.45 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W. Waskitoajia และคณะ (2555) [37] ศึกษาการสังเคราะห์สารพลาสติกไซเซอร์จากน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในพลาสติกพีวีซี (PVC) โดยใช้กรดโอเลอิก (Oleic acid) ที่สกัดจากน้ำมันปาล์ม มาทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification reaction) กับสารประเภทแอลกอฮอล์ 3 ชนิด ได้แก่ 1,4-Butanediol, Isobutanol และ 2-Ethyl hexanol โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสารสังเคราะห์จาก Isobutanol ที่มีชื่อว่า Isobutylolate สามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์แบบทุติยภูมิร่วมกับสารพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ Dioctyl phthalate (DOP) และยังเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพ (Bio-based plasticisers) ที่สามารถทดแทนการใช้ DOP ได้สูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ทั้งหมดในพลาสติกพีวีซี ซึ่งถือว่าดีที่สุดในสารสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด และ Isobutylolate เหมาะสำหรับนำไปใช้งานในพลาสติกพีวีซีที่เป็นผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร ส่วน 1,4-Butanediol dioleate เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซีที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง และ 2-Ethyl hexyl oleate เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซีจำพวกหนังเทียมหรือสิ่งทอ

บริษัท ไทยอีทอกซีเลต จำกัด (TEX) (2558) [6] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารแพตตี-แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty Alcohol Ethoxylates, FAEs) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของบริษัท สำหรับเป็นสารเติมแต่งชีวภาพในวัสดุพอลิเมอร์ ได้แก่ พลาสติกพีวีซี (PVC), ยางธรรมชาติ (NR) และยางไนไตรล์ (NBR) โดยใช้สาร FAEs เกรด Dehydol[®] LS 1, 3, 7, และ 12 TH ในพลาสติกพีวีซี ที่อัตราส่วนของพลาสติกไซเซอร์ DOP หรือ TOTM / Dehydol[®] เท่ากับ 25:0, 20:5, 15:10, 10:15 และ 5:20 phr ส่วนในยางธรรมชาติและยางไนไตรล์ทำการผสม Dehydol[®] ในปริมาณ 5 phr จากการทดลองพบว่า FAE เกรด Dehydol[®] LS 1 TH เหมาะเป็นสารพลาสติกไซเซอร์แบบทุติยภูมิในพลาสติกพีวีซี ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิได้ทั้ง Phthalate plasticizer (DOP) และ Non-phthalate plasticizer (TOTM) ที่อัตราส่วน 20:5 ซึ่งให้สมบัติเชิงกล สีของชิ้นงาน สมบัติทางความร้อน และการแพร่ออกของพลาสติกใกล้เคียงกัน ส่วนในยาง FAEs ไม่เหมาะใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในยางธรรมชาติ (NR) แต่ Dehydol[®] LS 1, 3 TH สามารถนำไปใช้ได้ดีในยางไนไตรล์ (NBR) เนื่องจากให้สมบัติเชิงกล การกระจายตัว สมบัติทางความร้อน และการแพร่ออกไม่แตกต่างกับพลาสติกไซเซอร์เชิงพาณิชย์

บริษัท ARKEMA ประเทศฝรั่งเศส และคณะ (2555) [5] ศึกษาการสังเคราะห์สารพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพ (Bio-based plasticizers) จากน้ำมันพืชและสารชีวมวล โดยผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification process) และได้สารผลิตภัณฑ์ประเภทเอสเทอร์ ที่มีชื่อว่า L-Ketals[®] พบว่าสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ สามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์แบบทุติยภูมิในพลาสติกร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกไซเซออร์ปฐุมภูมิ Diisononyl phthalate (DINP) ได้เป็นอย่างดี โดยให้สมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของพลาสติกไม่แตกต่างกับการใช้พลาสติกไซเซออร์เชิงพาณิชย์ DINP ร้อยละ 100 ของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ทั้งหมด

Yuen May choo และคณะ (2555) [38] ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มและสารประเภทแอลกอฮอล์ ได้แก่ บิวทานอล (Butanol) โดยผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification process) โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ น้ำมันปาล์ม/บิวทานอล เท่ากับ 1:3 ซึ่งมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมีโทลูอิน (Toluene) เป็นตัวทำละลาย โดยทำปฏิกิริยา ณ สภาวะอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ปฏิกิริยาการสังเคราะห์จะเกิดได้ดี จะต้องทำการเตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ใช้ และจำเป็นต้องให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิความร้อนที่ใช้จะต้องใกล้เคียงกับจุดเดือดของสารประเภทแอลกอฮอล์ที่เป็นสารตั้งต้น เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงจะต้องทำการแยกตัวทำละลายออกจากสารผลิตภัณฑ์ด้วยการกลั่นธรรมดา และน้ำมันปาล์มที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะต้องทำการแยกออกจากสารผลิตภัณฑ์ด้วยการกลั่นแบบลดความดัน

A. Greco และคณะ (2553) [39] ศึกษาการสังเคราะห์และปรับปรุงสารพลาสติกไซเซออร์ในพลาสติกพีวีซีอ่อนนุ่ม (Soft PVC) จากสาร Cardanol ที่สกัดจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยนำสาร Cardanol ไปผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับสารแอซิกติก แอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) จากนั้นนำสารผลิตภัณฑ์ Cardanol acetate ที่สังเคราะห์ได้ไปปรับปรุงโครงสร้างด้วยกระบวนการการปิดวงอีพอกซี (Epoxidation) จนได้สาร Epoxidated cradanol acetate พบว่า Cardanol acetate ที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพียงอย่างเดียว สามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซออร์แบบทุติยภูมิร่วมกับสารพลาสติกไซเซออร์ปฐุมภูมิ Dioctyl phthalate (DOP) และยังเป็นสารพลาสติกไซเซออร์ชีวภาพ (Bio-based plasticizers) ที่สามารถทดแทนการใช้ DOP ในพลาสติกพีวีซีอ่อนนุ่มได้ร้อยละ 8 – 12 ของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ทั้งหมด โดยให้สมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของพลาสติกพีวีซีอ่อนนุ่มไม่แตกต่างจากการใช้ DOP เพียงอย่างเดียว ส่วนสาร Epoxidated cradanol acetate สามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซออร์แบบทุติยภูมิร่วมกับสารพลาสติกไซเซออร์ปฐุมภูมิ DOP ได้เช่นกัน แต่ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของ Epoxidated Cradanol acetate กับเนื้อพลาสติกพีวีซีอ่อนนุ่ม สามารถละลายเข้ากันได้ดีกว่า Cardanol acetate เนื่องจากมีความมีขั้วมากขึ้น, สมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของพลาสติกพีวีซีอ่อนนุ่มดีกว่า การใช้สาร Cardanol acetate ดังนั้น Epoxidated Cradanol acetate จึงเหมาะแก่การใช้งานในพลาสติกพีวีซีที่ต้องการคุณภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการใช้สารชีวมวลโดยเฉพาะน้ำมันพืช มาทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification process) เพื่อเป็นสารเติมแต่งชีวภาพ (Bio-based additive) ในวัสดุพอลิเมอร์ โดยมีกรดแก่และความร้อนเป็นตัวช่วยในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น ซึ่งอุณหภูมิความร้อนที่ใช้จะต้องใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับจุดเดือดของสารประเภทแอลกอฮอล์ ทั้งนี้การปรับปรุงโครงสร้างของน้ำมันพืชโดยวิธีดังกล่าวจะช่วยทำให้น้ำมันพืชมีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและสามารถเข้าไปแทรกตัวภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ห่างออกจากกันมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุพอลิเมอร์มีสมบัติด้านความยืดหยุ่นดีขึ้น อีกทั้งน้ำมันพืชยังเป็นสารที่มีจุดเดือดสูง ระเหยและเสื่อมสภาพยาก จึงทำให้สารเติมแต่งจากน้ำมันพืชระเหยออกจากเนื้อสารพอลิเมอร์ได้ยากเช่นกัน นอกจากนี้สารเติมแต่งจากน้ำมันพืชยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารแปดตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือ FAE ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและเป็นสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ มาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์และได้จากการสกัดจากน้ำมันปาล์ม ณ สภาวะอุณหภูมิ 100 °C เพื่อให้โครงสร้างของ FAE มีสมบัติที่ดีขึ้นและเหมาะสำหรับการใช้เป็นสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในการผลิตพลาสติกพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) สำหรับอุตสาหกรรมพอลิเมอร์

จากนั้นทำการศึกษาปริมาณอัตราส่วนของพลาสติกไซเซอร์เชิงพาณิชย์ต่อ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว ที่มีชื่อว่า Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH หรือ MFAE ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 25:0, 20:5 และ 15:10 phr แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปได้ เช่น สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) และการแพร่หรือการรั่ว (Bleeding) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของพลาสติกไซเซอร์ในแต่ละอัตราส่วน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดโอเลอิก (Oleic acid) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 68 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents S.A.S. ประเทศฝรั่งเศส
2. กรดพาราโทลูอิกซัลโฟนิก โมโนไฮเดรต (*p*-Toluenesulfonic acid monohydrate, PTS) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.5 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka Chemical Crop. ประเทศฝรั่งเศส
3. แปดตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, FAE) เกรดการค้า บริษัท Thai Ethoxylate Co.,Ltd. ประเทศไทย
4. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents S.A.S. ประเทศฝรั่งเศส
5. โซเดียมซัลเฟต (Anhydrous sodium Sulfate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents S.A.S. ประเทศฝรั่งเศส
6. น้ำกลั่น (Distilled water)
7. สารแปดตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

(Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) K value 66 บริษัท Thai Poly Chemicals Co.,Ltd.
9. ไดออกทิลฟทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP) เกรดการค้า บริษัท South City Petrochem Co.,Ltd.
10. อีพอกซิไดซ์ซอเย่บีนออยล์ (Epoxidized soya bean oil, ESBO) เกรดการค้า บริษัท South City Petrochem Co.,Ltd.
11. แคลเซียม-ซิงค์ สเตบิไลเซอร์ (Ca-Zn stabilizer) บริษัท Adeka Fine Chemical - Thailand.co.,Ltd.

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวด 3 คอ (Three-necked flask)
2. ชุดรีฟลักซ์ (Reflux set)
3. กรวยแยก (Separator funnel)
4. กรวยหยด (Drop funnel)
5. ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 150, 250, 600 และ 1000 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
7. กรวยกรอง (Funnel)
8. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
9. กระดาษกรอง (Filter paper) เบอร์ 2 Whatman
10. กระดาษวัดค่า pH (Universal indicator paper)
11. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็กชนิดให้ความร้อน (Magnetic stirrer with heating) และ ชุดวัดอุณหภูมิ รุ่น RCT Basic IKA®
12. เครื่องชั่งแบบดิจิทัลความละเอียด 4 ตำแหน่ง (g) (Analytical balances) รุ่น ML204 : Mettler Toledo Co.,Ltd.
13. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) รุ่น NICOLET 6700 Thermo scientific®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatograph-Mass spectrometer, GC-MS) รุ่น C1530N MS G2573A Agilent®
15. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer) NMR 500 MHz รุ่น Avance III HD Bruker
16. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บริษัท Labtech Engineering Co.,Ltd.
17. เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) บริษัท Labtech Engineering Co.,Ltd.
18. เครื่องอัดขึ้นรูป (Hydraulic press) รุ่น CEAST Type 6032 บริษัท Torino-Italy Co.,Ltd.
19. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM) รุ่น LR5K LLOYD Instruments Co.,Ltd.
20. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) ชนิด Shore D รุ่น GS-719N Type A บริษัท Teclock Co.,Ltd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารแพตตีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, FAE)

จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification Reaction)



มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมกรดโอเลอิก (Oleic acid) จำนวน 0.25 โมล (ประมาณ 103.8493 กรัม) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายลงในขวด 3 คอ จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็กชนิดให้ความร้อน ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas) จนสารมีสถานะอุณหภูมิ 100 °C
2. เตรียม FAE (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) จำนวน 0.5 โมล (ประมาณ 117.00 กรัม) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เตรียมกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก โมโนไฮเดรต (*p*-Toluenesulfonic monohydrate, PTS) จำนวน 1 %wt โดยเทียบกับน้ำหนักของกรดโอเลอิก (ประมาณ 1.0385 กรัม) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
4. ผสมกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก โมโนไฮเดรต กับ FAE ที่เตรียมไว้เข้าด้วยกัน จากนั้นถ่ายสารผสมลงในกรวยหยด
5. หยดสารผสมใน ข้อ 4. ลงในกรดโอเลอิกอย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมกับปั่นกวนสาร เมื่อหยดสารจากกรวยหยดจนหมดแล้ว ให้ปั่นกวนสารและดำเนินปฏิกิริยาต่อไปอีก 1 ชั่วโมง (รวมเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง) เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาควรตั้งสารตัวอย่างทิ้งไว้ให้เย็น
6. นำสารตัวอย่างที่ได้บรรจุลงในกรวยแยก และล้างสารตัวอย่างด้วยโซเดียมคลอไรด์เจือจางร้อยละ 30 (30% Sodium chloride solution) พร้อมทั้งทำการแยกชั้นน้ำออกจากชั้นสารอินทรีย์
7. การล้างชั้นสารอินทรีย์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เจือจางหลายๆ ครั้ง จนค่า pH ของชั้นสารอินทรีย์เท่ากับ 7 หรือเป็นกลาง
8. นำชั้นสารอินทรีย์ที่ได้มากำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต

(Anhydrous sodium sulfate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการกรองโซเดียมซัลเฟตที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ (Hydrate sodium sulfate) ออกจากชั้นสารอินทรีย์ที่ได้

10. ทำการบรรจุเก็บชั้นสารอินทรีย์ที่ได้ (สารผลิตภัณฑ์) ในบรรจุภัณฑ์สีชาเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (ควรเก็บไว้ให้ไกลจากแสง)



รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์เชิงพาณิชย์ต่อพัตตี้แอลกอฮอล์ อี-ทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE) ในพีวีซี

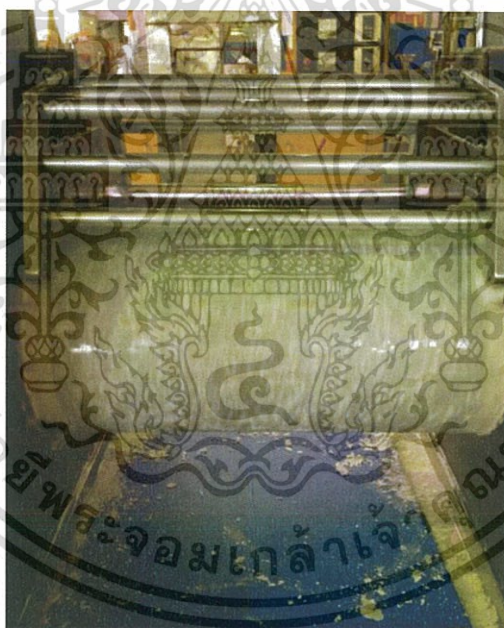
มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งพลาสติกและสารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 3.1
2. ทำการผสมพลาสติกและสารเคมีต่างๆ โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 8 นาที
3. นำส่วนผสมที่ได้มาขึ้นรูปเป็นแผ่น (Sheet) ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 5 นาที
4. นำแผ่น (Sheet) ไปอัดขึ้นรูป (Hydraulic press) ที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 4 นาที และทำการหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 18 °C เป็นเวลา 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สูตรของการขึ้นรูปพีวีซี (PVC) ที่ปริมาณอัตราส่วนที่แตกต่างกันของพลาสติกไฮเซออร์ DOP ต่อ MFAE

Materials	part per hundred of resin (phr)		
	control	1	2
PVC	100	100	100
DOP	25	20	15
ESBO	5	5	5
Ca-Zn stabilizer	2	2	2
MFAE	0	5	10



รูปที่ 3.2 การขึ้นรูปแผ่นพลาสติกพีวีซีด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์และการทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.1 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารแพตตีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE)

3.4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) ในช่วงเลขคลื่น 400 cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1} สำหรับการวิเคราะห์ โดยทำการหยดตัวอย่างจำนวน 1 หยด บน KBr cell แล้วใช้ KBr cell อีก 1 ชิ้นประกบทับแล้วนำไปใส่ในช่อง cell ของเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer)

3.4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ

ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี (Gas chromatography-Mass spectroscopy, GC-MS) โดยมีการเตรียมตัวอย่างและสภาวะการวิเคราะห์ [40,41] ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่าง

- เตรียมสารตัวอย่างจำนวน 1 มิลลิลิตร ละลายในสารละลาย n-hexane ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

2. สภาวะการวิเคราะห์

Column	HP-5 ขนาด 30 ม. x 0.25 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตร
Injection temperature	250 °C
Oven	200 °C ระยะเวลา 3 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 °C ด้วยอัตรา 50 °C/นาที เป็นระยะเวลา 20 นาที
Carrier gas	Helium
Carrier gas flow rate	1 mL/min constant flow rate
Solvent Delay	2.50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง

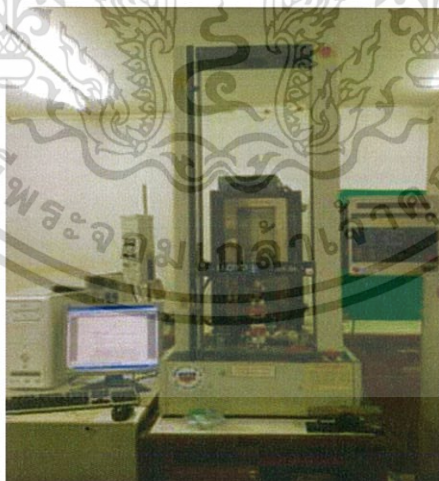
ใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) [42,43] โดยหยดสารตัวอย่าง 1-2 หยด ลงในสารละลายคลอโรฟอร์ม (Chloroform-d, CDCl_3) ปริมาตร 0.7 มิลลิลิตร ละลายสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วบรรจุสารตัวอย่างที่เตรียมได้ลงในหลอด NMR โดยให้ความสูงของสารตัวอย่างในหลอด NMR สูงประมาณ 3 - 5 ซม. จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer)

3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก

3.4.2.1 ทดสอบแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (ดังรูปที่ 3.3) เตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์ (Dumbell shape) กำหนดสภาวะเครื่องมือทดสอบ ดังนี้

ความเร็วในการดึง	50	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge length)	25	มิลลิเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5	ชิ้นงาน



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่ได้นำมาหาค่าต่างๆดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้เมื่อให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A$$

เมื่อ $F =$ แรงที่ใช้ในการดึง ณ สูงสุด (N)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (m^2)

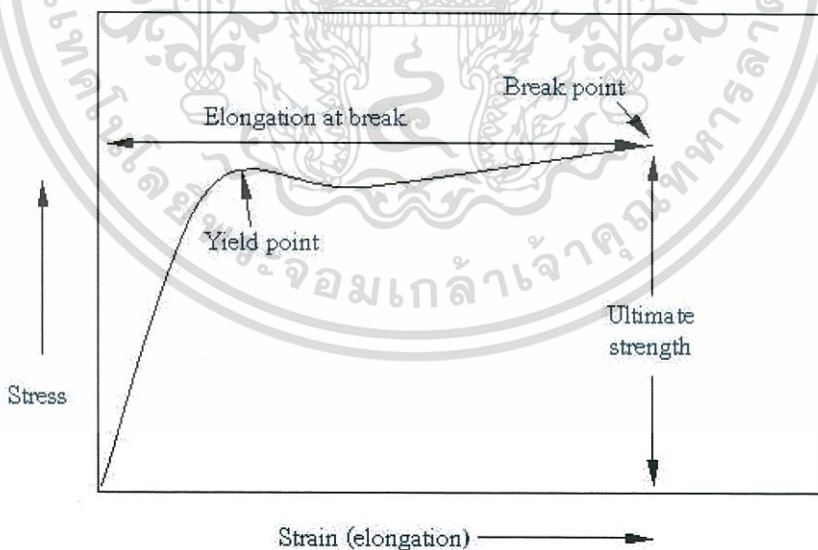
2. ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) หาได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละการยืด ณ จุดขาด} = (l - l_0)/l_0 \times 100$$

เมื่อ $l =$ ความยาวเกจสุดท้าย (mm)

$l_0 =$ ความยาวเกจเริ่มต้น (mm)

3. โมดูลัสของยัง (Young's modulus) เป็นค่าที่บอกความแข็งแรง สามารถหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียด (stress-strain curve) ที่ได้จากการดึงชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างกราฟความเค้น - ความเครียด (Stress-strain curve) [44]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 ทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

โดยนำแผ่นพลาสติก PVC ที่ได้จากการอัดขึ้นรูป มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ (Dead load hardness tester) ชนิด Shore D ดังรูปที่ 3.5 ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งอ่านค่าความแข็งกดได้โดยตรงจากเครื่อง จากการกดที่ตัวอย่างโดยการนำแผ่นพลาสติก PVC ที่เตรียมได้มาซ้อนกันให้หนาน้อย 6 mm ค่าความแข็งกดอ่านได้หลังจากกดเป็นระยะเวลา 5 วินาที ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 20 ครั้ง คือ 20 จุดในการกดต่อหนึ่งชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็งกด

3.4.2.3 การทดสอบการแพร่ออก (Bleeding)

การทดสอบ bleeding ใช้ตามมาตรฐาน ISO 177 ที่ปริมาณการแพร่ออก (Bleeding) ของสารเติมแต่งไม่ควรเกิน 0.45 กรัม โดยนำแผ่นพลาสติก PVC ที่เตรียมได้จากการอัดขึ้นรูปมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 เซนติเมตร โดยใช้สภาวะการทดลองดังนี้

น้ำหนักกดทับ	5	กิโลกรัม
อุณหภูมิ	70	°C
เวลา	24	ชั่วโมง

จากนั้นนำแผ่นพลาสติก PVC ที่ตัดแล้วมาชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักก่อนการกดทับ) และนำแผ่นพลาสติกดังกล่าวไปกดทับด้วยน้ำหนัก 5 กิโลกรัม พร้อมกับให้ความร้อน ณ อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ชั่งน้ำหนักของแผ่นพลาสติกที่เย็นตัวลงแล้ว (น้ำหนักหลังการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กตัทับ) โดยค่าการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์ในพีวีซีหาได้จาก ผลต่างระหว่างน้ำหนักก่อนการกตัทับกับน้ำหนักหลังการกตัทับ ซึ่งค่าการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์ไม่ควรเกิน 0.45 กรัม ตามมาตรฐานการทดสอบ (ISO 177)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารแพตต์แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือ FAE เพื่อใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพในพีวีซี โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของ FAE ด้วยกรดโอเลอิก (Oleic acid) โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) และได้สารผลิตภัณฑ์ คือ FAE ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือเรียกว่า MFAE

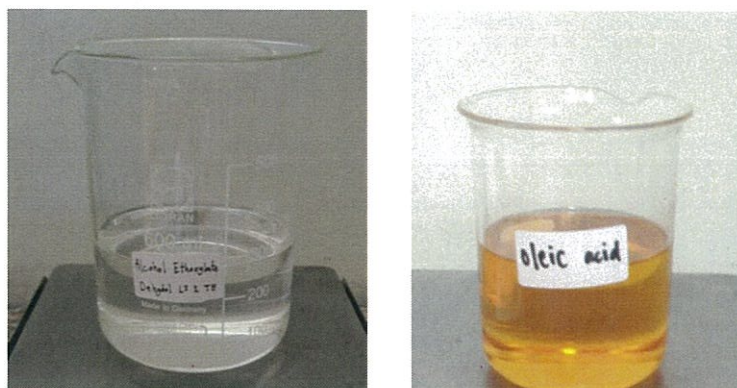
ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณอัตราส่วนระหว่างพลาสติกไซเซอร์เชิงพาณิชย์ คือ DOP กับสารพลาสติกไซเซอร์ที่สังเคราะห์ได้ คือ MFAE ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ได้แก่ 25:0, 20:5 และ 15:10 phr แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปได้ เช่น สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และการแพร่ออก (Bleeding) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อพีวีซีในแต่ละอัตราส่วน

4.1 ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสารแพตต์แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH (Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, FAE)

ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสาร FAE ที่มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและเป็นสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ มาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ โดยมีกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก โมโนไฮเดรตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ณ สภาวะอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสารแพตต์แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE)

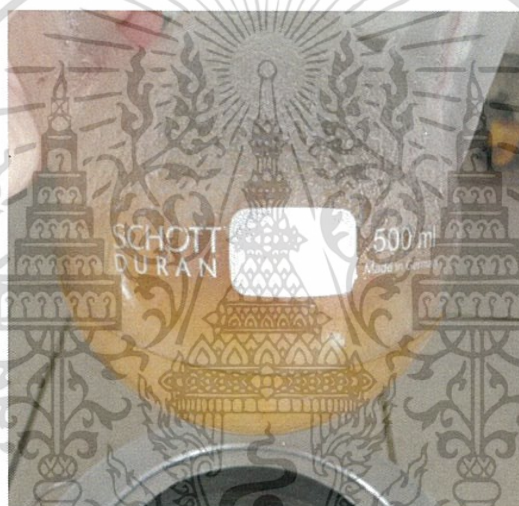
จากสภาวะการทำปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่า สารที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นสารละลายสีส้ม-เหลือง ที่มีตะกอนสีขาวขุ่นปะปนอยู่ ดังรูปที่ 4.2



FAE

กรดโอเลอิก

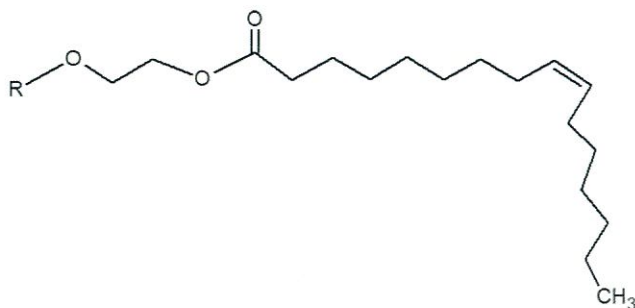
รูปที่ 4.1 สารตั้งต้นของ MFAE ที่ใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ชีวภาพโดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน



รูปที่ 4.2 สารที่สังเคราะห์ได้หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 พบว่าสารที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะแตกต่างจากสารตั้งต้น สาเหตุน่าจะมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง FAE กับกรดโอเลอิก แล้วได้สารประกอบประเภทเอสเทอร์ที่มีโครงสร้างใหญ่ขึ้นและใหญ่กว่าสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสารบางส่วนที่ไม่สามารถละลายในสารตั้งต้นที่หลงเหลืออยู่ได้อย่างสมบูรณ์ และไม่ใช่น้ำเหมือนกัน และจากรูปสูตรโครงสร้างของสารพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์คาร์บอนิลและอีเทอร์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วและสามารถละลายได้ในน้ำ แต่ภายในสูตรโครงสร้างของสารดังกล่าวยังประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่ไม่มีขั้วและไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าสารผลิตภัณฑ์มีความกำกวมระหว่างการเป็นสารที่มีขั้วและไม่ขั้ว จนทำให้เกิดเป็นตะกอนสีขาวที่แยกตัวออกมาอย่างชัดเจน

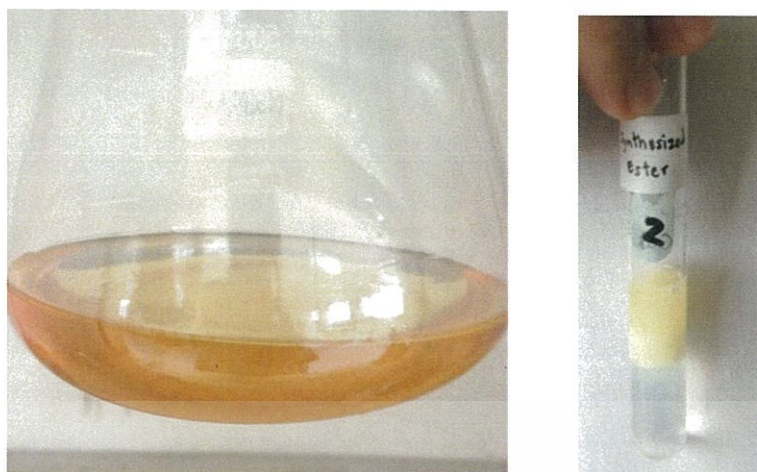
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สูตรโครงสร้างของสารแปดตัวแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว หรือ MFAE ที่ได้คาดการณ์ไว้

จากนั้นดำเนินการนำสารที่สังเคราะห์ได้หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้วไปทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 30 พร้อมกับแยกชั้นน้ำออกจากชั้นสารอินทรีย์ แล้วนำชั้นสารอินทรีย์ที่สกัดได้ไปกำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ด้วยโซเดียมซัลเฟต และทำการกรองโซเดียมซัลเฟตที่อิมตัวไปด้วยน้ำออกจากสารอินทรีย์ จนได้สารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายหรือสาร MFAE ดังรูปที่ 4.4 พบว่าสารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับกรดโอเลอิก หรือน้ำมันพืชต่างๆ ไป เช่น มีสีส้ม-เหลือง หนืดคล้ายน้ำมัน และไม่ละลายน้ำ เนื่องจากสารตั้งต้นที่สำคัญ เช่น กรดโอเลอิกเป็นสารประกอบพวกกรดไขมันอิสระ อีกทั้งสาร FAE ยังเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปลายที่มีวัตถุดิบตั้งต้นเป็นเมล็ดปาล์มอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายไม่มีตะกอนสีขาวปะปนอยู่ด้วยซึ่งแตกต่างกับสารที่สังเคราะห์ได้หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาทันที โดยสาเหตุน่าจะมาจากการสกัดล้างสารให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งโซเดียมคลอไรด์มีความสามารถในการแตกตัวให้อิออน (Na^+ , Cl^-) และอิออนดังกล่าวสามารถเข้าไปจับกับประจุตรงข้ามกับสารที่ปะปนอยู่รวมกันอยู่ของ MFAE ได้ ทำให้สามารถสกัดแยกชั้นน้ำและชั้นสารอินทรีย์ออกจากกันได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้ตะกอนสีขาวที่ปะปนอยู่หายไปเนื่องจากสารที่สังเคราะห์ได้หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาถูกสกัดแยกส่วนที่มีขี้วและไม่มีขี้วออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4.4 สารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายหรือ MFAE (ซ้าย) และสมบัติการละลายน้ำของ MFAE (ขวา)

4.1.2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงและค่าไอโอดีน (%Conversion and Iodine Value)

ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%Conversion) เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของสารที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของสาร FAE ด้วยกรดโอเลอิกโดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันนั้น ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสามารถคำนวณได้จากค่าความเป็นกรด (Acid value) ของกรดโอเลอิกและสารผลิตภัณฑ์ ได้ดังสมการ [37] ต่อไปนี้

$$\% \text{Conversion} = \frac{\text{Acid Value of Oleic acid} - \text{Acid Value of Product}}{\text{Acid Value of Oleic acid}} \times 100$$

เมื่อ Acid Value of Product คือ Acid Value of MFAE

ส่วนค่าไอโอดีน (Iodine Value) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีองค์ประกอบของพันธะคู่หรือพันธะสาม ซึ่งเป็นพันธะที่เกิดการเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อกรดไขมันดังกล่าวเจอความร้อนหรือแสง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้กรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ตรงคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 9) เป็นสารตั้งต้น และมีการให้ความร้อนสูงถึง 100 °C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในการดำเนินปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบค่าไอโอดีนของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ เพื่อพิสูจน์ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาส่งผลต่อพันธะคู่ของกรดโอเลอิกมากน้อยเพียงใด โดยผลการทดสอบค่าความเป็นกรดและค่าไอโอดีนของกรดโอเลอิกและสาร MFAE ให้ผลตามตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด (Acid Value) และค่าไอโอดีน (Iodine Value) ของกรดโอเลอิกและสาร MFAE

สาร	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g) (Acid Value)	ค่าไอโอดีน (Wijs) (Iodine Value)
กรดโอเลอิก (สารตั้งต้น)	202.07	93.26
MFAE (สารผลิตภัณฑ์)	1.55	46.17

*หมายเหตุ

ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ตรวจวัดด้วยวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 660 : 1996

ค่าไอโอดีน (Iodine Value) ตรวจวัดด้วยวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOCS Cd 1b-87 (1997)

จากข้อมูลใน ตารางที่ 4.1 และสมการการคำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลง จะได้ว่า

$$\% \text{Conversion} = \frac{202.07 - 1.55}{202.07} \times 100 = 99.23\%$$

จากการคำนวณพบว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเท่ากับร้อยละ 99.2 ซึ่งถือว่ามี การเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้น (กรดโอเลอิก) ไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ (MFAE) ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง แต่ ยังหลงเหลือสารตั้งต้น (กรดโอเลอิก) ปะปนอยู่กับสารผลิตภัณฑ์อยู่บ้างเล็กน้อย อย่างไรก็ตามยังมี สารตั้งต้นอีกชนิดหนึ่ง คือ FAE ที่ไม่ได้นำมาคำนวณหาร้อยละการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสารชนิดนี้มี ค่าความเป็นกรดเท่ากับศูนย์ จึงทำให้ยากต่อการตรวจวิเคราะห์ด้วยค่าความเป็นกรด และยังไม่ สามารถแยกออกจากสารผลิตภัณฑ์ได้ หรือแยกออกได้ค่อนข้างยากเนื่องจาก FAE เกรด Dehydol[®] LS 1 TH เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุหรือไม่มีขั้ว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับสารผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีจุดเดือดสูงถึง 160 °C โดยสภาวะ อุณหภูมิดังกล่าวเป็นสภาวะที่พันธะคู่ของสารผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสลายอย่างสมบูรณ์ [37] และ จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย คณะผู้วิจัยได้ใช้สารตั้งต้นชนิดนี้ในอัตราส่วนโดยโมลมากกว่ากรด โอเลอิกถึง 2 เท่า ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่าสารผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นสารผสมและมีสารตั้งต้น ชนิด FAE เกรด Dehydol[®] LS 1 TH ที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาปะปนอยู่ในปริมาณที่มากและอาจจะมี มากกว่าปริมาณของกรดโอเลอิกที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาอีกด้วย

นอกจากนี้จากข้อมูลใน ตารางที่ 4.1 พบว่าค่าไอโอดีนของสารผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าค่า ไอโอดีนของสารตั้งต้น นั้นแสดงให้เห็นว่า ณ สภาวะในการดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 °C เป็น ระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีผลต่อการเสื่อมสลายของพันธะคู่ภายในโมเลกุลของกรดโอเลอิก โดยผลต่าง ของค่าไอโอดีน สามารถคำนวณได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Iodine Value} = 93.26 - 46.17 = 47.09$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ พบว่าผลต่างของค่าไอโอดีนระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 47.09 เมื่อคำนวณเป็นร้อยละเทียบกับค่าไอโอดีนของสารตั้งต้นแล้ว พบว่าผลต่างดังกล่าวมีค่าสูงถึงร้อยละ 50.5 หรือเป็นครึ่งหนึ่งของค่าไอโอดีนของสารตั้งต้น แสดงว่า ณ สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีผลต่อการเสื่อมสลายของพันธะคู่ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามถ้าคณะผู้วิจัยใช้สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาที่สภาวะอุณหภูมิต่ำลงและเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาน้อยลง ก็อาจเป็นไปได้ว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อาจจะมีค่าที่น้อยลงไปด้วย เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาการป้อนกวนสารที่นานจะส่งผลดีต่อโอกาสของการเข้าทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดได้มากยิ่งขึ้น

4.1.3 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารแพตตีแอลกอฮอล์อีโอกไซด์ทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE)

4.1.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) ในช่วงเลขคลื่น 400 cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1} โดยผลสเปกตรัมของสารผสมระหว่างสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด (FAE และกรดโอเลอิก) ให้ผลดังรูปที่ 4.5 และผลสเปกตรัมของสารผลิตภัณฑ์หรือสาร MFAE ให้ผลดังรูปที่ 4.6

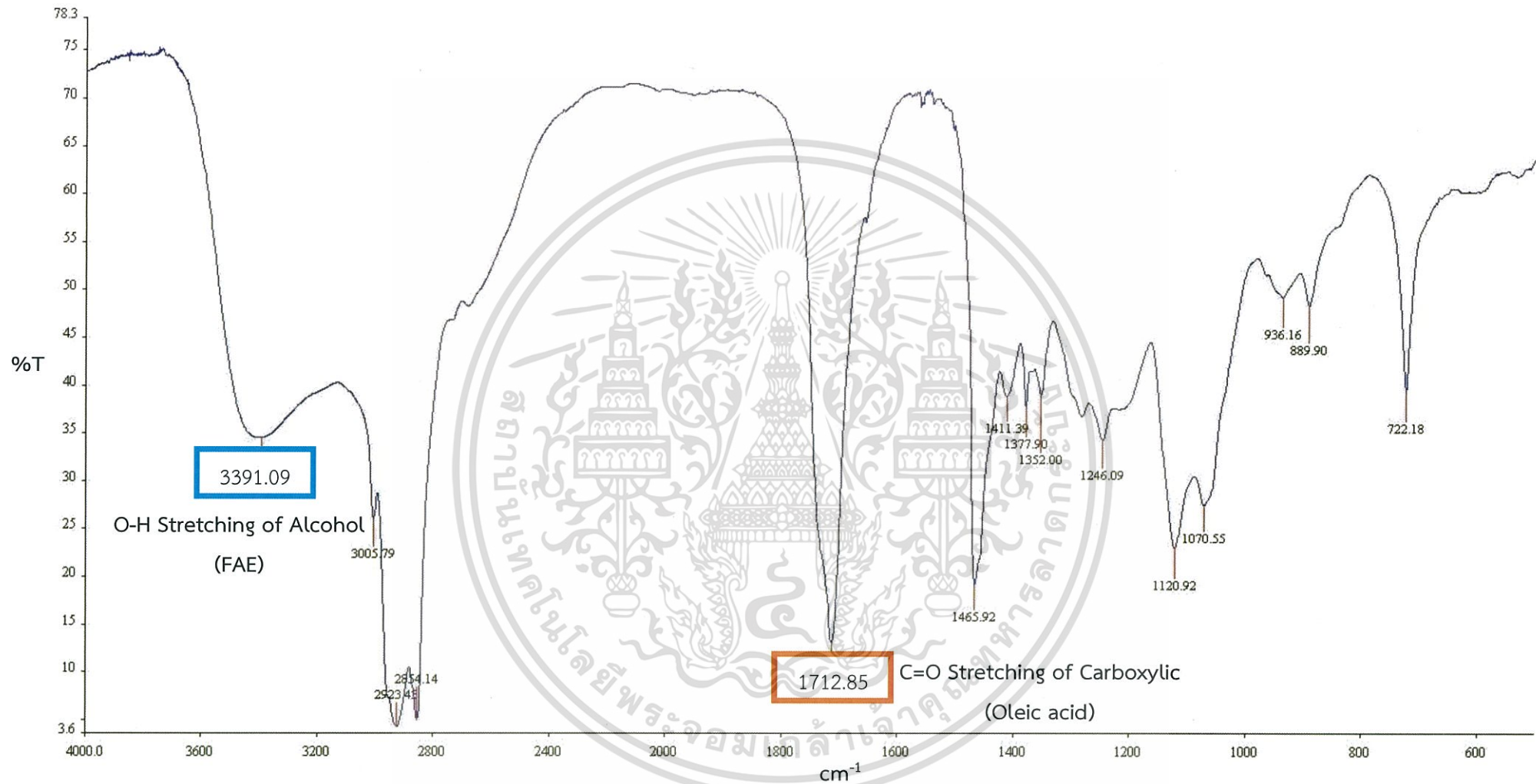
จากรูปที่ 4.5 พบว่าสเปกตรัม ณ เลขคลื่น 1713 cm^{-1} เป็นสเปกตรัมที่มีความเด่นชัดและเป็นช่วงการสั่นของพันธะ C=O ของสารประกอบประเภทกรดอินทรีย์หรือสารที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (C=O Stretching of Carboxylic acid) จากชนิดของสารตั้งต้น สามารถอธิบายได้ว่า ณ เลขคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงการสั่นของพันธะ C=O ภายในโครงสร้างของกรดโอเลอิกที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ไปตรวจวิเคราะห์ และได้ผลดังรูปที่ 4.6 พบว่าสเปกตรัม ณ เลขคลื่นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของสารตั้งต้นนั้น แสดงว่าพันธะ ณ บริเวณต่างๆ ของสารผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญไปจากสารตั้งต้น ยกเว้นแต่สเปกตรัม ณ เลขคลื่นที่ 1713 cm^{-1} ภายในสารผลิตภัณฑ์ได้หายไป แต่มีสเปกตรัม ณ เลขคลื่น 1740 cm^{-1} ปรากฏขึ้นมาแทน โดยสามารถวิเคราะห์ได้ว่าช่วงการสั่นของพันธะ C=O ภายในสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นหมู่ฟังก์ชันอื่นที่มีความคล้ายคลึงกับหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกหรือเป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกก็เป็นได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [37] ที่กล่าวไว้ว่า สเปกตรัมของช่วงการสั่นของพันธะ C=O ของกรดโอเลอิกอยู่บริเวณเลขคลื่น 1709 cm^{-1} แต่เมื่อกรดโอเลอิกถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์แล้ว สเปกตรัมของช่วงการสั่นของพันธะ C=O ของสารประกอบประเภทเอสเทอร์อยู่บริเวณเลขคลื่น 1739 cm^{-1} จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารตั้งต้นเดิมที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

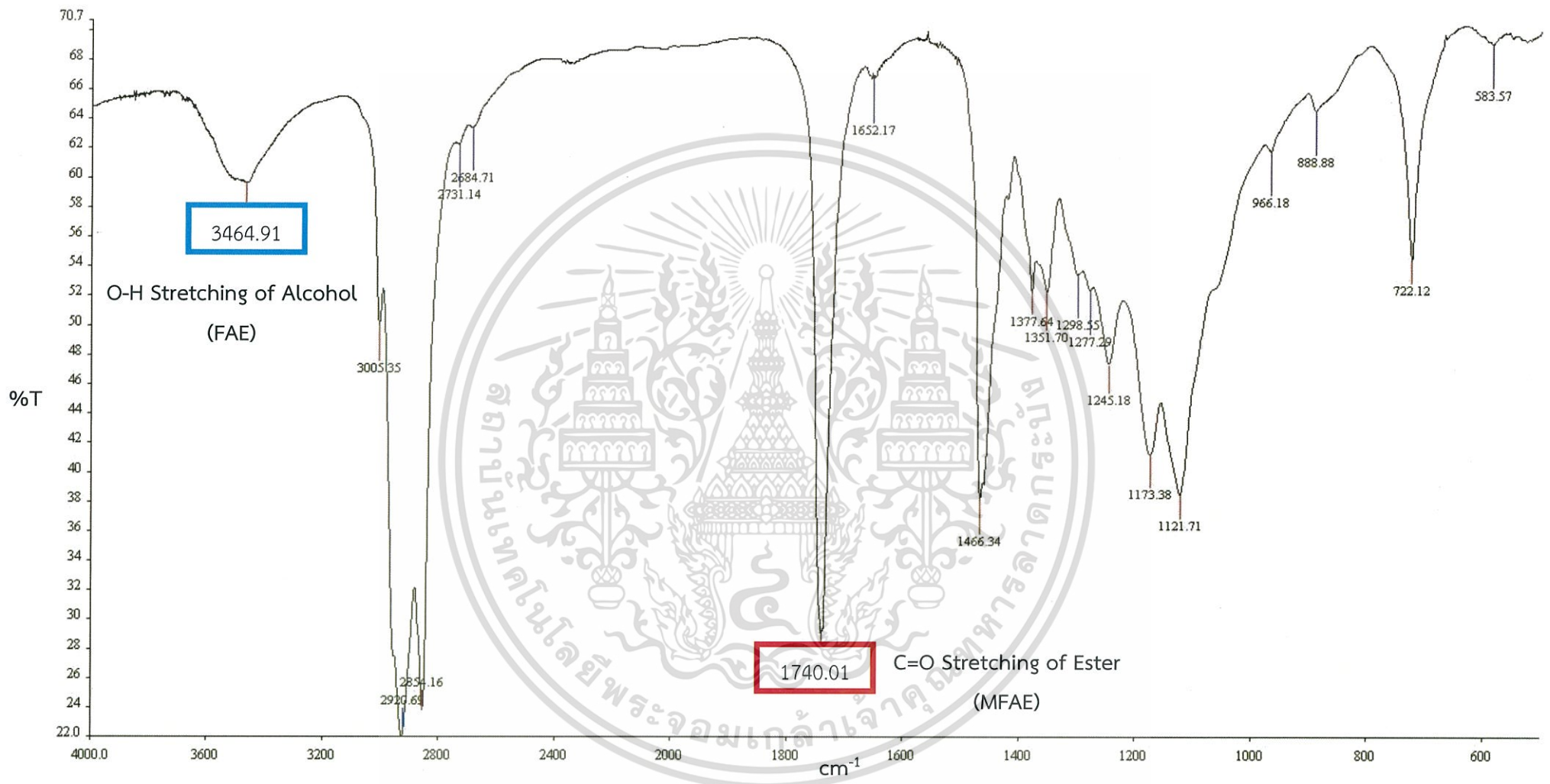
นอกจากนี้ จากรูป 4.5 พบว่าสเปกตรัม ณ ช่วงเลขคลื่น $3300 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ เป็นสเปกตรัมที่มีความกว้างมาก ซึ่งเป็นช่วงการสั่นของพันธะ O-H ของสารประเภทแอลกอฮอล์ (O-H Stretching of Alcohol) และเมื่อมาดูผลสเปกตรัมของสารผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 4.6 พบว่าสเปกตรัม ณ ช่วงเลขคลื่นดังกล่าวมีความกว้างน้อยลงแต่ก็ยังหลงเหลือสเปกตรัมอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถอธิบายและยืนยันการคาดการณ์ของคณะผู้วิจัยได้ว่า สารตั้งต้นชนิด FAE ที่เป็นสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน O-H ได้เข้าทำปฏิกิริยากลายเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์เพียงบางส่วน และยังมีส่วนที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาหลงเหลือปะปนอยู่กับสารผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สเปกตรัม FT-IR ของสารผสมระหว่างสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 4.6 สเปกตรัม FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ หรือ MFAE

4.1.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ของ MFAE ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี (Gas chromatography - Mass spectroscopy, GC-MS) โดยผลของการวิเคราะห์ให้ผลดังรูปที่ 4.7 ในที่นี้จะกล่าวถึงสารที่สำคัญ 3 สาร ได้แก่ สาร ก., สาร ข. และ สาร ค. โดยสารทั้งสามมีพื้นที่ใต้กราฟหรือมีปริมาณสารมากที่สุดจากปริมาณสารทั้งหมด โดยแสดงเป็นร้อยละ 43.5, 13.4 และ 14.7 ตามลำดับ

สาร ก. เมื่อนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียดจะได้ผลดังรูปที่ 4.8 จากรูปดังกล่าวสาร ก. มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับสารที่มีชื่อ Hexadecyl ester ตามข้อมูลอ้างอิงของเครื่อง GC-MS ถึงร้อยละ 95 แต่สาร ก. มีมวลโมเลกุลประจุ (Molecular ion) อยู่ที่ 450 มวลต่อประจุ ส่วนสาร Hexadecyl ester มีมวลโมเลกุลประจุอยู่ที่ 506 มวลต่อประจุ แสดงว่าสารทั้งสองไม่ใช่สารที่มีโครงสร้างเหมือนกันทุกประการ เมื่อคณะผู้วิจัยนำผลที่ได้มาพิจารณา คาดว่าสาร ก. มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.9 โดยมีจำนวนคาร์บอนอะตอมทางฝั่งของแอลกอฮอล์เท่ากับ 12 อะตอม ต่างจากสาร Hexadecyl ester ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมทางฝั่งของแอลกอฮอล์ 16 อะตอม ส่วนในฝั่งของกรด จะเห็นว่าโครงสร้างของสาร ก. และ Hexadecyl ester มีลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากพีกที่มีความเสถียรมากที่สุด (Base peak) ณ 264 มวลต่อประจุ ที่ปรากฏขึ้นในสารทั้งสองชนิด

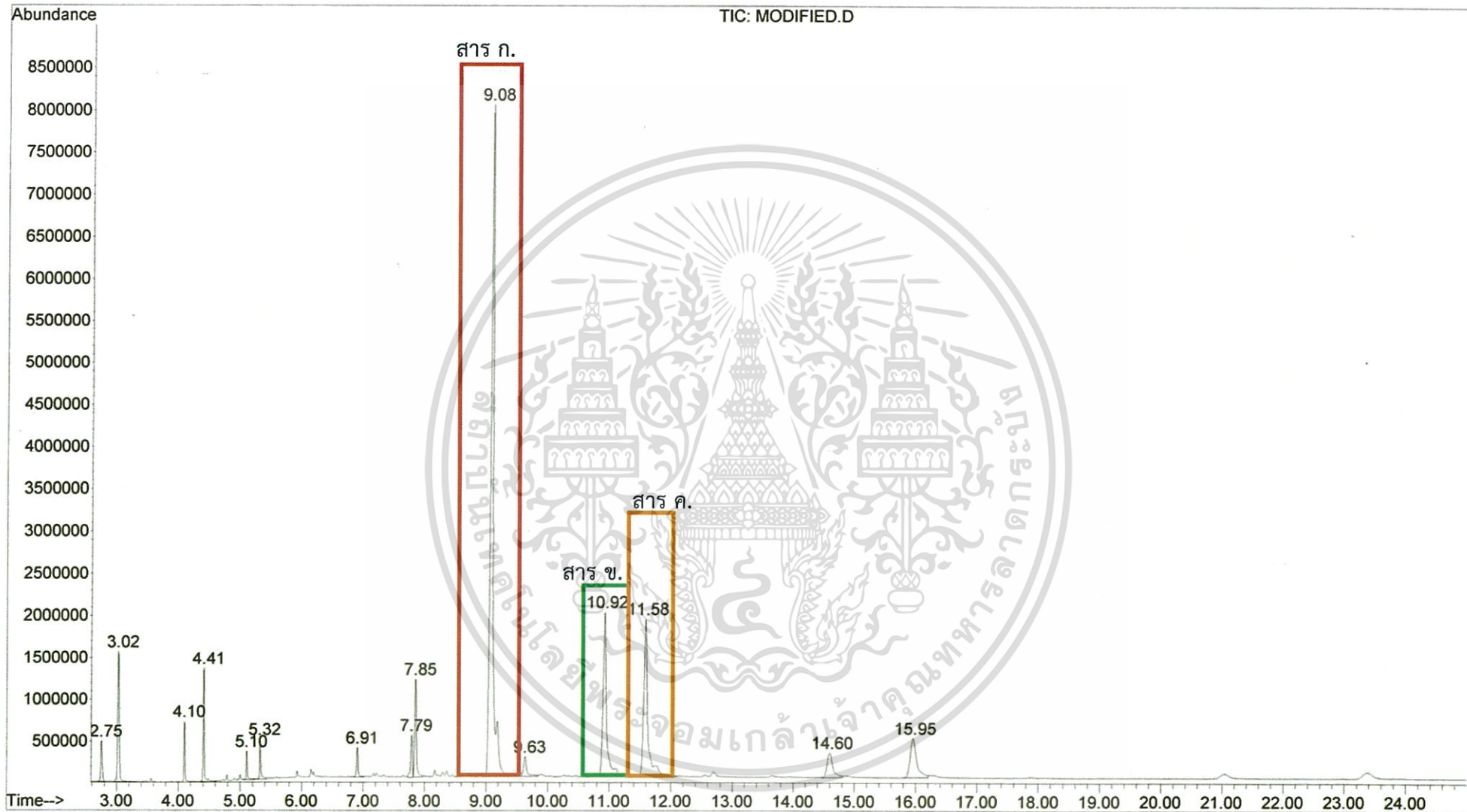
สาร ข. เมื่อนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียดจะได้ผลดังรูปที่ 4.10 จากรูปดังกล่าวสาร ข. มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับสารที่มีชื่อว่า Tetradecyl ester ตามข้อมูลอ้างอิงของเครื่อง GC-MS ถึงร้อยละ 97 โดยสาร ข. มีมวลโมเลกุลประจุอยู่ที่ 478 มวลต่อประจุ เหมือนกับสาร Tetradecyl ester ที่มีมวลโมเลกุลประจุ 478 มวลต่อประจุเช่นกัน นอกจากนั้นสารทั้งสองชนิดยังมีพีกของประจุที่มีการแตกตัว (Fragment ion) ในแต่ละมวลต่อประจุที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก อีกทั้งโครงสร้างในฝั่งของกรดของสาร ข. และ Tetradecyl ester มีลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากพีกที่มีความเสถียรมากที่สุด ณ 264 มวลต่อประจุ ที่ปรากฏขึ้นในสารทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าสารทั้งสองมีโครงสร้างที่คล้ายกันมากหรืออาจจะกล่าวได้ว่าสารทั้งสองชนิดมีโครงสร้างที่เหมือนกันและเป็นสารเดียวกัน โดยสารทั้ง 2 มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.10

สาร ค. เมื่อนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียดจะได้ผลดังรูปที่ 4.11 จากรูปดังกล่าวสาร ค. มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับสารที่มีชื่อ 3-Hydroxypropyl ester ตามข้อมูลอ้างอิงของเครื่อง GC-MS เพียงร้อยละ 58 และสาร ค. มีมวลโมเลกุลประจุ (Molecular ion) อยู่ที่ 494 มวลต่อประจุ ส่วนสาร 3-Hydroxypropyl ester มีมวลโมเลกุลประจุอยู่ที่ 340 มวลต่อประจุ แสดงว่าสารทั้งสองมีโครงสร้างแตกต่างกัน อีกทั้งโครงสร้างในฝั่งของกรดของสาร ค. และ 3-Hydroxypropyl ester มีลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากพีกที่มีความเสถียรมากที่สุด ณ 264 มวลต่อประจุ ที่ปรากฏขึ้นในสารทั้งสองชนิด แต่อย่างไรก็ตาม สาร ค. น่าจะมีสูตรโครงสร้างเป็นแบบซิส

(cis) ณ ตำแหน่งพันธะคู่ เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้เป็นกรดโอเลอิกที่มีโครงสร้างแบบซิส (cis) แต่สาร 3-Hydroxypropyl ester มีโครงสร้างตรงตำแหน่งพันธะคู่เป็นแบบทรานส์ (trans) เมื่อคณะผู้วิจัยนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ คาดว่าสาร ค. มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.12 โดยสาร ค. มีโครงสร้างของฝั่งแอลกอฮอล์เป็นหมู่เอทอกซี (Ethoxy, R-O-CH₂-CH₂-) และหมู่ R เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากับ 12 อะตอม ต่างจากโครงสร้างสาร 3-Hydroxypropyl ester ที่มีโครงสร้างของฝั่งแอลกอฮอล์เป็นหมู่ ไฮดรอกซิล (-OH) ส่วนในฝั่งของกรดจะเห็นว่าโครงสร้างของสารทั้งสองมีโครงสร้างที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากพีคที่มีความเสถียรมากที่สุด (Base peak) ณ 264 มวลต่อประจุ ที่ปรากฏทั้งในสาร ก. และ 3-Hydroxypropyl ester ซึ่งจากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าโครงสร้างของสาร ค. มีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นโครงสร้างของ MFAE ที่คาดการณ์ไว้ ส่วนสารอื่นๆ ที่ปรากฏขึ้นในรูปที่ 4.7 คาดว่าน่าจะเป็นสารผสมจากกรดโอเลอิก เนื่องจากกรดโอเลอิกที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีความบริสุทธิ์เพียงร้อยละ 68 และมีความเป็นไปได้ว่าสารอื่นๆ เหล่านั้นอาจเป็นทั้งกรดโอเลอิกและ FAE ที่หลงเหลืออยู่และไม่เข้าทำปฏิกิริยา

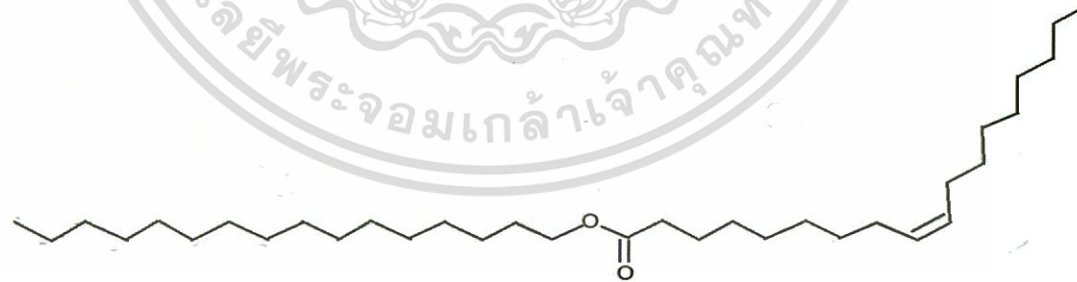
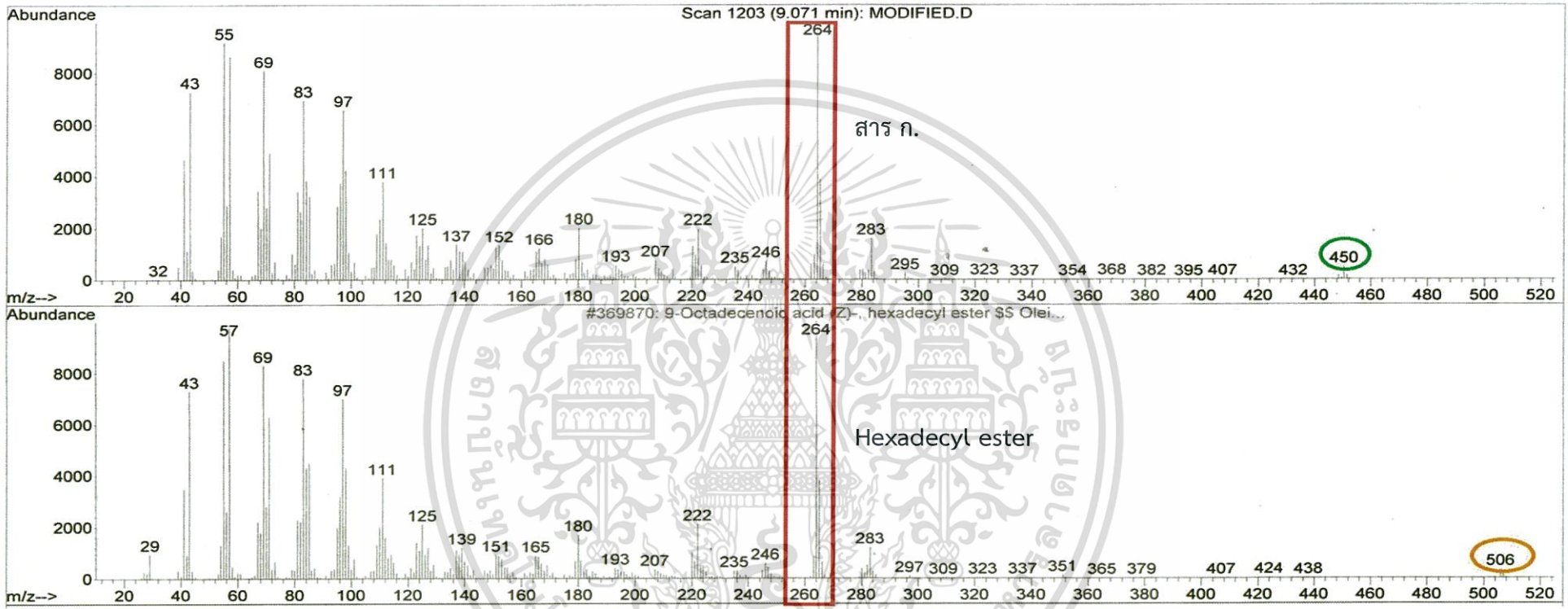
จากการวิเคราะห์ผลของ GC-MS สามารถอธิบายได้ว่าสาร MFAE เป็นสารผสม โดยปริมาณของสารที่มีมากที่สุด คือ สาร ก. และสาร ข. ตามลำดับ สาเหตุที่สาร ก. และสาร ข. มีปริมาณมากเนื่องมาจากสารตั้งต้นชนิด FAE มีแอลกอฮอล์อิสระปะปนอยู่มากกว่าร้อยละ 40 ทำให้สาร MFAE ที่ได้ มีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากแอลกอฮอล์อิสระเหล่านั้นในปริมาณที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากแอลกอฮอล์เอทอกซีเลต นอกจากนี้สารทั้ง 3 ชนิด ยังมีโครงสร้างของทางฝั่งกรดเหมือนกัน โดยสามารถยืนยันได้จากข้อมูลของ Mass Spectrum ของสาร ก. สาร ข. และสาร ค. ที่ปรากฏพีคที่มีความเสถียรมากที่สุดที่ 264 มวลต่อประจุ ดังรูปที่ 4.8, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS

Library Searched : C:\Database\wiley7n.l
 Quality : 95
 ID : 9-Octadecenoic acid (Z)-, hexadecyl ester \$\$ Oleic acid, hexadecyl ester \$\$ Cetyl oleate \$\$ Hexadecyl oleate \$\$ Palmityl oleate



รูปที่ 4.8 Mass Spectrum ของสาร ก. และ Hexadecyl ester

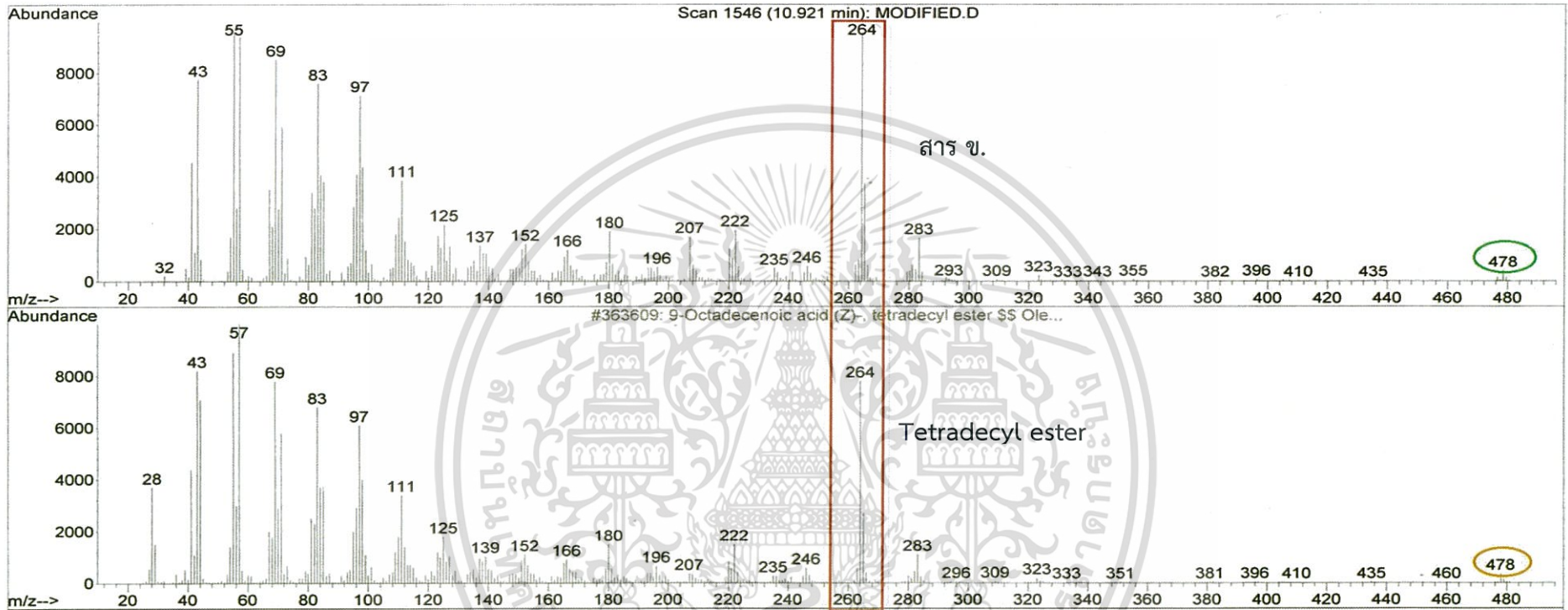


สาร ก.

Hexadecyl ester

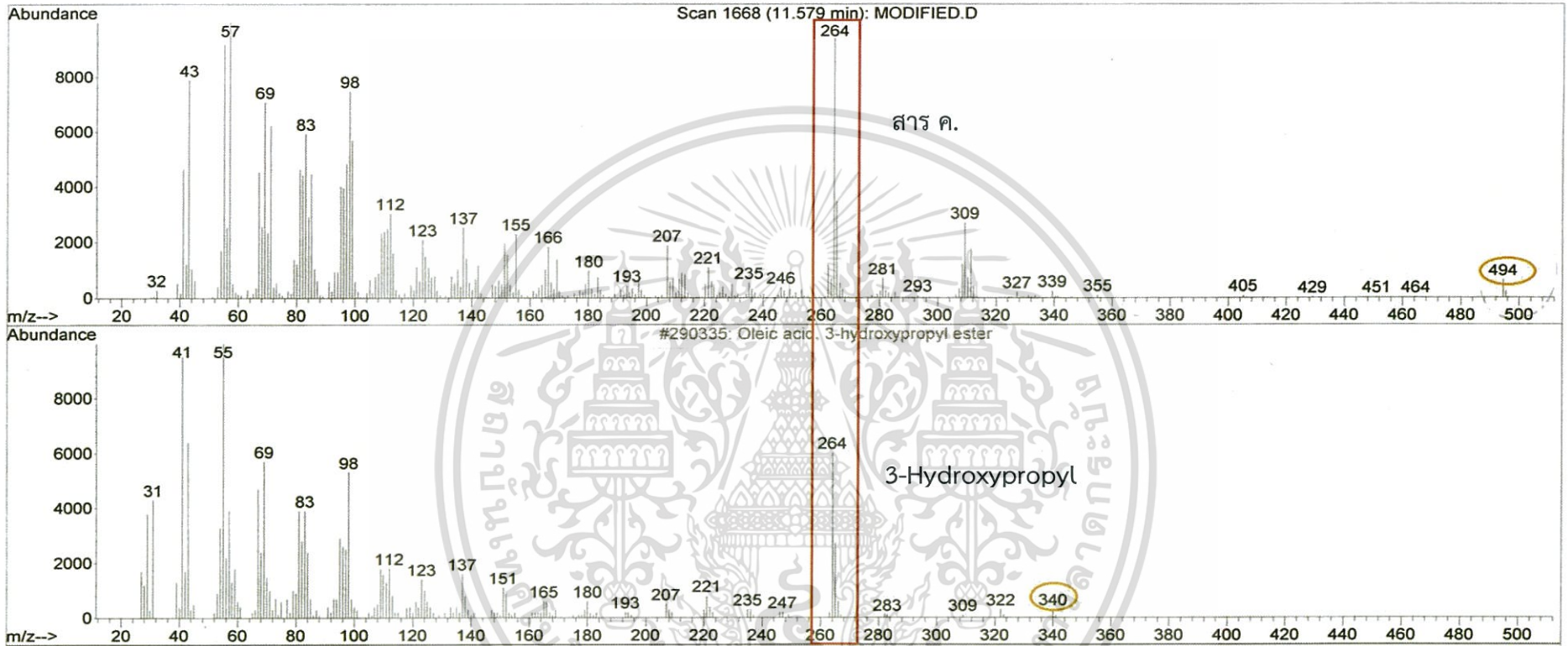
รูปที่ 4.9 สูตรโครงสร้างของสาร ก. และ Hexadecyl ester

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
 Quality : 97
 ID : 9-Octadecenoic acid (Z)-, tetradecyl ester \$\$ Oleic acid, tetradecyl ester

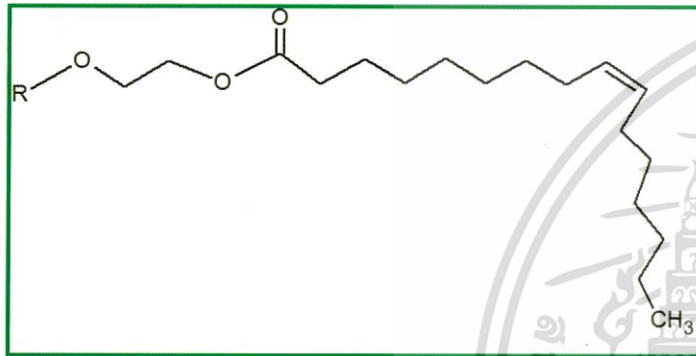


รูปที่ 4.10 Mass Spectrum ของสาร ข. และ Tetradecyl ester

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 58
ID : Oleic acid, 3-hydroxypropyl ester



รูปที่ 4.11 Mass Spectrum ของสาร ค. และ 3-Hydroxypropyl



สาร ค.



3-Hydroxypropyl

รูปที่ 4.12 สูตรโครงสร้างของสาร ค. และ 3-Hydroxypropyl

4.1.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างของสาร MFAE คณะผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) โดยผลการวิเคราะห์ให้ผลดังรูปที่ 4.13 และจากสูตรโครงสร้างของ MFAE ที่ได้คาดการณ์ไว้ดังรูปที่ 4.3 หรือ $R-O-CH_2-CH_2-COOR'$ โดยที่หมู่ R คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวสายยาวของฝั่งแอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม และ R' คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวทางฝั่งของกรด ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และมีตำแหน่งพันธะคู่แบบซิสอยู่ 1 ตำแหน่ง ณ คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 9 (cis-9:1) สามารถอภิปรายได้ว่า ตรงตำแหน่ง $R-O-CH_2-\underline{CH_2}-COOR'$ ให้ spectrum ของ H^1 NMR แบบ triplet ขึ้นที่บริเวณ 4.23 ppm แต่เนื่องจากสาร MFAE เป็นสารผสมและเป็นไปได้ว่าอาจมีสารที่มีโครงสร้างคล้ายกันปะปนอยู่ด้วย จึงทำให้สารเกิด spectrum ทับซ้อนกัน ณ บริเวณดังกล่าว จนเกิด spectrum แบบ Multiplet ขึ้น และจากผลของ GC-MS จะเห็นว่ามีสารที่มีสูตรโครงสร้าง $R-CH_2-CH_2-COOR'$ ปะปนอยู่ในปริมาณมาก เนื่องจากสารตั้งต้น FAE มีแอลกอฮอล์อิสระปะปนอยู่มากกว่าร้อยละ 40 จึงทำให้เกิดสารที่มีโครงสร้างแบบ $R-CH_2-CH_2-COOR'$ ขึ้น โดยตรงตำแหน่ง $R-CH_2-\underline{CH_2}-COOR'$ ให้ผล spectrum แบบ triplet ขึ้นที่บริเวณ 4.05 ppm ซึ่งผลการอินทิเกรตพื้นที่ได้กราฟในช่วง 4.05 - 4.23 ppm มีค่าเท่ากับ 0.86 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัวของโครงสร้างแบบ $R-O-CH_2-\underline{CH_2}-COOR'$ หรือ $R-CH_2-\underline{CH_2}-COOR'$ มีค่าประมาณ 0.43 และเมื่อพิจารณาโปรตอน ณ ตำแหน่ง $CH_3-(CH_2)_{10}-\underline{CH_2}-O-CH_2-CH_2-COOR'$ ของโครงสร้างดังกล่าว คาดว่าเกิด spectrum แบบ triplet ขึ้นในช่วง 3.4 - 3.8 ppm แต่จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าในช่วงดังกล่าวเกิด spectrum แบบ multiplet ที่มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก โดยสาเหตุอาจจะมาจากการเกิดสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน เช่น $CH_3-(CH_2)_x-CH_2-O-CH_2-CH_2-COOR'$ ปะปนอยู่ อีกทั้งมีความเป็นไปได้ว่ายังเหลือสารตั้งต้น FAE ที่มีโครงสร้างเป็นแบบแพตตีแอลกอฮอล์โทกซีเลต ($CH_3-(CH_2)_x-CH_2-O-CH_2-CH_2-OH$) และมีโครงสร้างแบบแอลกอฮอล์อิสระ ($CH_3-(CH_2)_x-OH$) ปะปนรวมอยู่ด้วย

ณ โครงสร้างตรงตำแหน่ง $R-O-(CH_2)_2-O-C=O-\underline{CH_2}-(CH_2)_6-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$ ทำให้เกิด spectrum ของ H^1 NMR แบบ triplet ขึ้นบริเวณ 2.30 - 2.40 ppm และจากเหตุผลที่ว่า MFAE เป็นสารผสมที่มีโครงสร้างแบบ $R-(CH_2)_2-O-C=O-\underline{CH_2}-(CH_2)_6-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$ ปะปนอยู่ในปริมาณมาก ส่งผลให้ผล spectrum ณ บริเวณช่วงเลขคลื่นดังกล่าวเกิดการทับซ้อนกันด้วย spectrum แบบ triplet หลาย spectrum จนทำให้เกิด spectrum แบบ multiplet ขึ้น และผลการอินทิเกรตพื้นที่ได้กราฟในช่วง 2.30 - 2.40 ppm มีค่าเท่ากับ 0.87 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัวของ ณ ตำแหน่งดังกล่าวของโครงสร้าง $R-O-(CH_2)_2-O-C=O-\underline{CH_2}-(CH_2)_6-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$ หรือ $R-(CH_2)_2-O-C=O-\underline{CH_2}-(CH_2)_6-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$ มีค่าประมาณ 0.44 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของโปรตอนใน spectrum ช่วง 4.05 - 4.23 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณา ณ ตำแหน่งของโครงสร้าง $\text{RCOO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH}_3$ ในฝั่งของกรด และตำแหน่งของโครงสร้าง $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_9\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOR}'$ ในฝั่งของแอลกอฮอล์ ตามโครงสร้างของ MFAE ที่คาดการณ์ไว้ ผู้วิจัยคาดว่า spectrum ที่ได้ควรเป็นแบบ multiplet ที่อยู่ในช่วง 1.50 - 1.70 ppm โดยจากผลการตรวจวัดดังรูปที่ 4.13 พบว่า spectrum ที่เป็นแบบ multiplet เช่นเดียวกับข้อสันนิษฐาน และค่าจากการอินทิเกรตพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ 2.06 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัว ณ ตำแหน่งดังกล่าวมีค่าประมาณ 0.52 ซึ่งมีค่าต่างจากโปรตอนที่อยู่ใกล้หมู่แอลกอฮอล์คาร์บอนิลที่มีค่าประมาณ 0.43 - 0.44 โดยผลต่างที่เกิดขึ้นคาดว่ามาจากเกิดจาก spectrum ของโปรตอน ณ ตำแหน่ง $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_x\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ ของสารแพตตี แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต และ ณ ตำแหน่งของ $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_x\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ ของสารที่เป็นแอลกอฮอล์อิสระที่หลงเหลือจากสารตั้งต้นปะปนอยู่

ส่วนโครงสร้างตรงพันธะคู่ ณ คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 ทางฝั่งของกรดนั้น ไม่ว่าจะสารจะมีโครงสร้างเป็น $\text{R-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOR}'$ หรือ $\text{R-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOR}'$ spectrum ที่ได้คาดว่าจะอยู่ในช่วงเดียวกัน โดยพันธะคู่ของโครงสร้าง $\text{R-COO-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_3$ หรือ $\text{R-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COO-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_3$ ให้ spectrum แบบ quartet ที่ช่วง 5.3 - 5.4 ppm และเนื่องจากสาร MFAE เป็นสารผสม ทำให้เกิด spectrum แบบ quartet ของสารอื่นๆ ที่มีพันธะคู่และมีโครงสร้างคล้ายกันคลึงกันทับซ้อนกันอยู่ ส่งผลให้มองเห็น spectrum ในช่วงดังกล่าวเป็นแบบ multiplet และการอินทิเกรตพื้นที่ได้กราฟมีค่าเท่ากับ 0.65 ดังนั้นโปรตอนแต่ละตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ มีค่าประมาณ 0.33 นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาโปรตอน ณ ตำแหน่งที่อยู่ข้างเคียงพันธะคู่ $\text{RCOO-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_3$ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าเกิด spectrum แบบ quartet ที่ 2.05 ppm และพื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการอินทิเกรตมีค่าเท่ากับ 1.28 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัว ณ ตำแหน่งดังกล่าวมีค่าประมาณ 0.32 เมื่อพิจารณาโปรตอนตรงตำแหน่งพันธะคู่และบริเวณข้างเคียงพันธะคู่ จะเห็นว่าโปรตอนแต่ละตัวมีค่าต่างจากโปรตอน ณ ตำแหน่งที่อยู่ข้างเคียงหมู่แอลกอฮอล์คาร์บอนิล ที่เป็นเช่นนี้ทางคณะผู้วิจัยคาดว่า ณ ตำแหน่งพันธะคู่ของสารเกิดสารเสื่อมสลายกลายเป็นพันธะเดี่ยว เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการทำปฏิกิริยาก่อนชั่งนาน ทำให้เกิดสารใหม่ที่มีความอึดตัวและมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน อีกทั้งการเสื่อมสลายของพันธะคู่ยังส่งผลไปยังโปรตอนที่อยู่บริเวณข้างเคียงอีกด้วย โดยการเสื่อมสลายของพันธะคู่ในสาร MFAE สามารถยืนยันได้ด้วยค่าไอโอดีนของสารผลิตภัณฑ์ที่ลดลงจากสารตั้งต้น

นอกจากนี้ ณ ตำแหน่ง $\text{R-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_3$ ของโครงสร้างฝั่งกรด และตำแหน่ง $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_9\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOR}'$ ของโครงสร้างทางฝั่งแอลกอฮอล์ spectrum ที่ได้ควรเป็นแบบ multiplet ขึ้นที่ช่วง 1.2 - 1.4 ppm แต่จากรูปที่ 4.13 spectrum ที่ได้ในช่วงดังกล่าวเป็นมีลักษณะคล้าย doublet และให้ความเข้มของสัญญาณ (Intensity) ที่สูง คณะผู้วิจัยคาดว่าเกิดจากการที่ spectrum แบบ multiplet ทับซ้อนกันหลายๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

spectrum รวมทั้งจำนวนโปรตอนในช่วงดังกล่าวมีจำนวนมาก ส่งผลให้ spectrum ที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.13 และจากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟที่มีค่าเท่ากับ 19.43 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัวมีค่าประมาณ 0.51 ซึ่งแตกต่างจากค่าของโปรตอนตรงตำแหน่งใกล้เคียงกับหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล ทั้งนี้ น่าจะมาจากการที่ MFAE เป็นสารผสมและมีสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน เช่น $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_3$ หรือ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_3$ ปะปนอยู่ รวมถึงยังมีสารตั้งต้นหลงเหลือปะปนอยู่ด้วย

เมื่อก้าวถึงส่วนปลายสุดของสายโซ่ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{11}-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{COO}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ ของโครงสร้างดังกล่าว spectrum ที่ได้เป็นแบบ triplet ณ บริเวณ 0.85 ppm และผลจากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟที่มีค่าเท่ากับ 3.00 ทำให้ทราบว่าโปรตอนแต่ละตัวมีค่าประมาณ 0.5 ซึ่งแตกต่างจากค่าของโปรตอน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล คณะผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุมาจากการที่ MFAE มีสารตั้งต้นชนิด FAE หลงเหลือปะปนอยู่ และเป็นไปได้ว่าเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่มีโครงสร้างแตกต่างกันเพียงบางตำแหน่งดังที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น ผสมปะปนรวมอยู่ด้วยกัน

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค H^1 NMR ดังที่กล่าวมาสามารถสรุปโดยรวมได้ว่า สาร MFAE ที่สังเคราะห์ได้เป็นสารผสม โดยมีโครงสร้างของสารที่คล้ายคลึงกัน เช่น $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{COO}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ และ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{COO}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ ปะปนรวมกันอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ที่ปรากฏสารที่มีปริมาณมากที่สุด 3 สาร ได้แก่ สาร ก. สาร ข. และสาร ค. โดยสารทั้ง 3 ชนิดนี้มีโครงสร้างทางเคมีสอดคล้องกับตัวอย่างของสูตรโครงสร้างที่กล่าวมาข้างต้น อีกทั้งยังมีสารตั้งต้นชนิด FAE ที่เป็นสารผสมหลงเหลือปะปนอยู่ด้วย โดยสารตั้งต้นที่หลงเหลืออยู่มีโครงสร้างที่เป็นทั้งสารพืดอัลกอฮอล์โทกซีเลต $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ และเป็นแอลกอฮอล์อิสระ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{OH}$ ปะปนรวมกันอยู่ และจากการที่มีสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันปะปนรวมกันอยู่ ทำให้ค่าของโปรตอนแต่ละตำแหน่งภายในโครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์เกิดความแปรปรวนและมีค่าไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR

จากผลการหาร้อยละการเปลี่ยนแปลง, ค่าไอโอดีน และการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารผลิตภัณฑ์ หรือ MFAE ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR), เทคนิคเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทรสโกปี (Gas chromatography - Mass spectroscopy, GC-MS) และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) สามารถอภิปรายโดยรวมได้ว่า สาร MFAE มีการเปลี่ยนจากสารตั้งต้น FAE ไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจากสารประกอบประเภทกรดคาร์บอกซิลิกไปเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ แต่ยังคงเหลือสารตั้งต้นปะปนอยู่ในสารผลิตภัณฑ์ ทำให้สาร MFAE เป็นสารผสมและเกิดสารที่มีโครงสร้างหลากหลายและมีความคล้ายคลึงกัน โดยส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบ $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_x\text{-COO-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH}_3$ และ $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_x\text{-O-(CH}_2\text{)}_2\text{-COO-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH}_3$ ตามลำดับ เนื่องจากสารตั้งต้น FAE ที่ไม่ได้มีเพียงสารที่เป็นแพตตีแอลกอฮอล์ที่ออกซีเลตเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีประปนของแอลกอฮอล์อิสระอยู่มากกว่าร้อยละ 40

อย่างไรก็ตามสาร MFAE มีโครงสร้างส่วนมากเป็น $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_x\text{-COO-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH}_3$ ซึ่งไม่เป็นไปตามโครงสร้างของ MFAE ที่คาดการณ์ไว้ดังรูปที่ 4.3 โดยความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของสารดังกล่าวกับโครงสร้างของ MFAE ที่คณะผู้วิจัยได้คาดการณ์ไว้ คือ สารส่วนมากที่พบจริงจากการตรวจสอบเอกลักษณ์มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่ไม่แน่นอน และไม่มีหมู่ฟังก์ชันอีเทอร์ภายในโครงสร้าง ซึ่งอาจส่งผลให้สาร MFAE มีความมีขี้ดำน้อยกว่าที่คาดการณ์ไว้

4.2 ศึกษาปริมาณอัตราส่วนของพลาสติกไฮเซออร์เชิงพาณิชย์ต่อฟอสฟอรัสอี-ทอกซีเลต เกรด Dehydol® LS 1 TH ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH, MFAE) ในพลาสติกพีวีซี

ตอนที่ 2 เป็นการศึกษาปริมาณอัตราส่วนระหว่างพลาสติกไฮเซออร์เชิงพาณิชย์ คือ DOP กับ สารพลาสติกไฮเซออร์ที่สังเคราะห์ได้ คือ MFAE ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ได้แก่ 25:0, 20:5 และ 15:10 phr แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปได้ เช่น สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และการแพร่ออก (Bleeding) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานในแต่ละอัตราส่วนเทียบกับชิ้นงานสูตรควบคุม (25:0)

4.2.1 สีและลักษณะของพลาสติก

จากการผสมพอลิเมอร์ระหว่างพลาสติกไฮเซออร์เชิงพาณิชย์ (DOP) กับสารที่สังเคราะห์ได้ (MFAE) ที่อัตราส่วนต่างๆ และทำการขึ้นรูปพลาสติกพีวีซี จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร MFAE เป็นผลให้สีของชิ้นงานขุ่นขึ้น ประกอบกับสาร MFAE เป็นสารที่มีสีส้ม-เหลือง ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีสีขุ่นเหลืองด้วยเช่นกัน ส่วนชิ้นงานที่ไม่มีการเติมสาร MFAE เป็นพลาสติกที่มีความใสมากที่สุด จากการขึ้นรูปทั้งสามสูตร ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของสาร MFAE ในการขึ้นรูปพลาสติกพีวีซี จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความใส

กำหนดให้

- 25DOP:0MFAE คือ DOP 25 phr ต่อ MFAE 0 phr หรือสูตร 25:0 (สูตรควบคุม)
- 20DOP:5MFAE คือ DOP 20 phr ต่อ MFAE 5 phr หรือสูตร 20:5
- 15DOP:10MFAE คือ DOP 15 phr ต่อ MFAE 10 phr หรือสูตร 15:10



รูปที่ 4.14 สีของชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ณ อัตราส่วนต่างๆ ของพลาสติกไฮเซออร์ DOP ต่อ MFAE

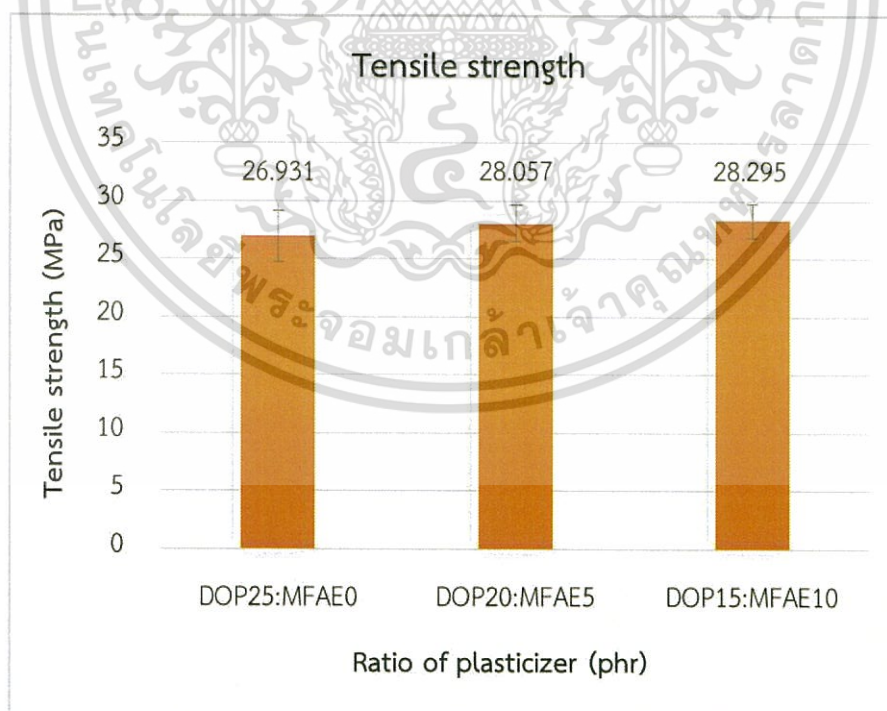
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบทดสอบแรงดึง (Tensile test) และความแข็งกด (Hardness)

จากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ของชิ้นงานที่สูตรขึ้นรูปต่างๆ ให้ผลดังรูปที่ 4.15 – 4.17 และการทดสอบความแข็งกด (Hardness) ของชิ้นงาน ให้ผลดังรูปที่ 4.18 ตามลำดับ พบว่าชิ้นงานในสูตรการขึ้นรูปทั้ง 3 สูตร มีค่าความแรงดึง (Tensile strength) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.15 และจากรูปที่ 4.16 – 4.17 พบว่าค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) และค่าความแข็งกด (Hardness) ของชิ้นงานที่มีการเติม MFAE มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แสดงว่าสาร MFAE ทำให้ชิ้นงานมีความอ่อนนุ่มขึ้น ซึ่งชิ้นงานในสูตรที่ 20:5 และ 15:10 มีค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งกดที่ใกล้เคียงกัน

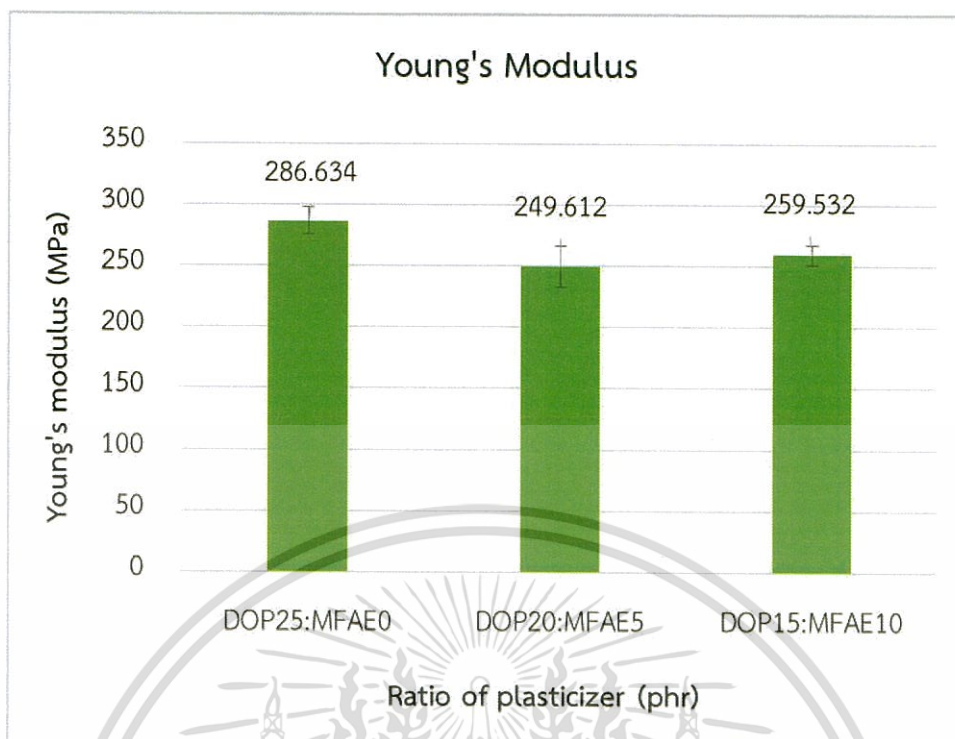
ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของชิ้นงานแต่ละสูตร แสดงผลดังรูปที่ 4.17 พบว่าชิ้นงานที่มีการเติม MFAE มีค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ที่ลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม โดยที่ชิ้นงานสูตร 15:10 มีค่าสูงที่สุด แสดงว่าพลาสติกที่มีการเติม MFAE มีความยืดหยุ่นขึ้น

คณะผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานพลาสติกมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นขึ้น เนื่องมาจากสารใน MFAE ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีสายโซ่ที่ยาว ด้วยโครงสร้างทางเคมีที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้โมเลกุลของ MFAE สามารถเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลพีวีซีและทำให้พีวีซีมีปริมาตรอิสระ (Free volume) มากขึ้น

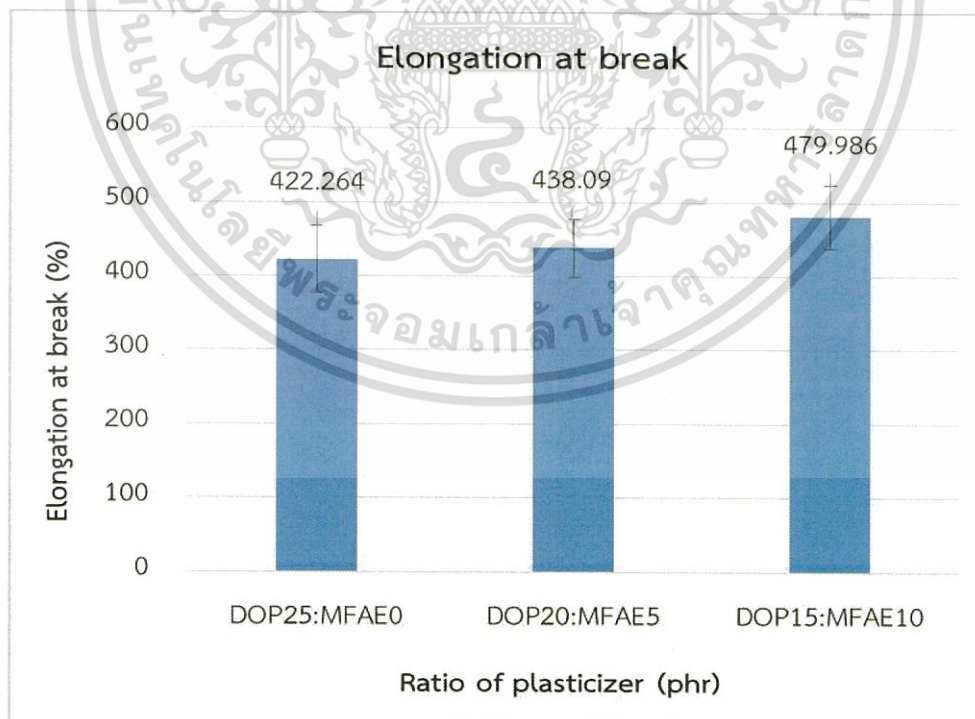


รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

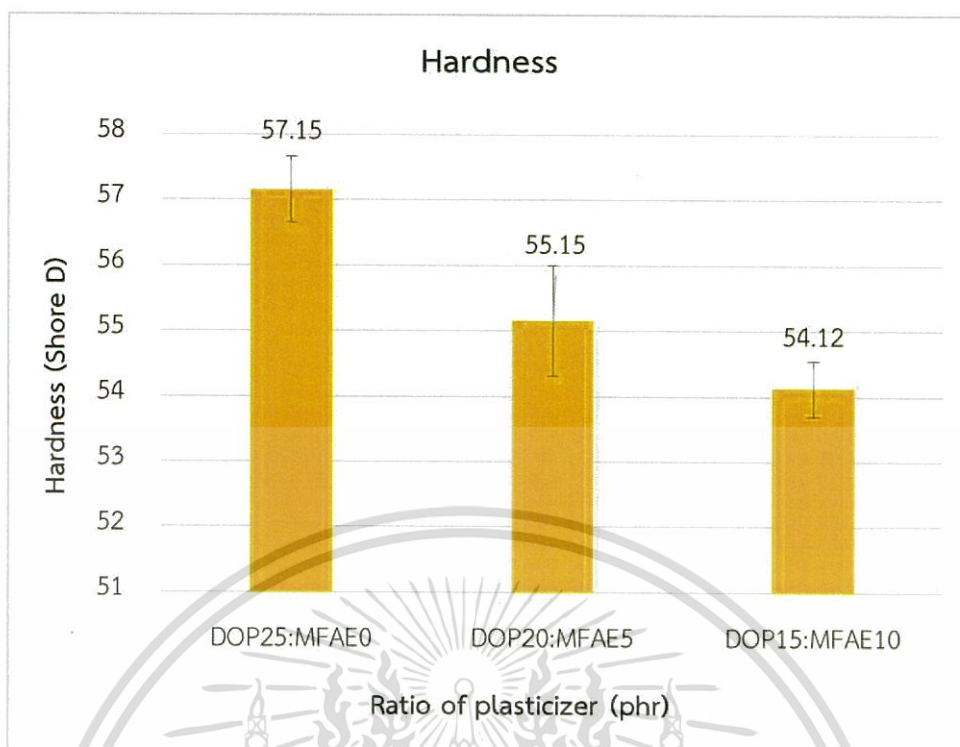


รูปที่ 4.16 ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) เปรียบเทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซอร์ DOP ต่อ MFAE



รูปที่ 4.17 ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซอร์ DOP ต่อ MFAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore D เทียบอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE

4.2.3 การแพร่ออก (Bleeding)

การทดสอบการแพร่ออก (bleeding) ในงานวิจัยนี้ ใช้มาตรฐาน ISO 177 ที่กำหนดปริมาณการแพร่ออกของสารเติมแต่งไว้ไม่เกิน 0.45 กรัม จากทดสอบแสดงผลดังตาราง 4.2 พบว่าเมื่อเติมปริมาณของ MFAE มากขึ้น การแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้นมากขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักที่สูญเสียของพลาสติกไซเซออร์ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สาเหตุที่การแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์มีมากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ MFAE คาดว่ามาจากการ MFAE เป็นสารผสมที่มีปริมาณของสารที่มีโครงสร้าง $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$ มากกว่าสารที่มีโครงสร้างแบบ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$ ซึ่งสารที่มีโครงสร้างในแบบแรกนั้นมีความมีขั้วน้อยกว่าสารที่มีโครงสร้างในแบบที่สอง จึงอาจส่งผลให้เกิดการแพร่ออก (Bleeding) ของ MFAE ออกมานอกพลาสติกพีวีซี เนื่องจากโมเลกุลของพีวีซีเป็นสารที่มีความมีขั้วสูง

ในอีกกรณีเป็นไปได้ว่าโครงสร้างของ MFAE โดยส่วนมากเป็นสารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ และมีสายโซ่ที่ยาว เมื่อเพิ่มปริมาณของ MFAE ในการขึ้นรูปพลาสติกพีวีซี โมเลกุลของ MFAE จะไป

เกาะรวมกลุ่มกันอย่างแน่นหนาอยู่รอบๆ ภายนอกโมเลกุลของพีวีซี และเมื่อนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกักรูปร่างเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง แรงเฉื่อยที่ลูกกลิ้งกระทำต่อโมเลกุลของพีวีซีที่มี MFAE เกาะล้อมรอบอยู่ ไม่สามารถทำให้ MFAE เกิดการแตกย่อยและเข้าไปแทรกอยู่ภายในโมเลกุลของพีวีซีได้ตึ่่นัก และยังคงหลงเหลือโมเลกุลของ MFAE ล้อมรอบอยู่ภายนอกโมเลกุลของพีวีซี ส่งผลให้เกิดการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์

ตารางที่ 4.2 การแพร่ออก (Bleeding) ของชิ้นงานพลาสติก ณ อัตราส่วนการขึ้นรูปพลาสติกไซเซออร์ DOP ต่อ MFAE

อัตราส่วน การขึ้นรูป	ชิ้นงานที่	น้ำหนักชิ้นงาน (กรัม)		น้ำหนักที่ สูญเสีย (กรัม)	ร้อยละ น้ำหนักที่ สูญเสีย	ร้อยละ น้ำหนักที่ สูญเสียโดย เฉลี่ย
25DOP:0MFAE	1	4.5710	4.5680	0.0030	0.07	0.06
	2	4.7852	4.7825	0.0027	0.06	
	3	4.8353	4.8324	0.0029	0.06	
20DOP:5MFAE	1	4.3191	4.3158	0.0033	0.08	0.07
	2	4.6120	4.6087	0.0033	0.07	
	3	4.6412	4.6381	0.0031	0.07	
15DOP:10MFAE	1	4.3122	4.2889	0.0233	0.54	0.54
	2	4.0775	4.0552	0.0223	0.55	
	3	4.2451	4.2229	0.0222	0.52	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ประเมินราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย

เมื่อพิจารณาราคาสารเคมีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อคิดต้นทุนการสังเคราะห์สารพลาสติกไซเซออร์ซีวภาพ หรือ MFAE ปริมาณ 1 กิโลกรัม พบว่า MFAE มีราคาต้นทุน 446.92 บาท/กิโลกรัม (ไม่รวมค่าเครื่องมือ อุปกรณ์ และแรงงาน) โดยพลาสติกไซเซออร์ซีวภาพชนิด DOP มีราคา 32 บาท/กิโลกรัม (ราคาขายปลีก) สารเคมีต่างๆ ที่ใช้มีราคาแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ราคาสารเคมี

สารเคมี	ขนาดบรรจุภัณฑ์ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)
กรดโอเลอิก	1.0	840	840
FAE เกรด Dehydol® LS 1 TH	1.0	65	65
กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก	0.5	1,600	3,200
โมโนไฮเดรต	1.0	15	15
โซเดียมคลอไรด์	1.0	420	420

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาตอนที่ 1 สรุปผลการวิจัยได้ว่า สารแปดดีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลตที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Modified Fatty Alcohol Ethoxylate Dehydol® LS 1 TH) หรือ MFAE เป็นสารผสม โดยโครงสร้างใหญ่ของสารผสม MFAE และมีปริมาณสูง ได้แก่ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$ และ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_x-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$ ตามลำดับ โดยสารที่สังเคราะห์ได้โดยส่วนมากมีโครงสร้างทางเคมีที่ใหญ่ และมีสายโซ่ที่ยาว แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสารแปดดีแอลกอฮอล์อีทอกซีเลตมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากแอลกอฮอล์อิสระ ส่งผลให้สาร MFAE มีความมีขั้วที่ต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งส่งผลต่อค่าการแพร่ออก (Breeding)

จากการศึกษาตอนที่ 2 สรุปผลการวิจัยได้ว่า สาร MFAE มีผลทำให้สมบัติเชิงกล เช่น โมดูลัสของยัง (Young's modulus), ความแข็งกด (Hardness) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของพลาสติกพีวีซีดีขึ้นในระดับหนึ่ง และมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของชิ้นงานทุกสูตรใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ผลของการแพร่ออก (Breeding) เมื่อมีการเติม MFAE ทดแทน DOP พบว่ามีน้ำหนักของพลาสติกไฮเซอรที่สูญเสียไปมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของการทดสอบ แต่การเพิ่มปริมาณของ MFAE ทำให้ชิ้นงานขุ่น จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความใส

ดังนั้นจากงานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่า MFAE เหมาะสำหรับเป็นพลาสติกไฮเซอรชีวภาพแบบหุติยภูมิซึ่งสามารถใช้ร่วมกับพลาสติกไฮเซอรปฐมภูมิหรือพลาสติกไฮเซอรเชิงพาณิชย์อย่าง DOP ได้ดีในระดับหนึ่ง โดยให้สมบัติเชิงกลและสมบัติการแพร่ออกของพลาสติกใกล้เคียงกับ DOP

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของ MFAE ให้มีความมีขั้วหรือเหมาะสมกับการใช้งานในพลาสติกพีวีซีมากยิ่งขึ้น เช่น การทำปฏิกิริยาการปิดวงออกซิเจนหรือปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxydation) ตรงตำแหน่งพันธะคู่
- ทำการศึกษาสมบัติอื่นๆ โดยละเอียด เช่น ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) การพับงอ (Flex cracking resistance) การใช้งานเป็นเวลานาน (Ageing properties) ฯลฯ
- ศึกษาการนำ MFAE ไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เช่น น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant), แร็กซ์ (Wax)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาณี หิรัญธนกิจจากุล. 2538. ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 10. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานพิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข. [Online]. Available: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146. เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ม.ค. 2559
- [2] Tim Somheil. 2557. Study: global PVC demand to grow 3.2% annually through 2021. [Online]. Available: <http://www.plasticstoday.com/articles/study-global-pvc-demand-grow-32-annually-through-2021-140825>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ม.ค. 2559
- [3] อภิธานศัพท์เคมี. 2557. PVC (polyvinyl chloride). [Online]. Available: http://www.neutron.rmutphysics.com/chemistry-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1291&Itemid=115. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559
- [4] วิชาการดอทคอม. 2553. น้ำมันพีช. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/varticle/40662>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559
- [5] Arkema Company, France. 2012. “New generation of bio-based plasticisers” PVC Formulation.
- [6] Thai Ethoxylate Company Limited (TEX). 2015 “Feasibility Study of Fatty Alcohol Ethoxylates (FAEs) as Bio-additives in Polymer Industry” internal study of TEX.
- [7] กรีนไฮเปอร์มาร์ท. 2552. น้ำมันพีช. [Online]. Available: <http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php?id=%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B8%8A>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559
- [8] Jinsue Hafalia. 2013. Gasoline or Biodiesel. [Online]. Available: http://teachersyale.edu/curriculum/viewer/initiative_13.05.03_u. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559
- [9] Wikipedia. 2014. **Vetgetable oil**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetable_oil. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559
- [10] ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์. 2556. **ปฏิวัติน้ำมันพีช (ตอนที่ 2)**. [Online]. Available: <http://www.manager.co.th/AstvWeekend/ViewNews.aspx?NewsID=9560000128088>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่. 2550. อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย. [Online]. Available: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/index.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 2559
- [12] DISPERSING PROCESS. 2012. **Surfactant**. [Online]. Available: <http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 2559
- [13] Abbas S., Goldberg JW, and Massaro M. 2004. “Personal cleanser technology and clinical performance” *Dermatol Therapy*.
- [14] Kyung Mi Lee, Jong Hun Moon, Hyeryeong Jeon, Xiaoqiang Chen, Hee Jin Kim, Sol Kim, Sung-Jin Kim, Jin Yong Lee and Juyoung Yoon . 2011. “Diverse colorimetric changes of polydiacetylenes with cationic surfactants and their mechanistic studies” *Journal of Material Chemistry*.
- [15] สถาบันกวดวิชาครู. 2557. **ประเภทของสารอินทรีย์**. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/topengpjack/reiyn-khemi-xxnlin/sarprakxb-hidorkharbxn/prapheth-khxng-sar-xinthriy/xe-s-the-xr-ester>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 2559
- [16] TutorVista. 2015. **Organic Chemistry Reaction**. [Online]. Available: <http://chemistry.tutorvista.com/organic-chemistry/esterification.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 7 ม.ค. 2559
- [17] วิกิพีเดีย. 2558. **เอสเทอร์**. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 2559
- [18] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2558. **Esterification**. [Online]. Available: <http://chemsci.kku.ac.th/ayan/alcohol/esterification1.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 2559
- [19] Aldrich. 2014. **Diocetyl phthalate**. [Online]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/525154?lang=en®ion=TH#%20%20รูป>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 2559
- [20] ChemicalBook. 2014. **Triocetyl trimellitate**. [Online]. Available: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5432877.htm%20%20รูป. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 2559

[21] Metallic zone. 2556. **พอลิไวนิลคลอไรด์**. [Online]. Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <http://siammetalliczone.com/%E0%B8%9E%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%84%E0%B8%A7%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B9%8C-polyvinylchloride-pvc/>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 2559
- [22] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. **Oleic acid (กรดโอเลอิก)**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2559
- [23] Thai Ethoxylate Co.,Ltd. 2006. **Specification & Application of Dehydol**. [Online]. Available: <http://www.tex.co.th>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2559
- [24] Wall Stickers Korea. 2553. **คุณสมบัติของสาร PVC และ PET ที่ใช้ใน Wall Stickers**. [Online]. Available: <https://wallstickerkorea.wordpress.com/2010/08/22/คุณสมบัติของสาร-pvc-และ-pet-ที่/>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2559
- [25] Department of Environmental Engineering, Chulalongkorn University. 2014. **Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GCMS)**. [Online]. Available: <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatograph-mass-spectrometer-gcms>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 2559
- [26] Bara Scientific Co., Ltd. 2010. **Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GCMS)**. [Online]. Available: <http://www.barascientific.com/products/shimadzu/analytical/chromato/thai/GCMS/GCMS-QP-2010Ultra.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 2559
- [27] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2556. **Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)**. [Online]. Available: <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/chemistry/23-2013-09-04-02-40-21%20เทคนิค>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 2559
- [28] Anderson Materials Evaluation, Inc. 2014. **FTIR Analysis – Infrared Spectroscopy**. [Online]. Available: <http://www.andersonmaterials.com/ftir.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 2559
- [29] บัญชา พูลโกคา. 2553. **สเปกโทรสโกปีและการพิสูจน์ทราบโครงสร้างของสาร**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [30] อีรยุทธ วิไลวัลย์และ วรวรรณ พันธุมนาวิน. 2548. **นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรสโกปี**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2556. เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างสารประกอบด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์. [Online]. Available: <http://cste.sut.ac.th/lsu/index.php?>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 2559
- [32] Labtech Engineering Company.,Ltd. 2015. High Speed Mixer. [Online]. Available: <http://www.labtechengineering.com/1/High%20Speed%20Mixers.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ม.ค. 2559
- [33] Chareon Tut Co.,Ltd. 2558. เครื่องผสมแบบปิด (CT Internal Mixer). [Online]. Available: <http://www.chareontut.com/Default.aspx?lang=th&pageid=6>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ม.ค. 2559
- [34] Dumbbell Co.,Ltd. 2014. Super Dumbbell. [Online]. Available: http://www.dumbbell.co.jp/english/super_dumbbell.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ม.ค. 2559
- [35] Transtutor. 2015. Stress-strain Diagram for Ductile and Britte Materials. [Online]. Available : <http://www.transtutors.com/homework-help/mechanical-engineering/simple-stresses-and-strain/stress-strain-diagram-for-ductile-and-brittle-materials.aspx>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ม.ค. 2559
- [36] Qualitest Inc. 2015. Shore Hardness Tester - Durometer for Rubber, Plastics and Soft Elastic Materials. [Online]. Available: <http://www.worldoftest.com>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ม.ค. 2559
- [37] W. Waskitoajia, E. Triwulandaria, and A. Haryonoa. 2012. "Synthesis of Plasticizers Derived from Palm Oil and Their Application in Polyvinyl Chloride" Procedia Chemistry.
- [38] Yuen May Choo, Sit Foon Cheng, Ah Ngan Ma, and Basiron Yusof. 2012. "LUBRICANT BASE OIL OF PALM ORIGIN" US Patent 8,101,560.
- [39] A. Greco, D. Brunetti, G. Renna, G. Mele, and A. Maffezzoli. 2010. "Plasticizer for poly(vinyl chloride) from cardanol as a renewable resource material" Polymer Degradation and Stability.
- [40] Suli Zhao. 2012. Analysis of Fatty Acid Methyl Ester (FAME) by Agilent 5957T LTM GC-MS. China: Agilent Technologies (Shanghai) Co.,Ltd.
- [41] James D. MacCurry, Ph.D. 2011. . Analysis of Fatty Acid Methyl Ester (FAME) in Jet Fuel Using Energy Institute Method IP585. US: Agilent Technologies, Inc.
- [42] Oscar Ledea, Maritza Diaz, Jesús Molerio, Daniel Jardines, Aristides Rosado and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Teresa Correa. 2002. “ $^1\text{H-NMR}$ Spectroscopy Study of Oleic Acid and Methyl Oleate Ozonation in different reaction conditions” *Revista CENIC Ciencias Químicas*.

- [43] Ram e-learning, มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2558. โปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรสโกปี. [Online]. Available: <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ม.ค. 2559
- [44] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2558. การวิเคราะห์พอลิเมอร์. [Online]. Available: http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter5_3.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ม.ค. 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS

รูปที่ ก-1 ผลการรายงานพื้นที่ใต้กราฟของเทคนิค GC-MS

Area Percent Report

Data File : D:\59_026\MODIFIED.D
 Acq On : 1 Apr 2016 15:00
 Sample : Modifide
 Misc :

Vial: 1
 Operator:
 Inst : Instrumen
 Multiplr: 1.00
 Sample Amount: 0.00

MS Integration Params: FA.P

Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\WARM DB-5MS.M (RTE Integrator)
 Title : Pork oils
 Smoothing : ON
 Sampling : 4
 Start Thrs: 0.001
 Stop Thrs : 0

Filtering: 5
 Min Area: 1.1 % of largest Peak
 Max Peaks: 35
 Peak Location: TOP

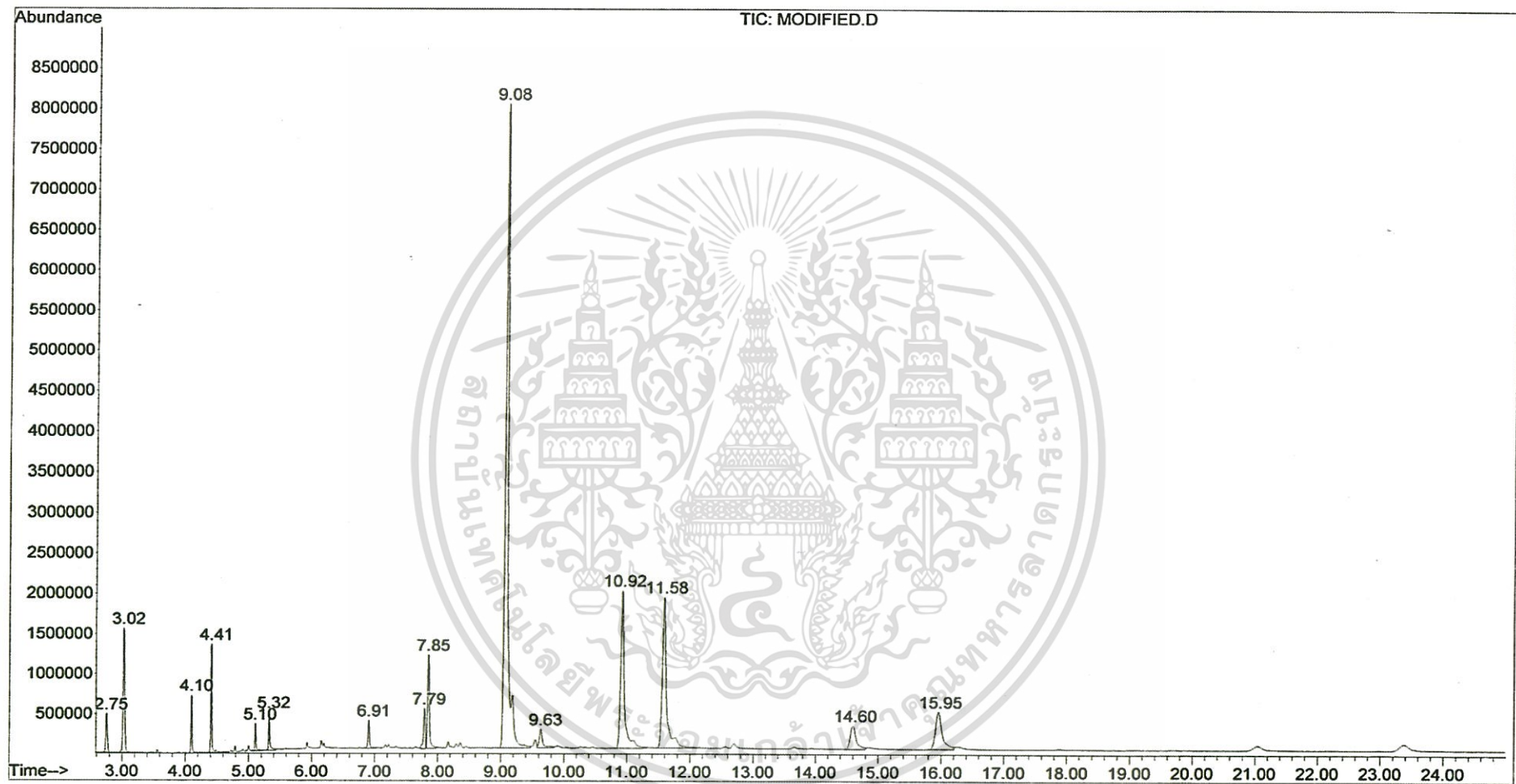
If leading or trailing edge < 100 prefer < Baseline drop else tangent >
 Peak separation: 5

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.752	17	32	49	rBV	490794	829202	3.15%	1.370%
2	3.022	69	82	141	rVB	1562775	2800388	10.63%	4.627%
3	4.096	253	281	301	rBV	728618	801521	3.04%	1.324%
4	4.409	325	339	377	rBV	1361875	1585941	6.02%	2.620%
5	5.105	457	468	493	rVV	342979	403253	1.53%	0.666%
6	5.321	493	508	529	rBV	478730	619733	2.35%	1.024%
7	6.907	781	802	821	rBV	351024	596937	2.27%	0.986%
8	7.786	954	965	970	rM 2	506681	972988	3.69%	1.608%
9	7.851	971	977	999	rM	1170911	2306456	8.75%	3.811%
10	9.076	1181	1204	1277	rBV	7986597	26352435	100.00%	43.541%
11	9.632	1297	1307	1345	rVV2	234968	867878	3.29%	1.434%
12	10.921	1513	1546	1617	rBV	1967831	8113256	30.79%	13.405%
13	11.585	1641	1669	1765	rBV3	1883312	8878971	33.69%	14.670%
14	14.601	2201	2228	2265	rBV5	295634	1950793	7.40%	3.223%
15	15.950	2449	2478	2525	rBV4	468548	3443776	13.07%	5.690%

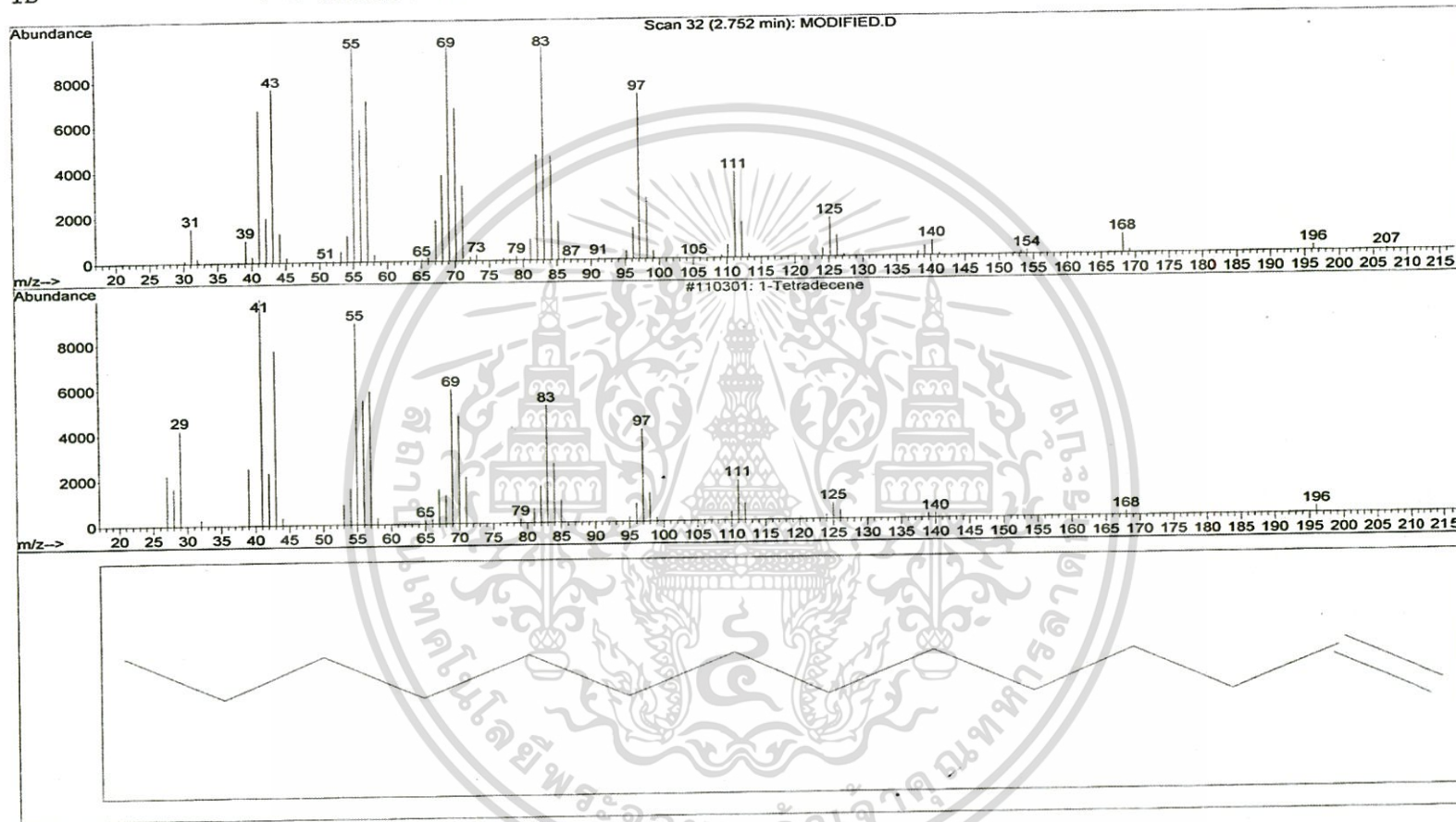
Sum of corrected areas: 60523528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



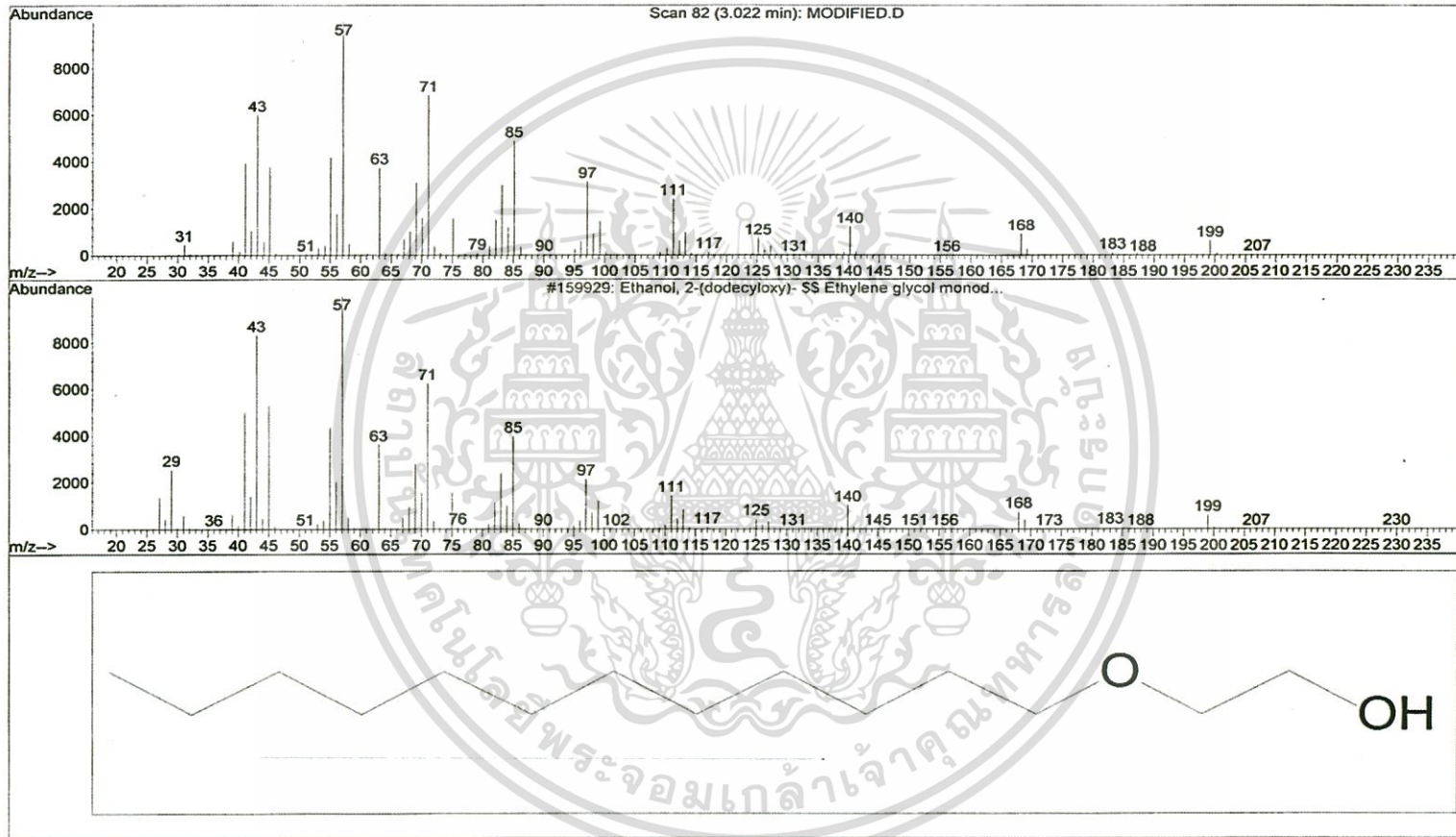
รูปที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 98
ID : 1-Tetradecene



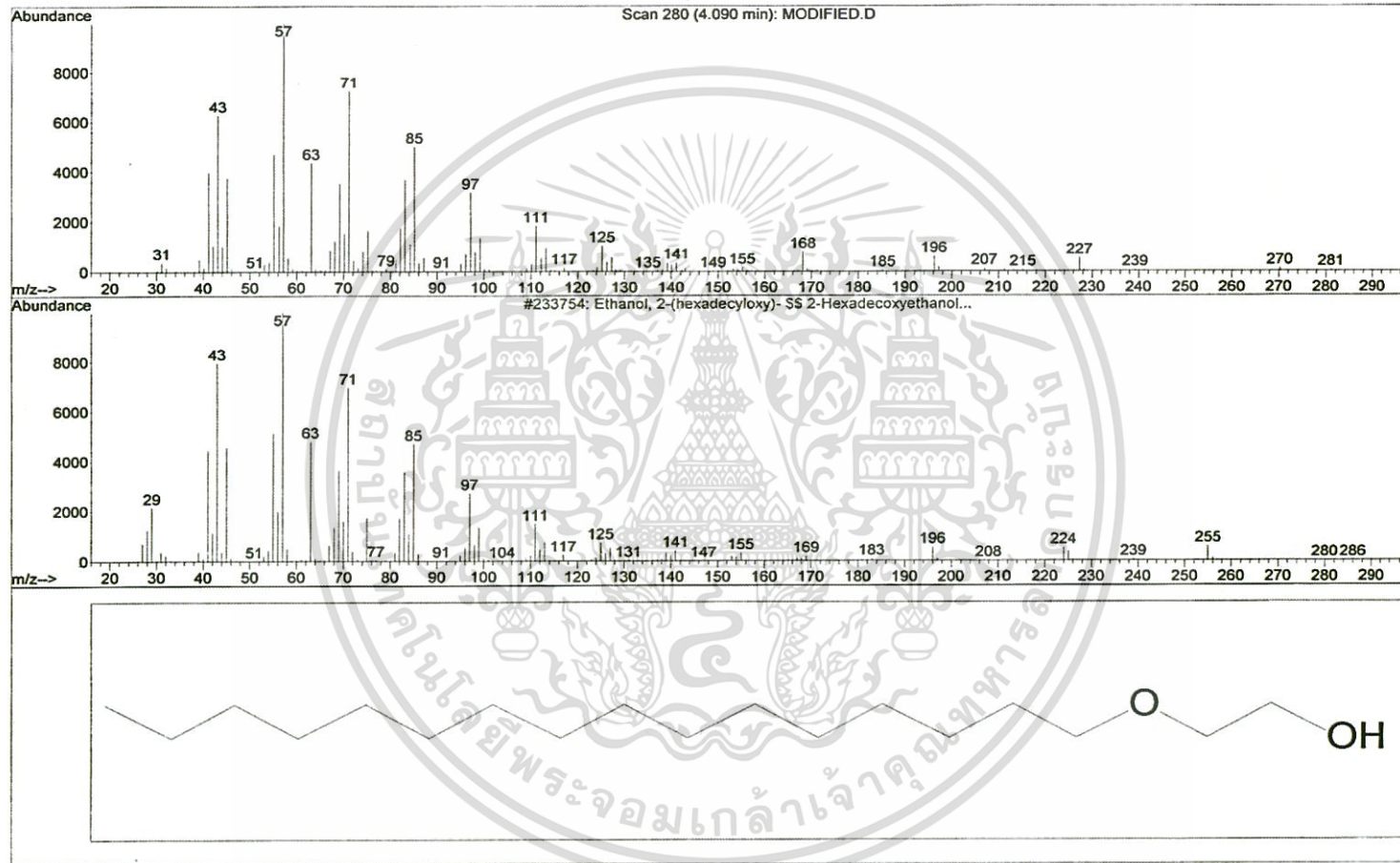
วิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 2.75

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
 Quality : 91
 ID : Ethanol, 2-(dodecyloxy)- \$\$ Ethylene glycol monododecyl ether \$\$ Ethylene glycol monolauryl ether \$\$ Laureth-1 \$\$ Lauryl alcohol oxy ethanol \$\$ Lauryl ethoxylate \$\$ Lauryl monoethoxylate \$\$ Lipocol 1-1 \$\$ 2-(Dodecyloxy)ethanol \$\$ Ethylene glycol mono-n-do



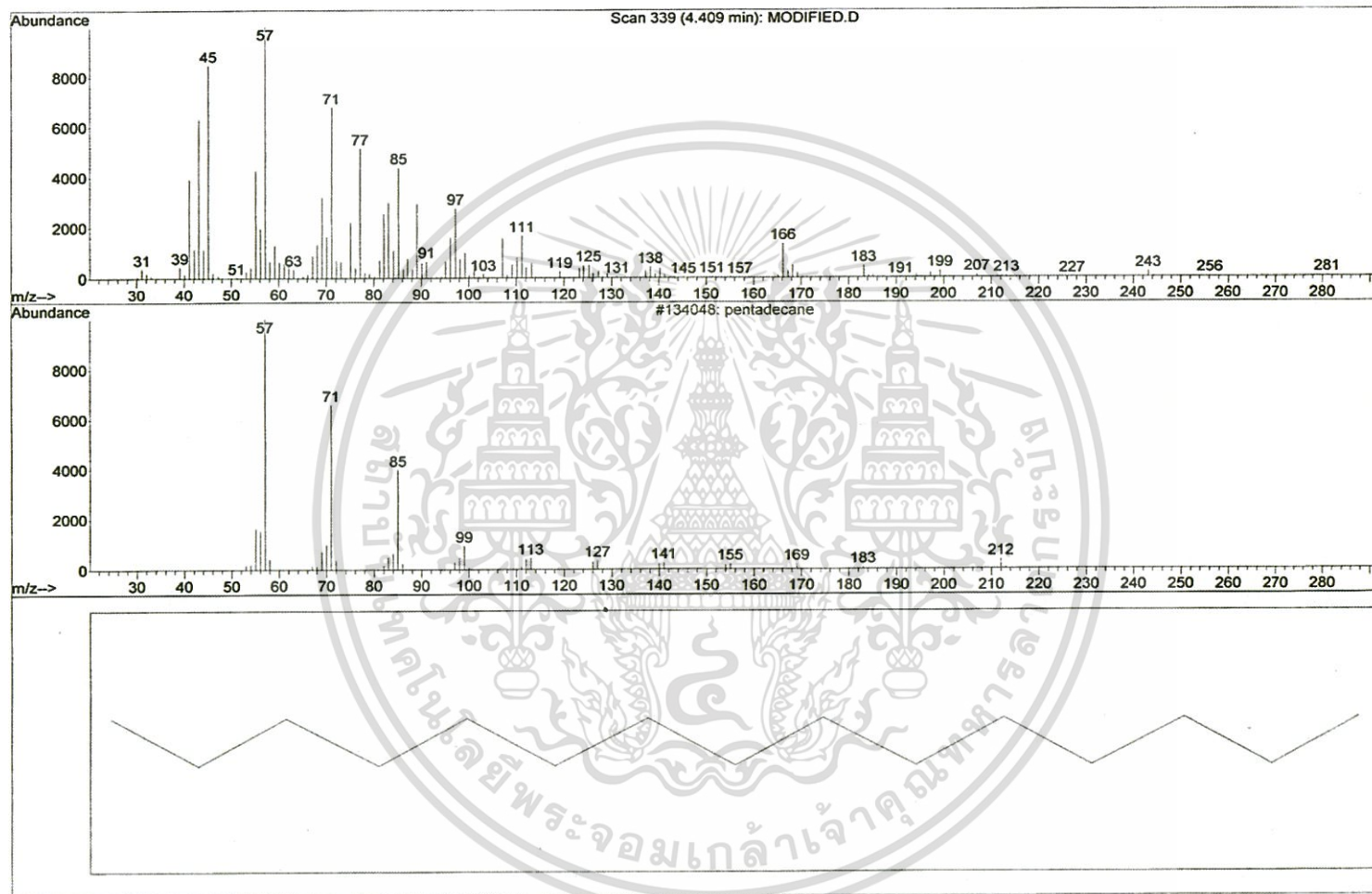
รูปที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 3.02

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
 Quality : 91
 ID : Ethanol, 2-(hexadecyloxy)- \$\$ 2-Hexadecoxyethanol \$\$ 2-Hexadecyloxyethanol \$\$ Et
 hylene glycol mono-hexadecyl ether



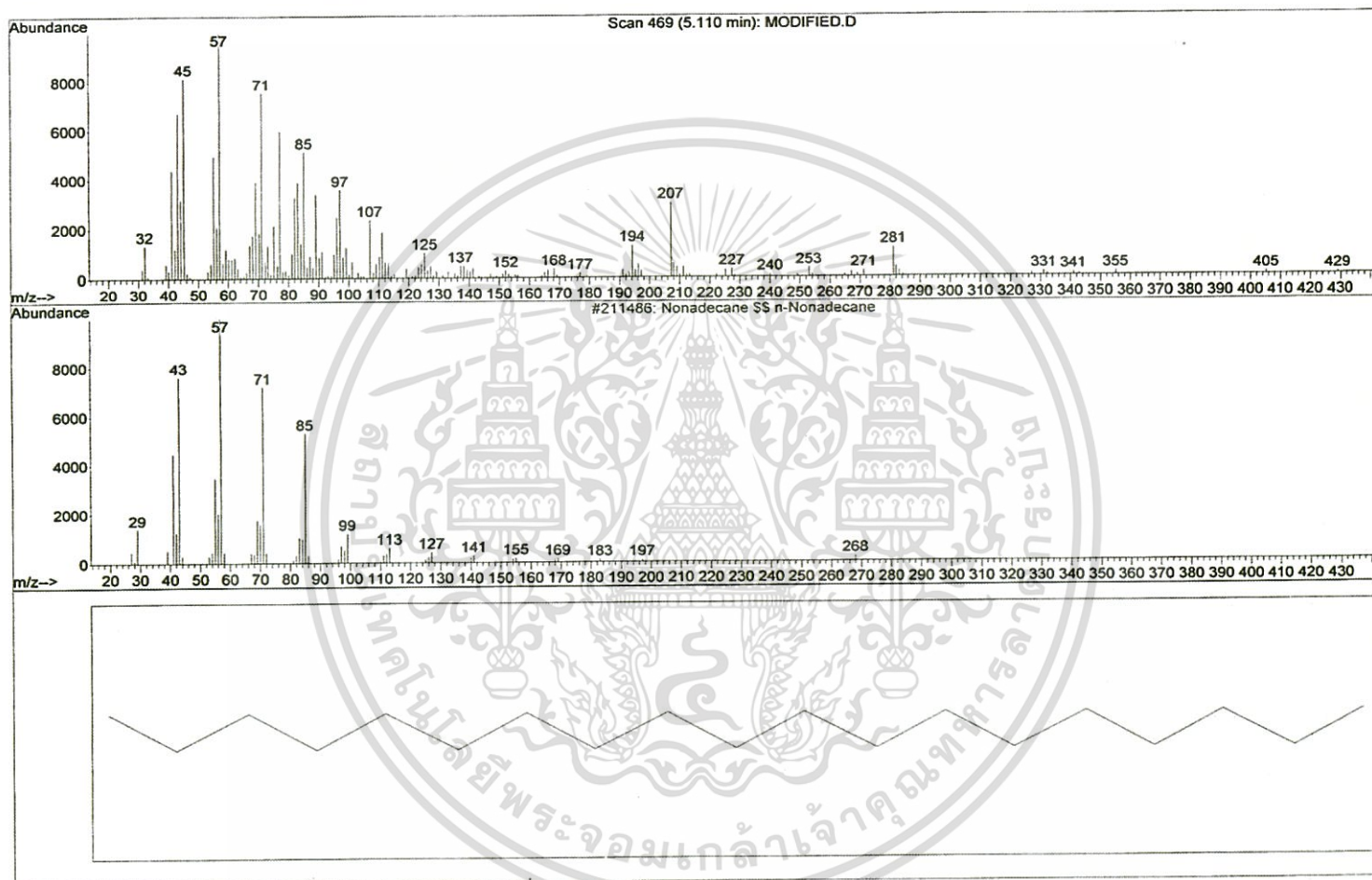
รูปที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 4.09

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 46
ID : pentadecane



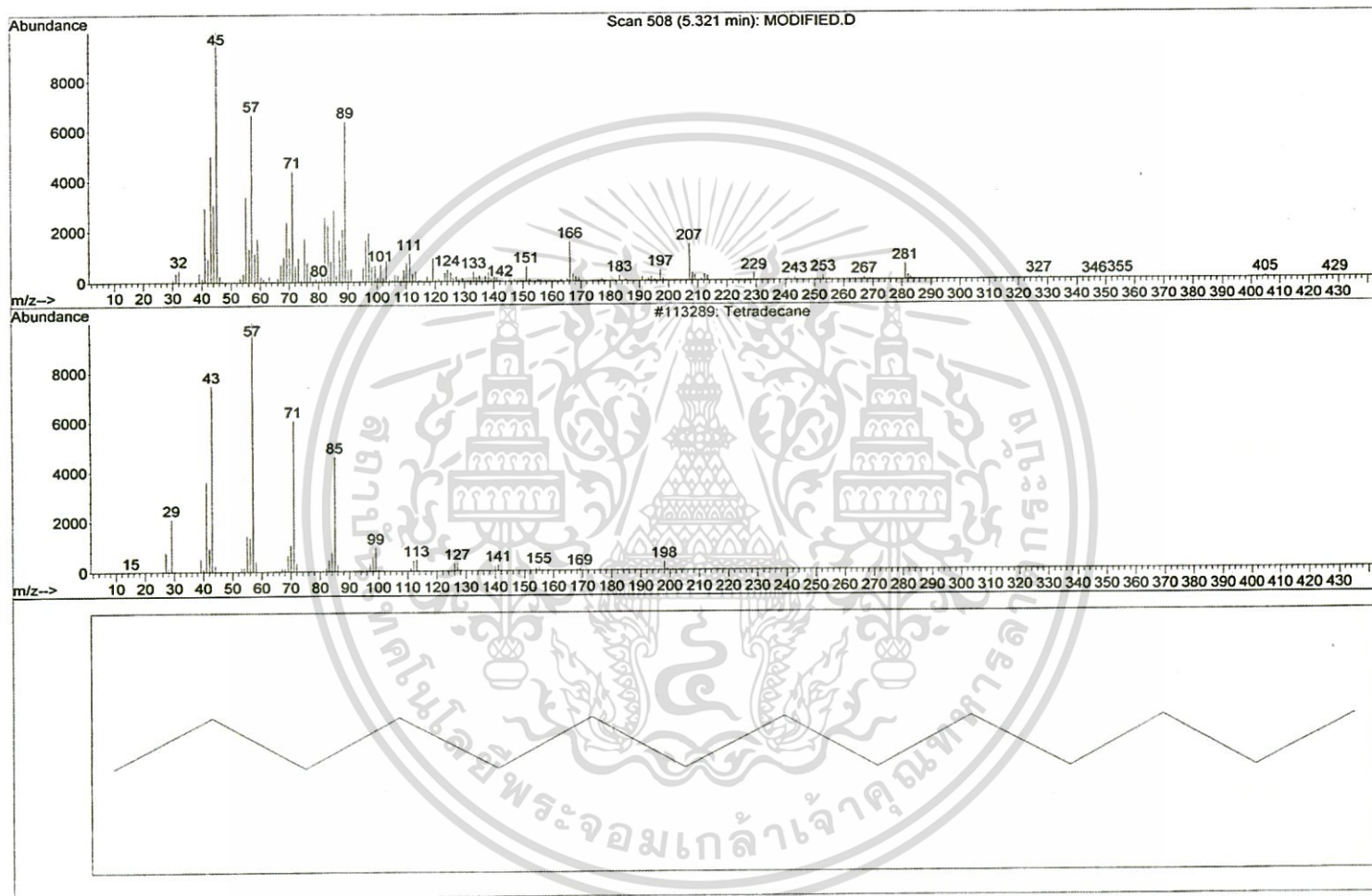
รูปที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 4.41

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 38
ID : Nonadecane \$\$ n-Nonadecane



รูปที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 5.11

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 58
ID : Tetradecane



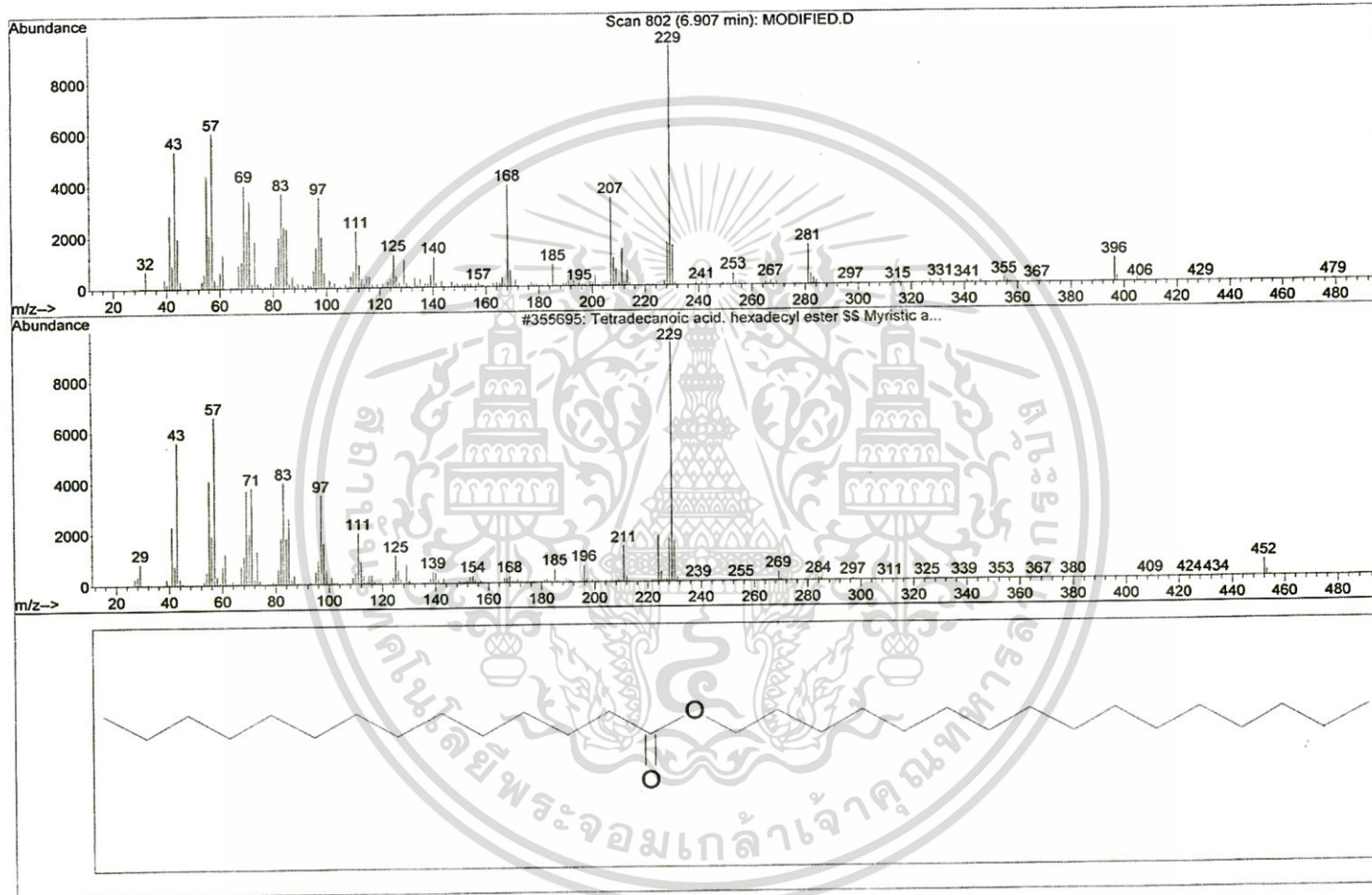
รูปที่ ก-8 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 5.32

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1

Quality : 60

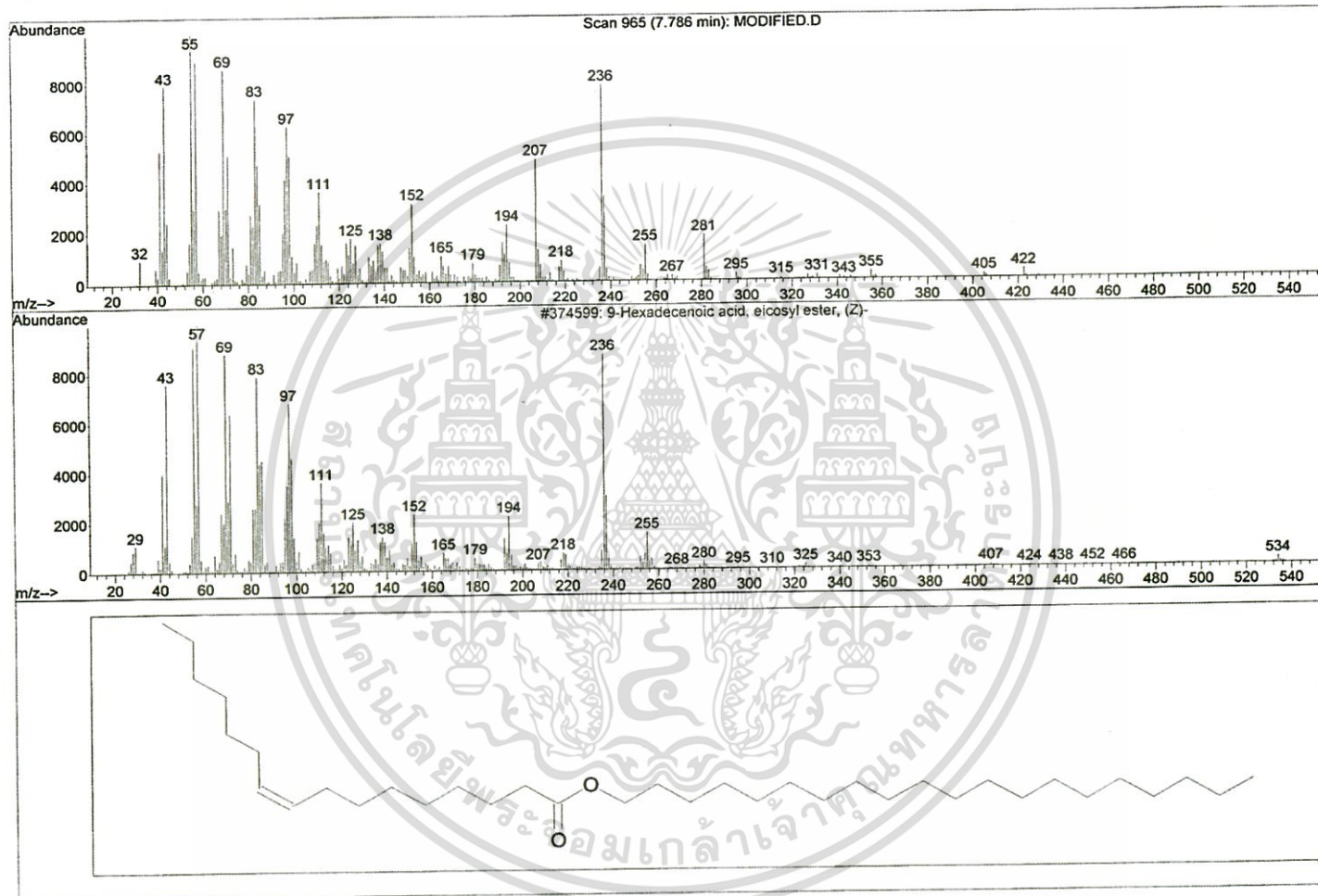
ID

: Tetradecanoic acid, hexadecyl ester \$\$ Myristic acid, hexadecyl ester \$\$ Cetyl m
yristate \$\$ Hexadecyl tetradecanoate \$\$ Hexadecylmyristate



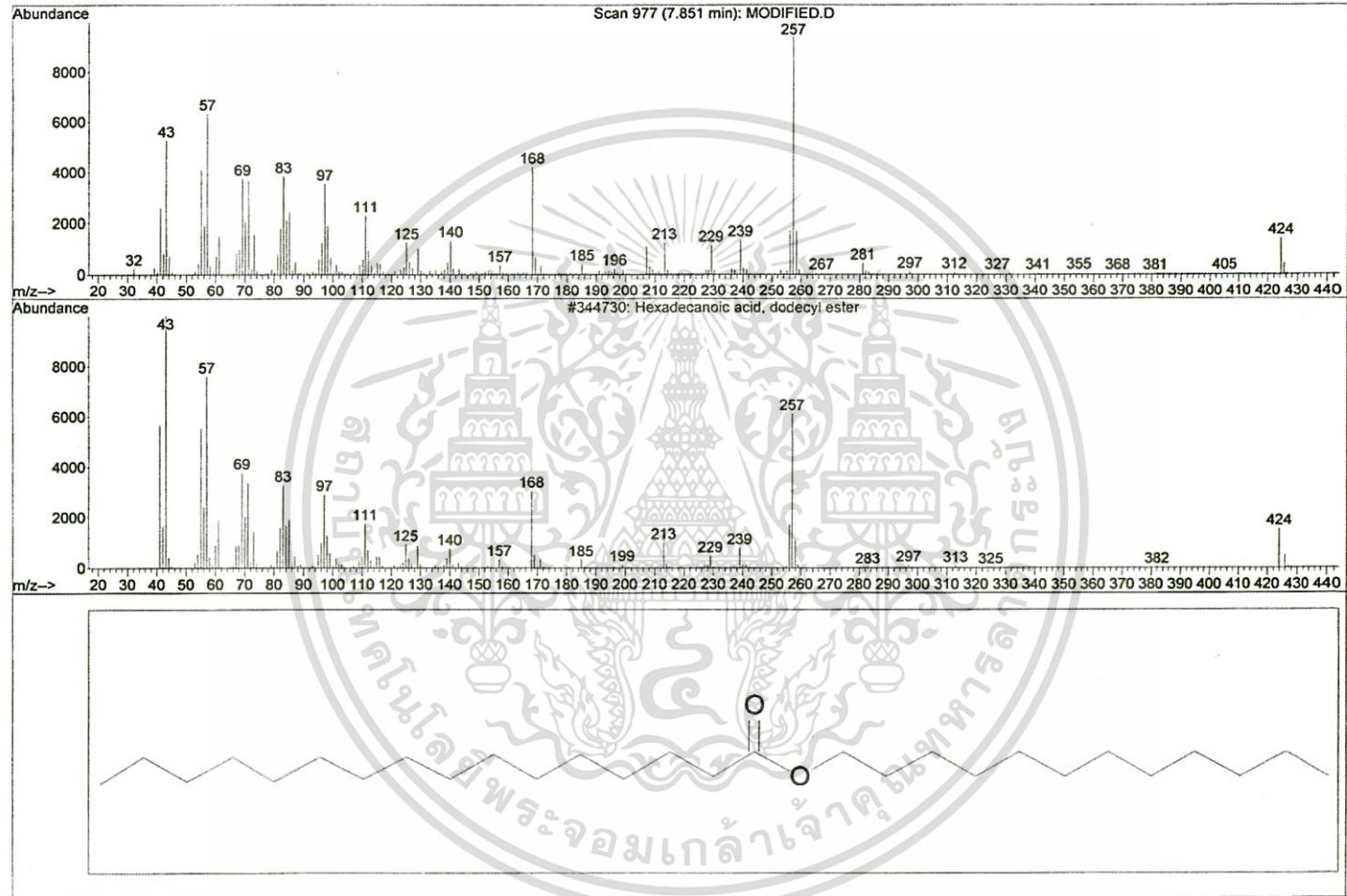
รูปที่ ก-9 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 6.91

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 90
ID : 9-Hexadecenoic acid, eicosyl ester, (Z)-



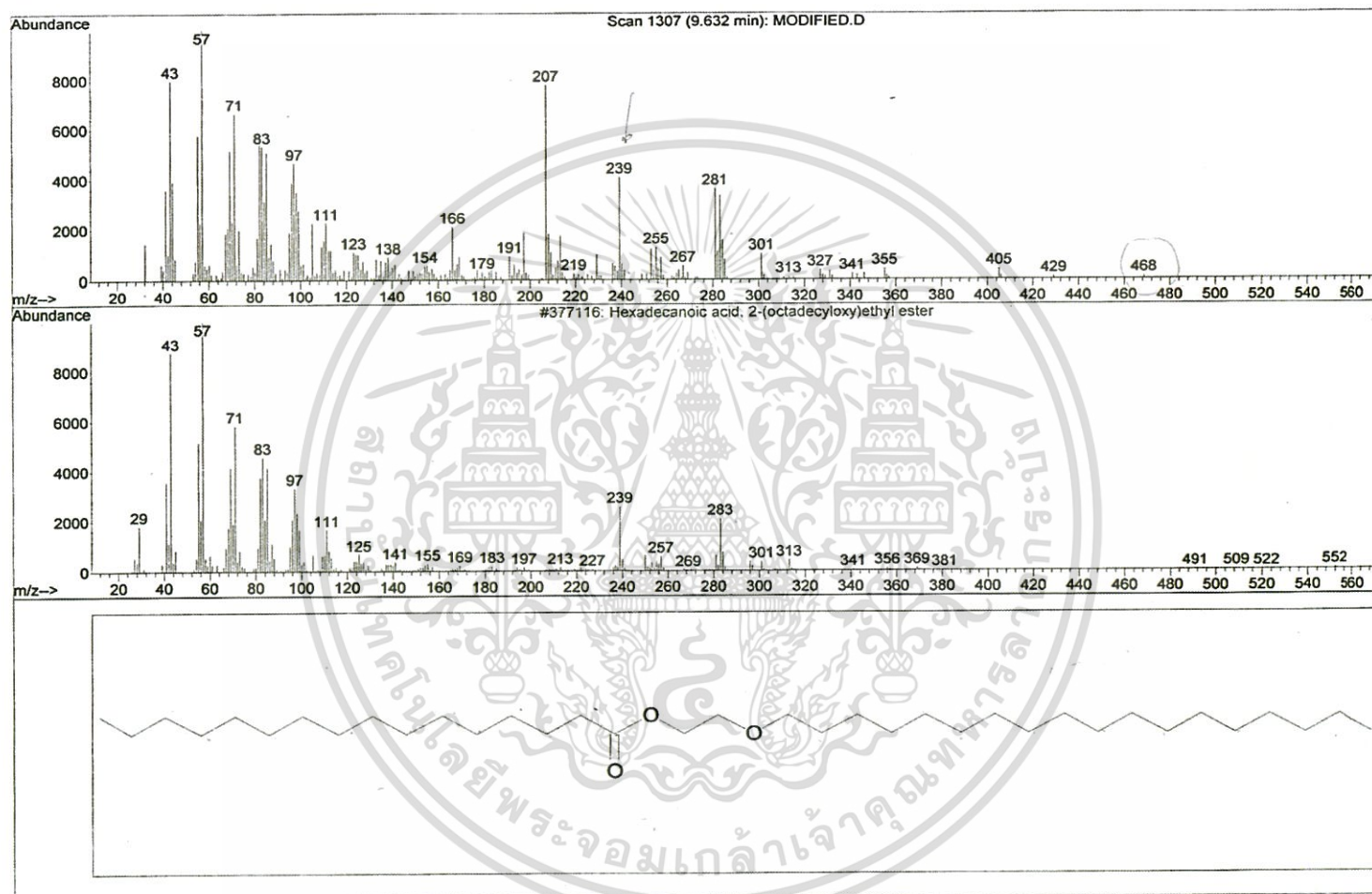
รูปที่ ก-10 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 7.79

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 89
ID : Hexadecanoic acid, dodecyl ester



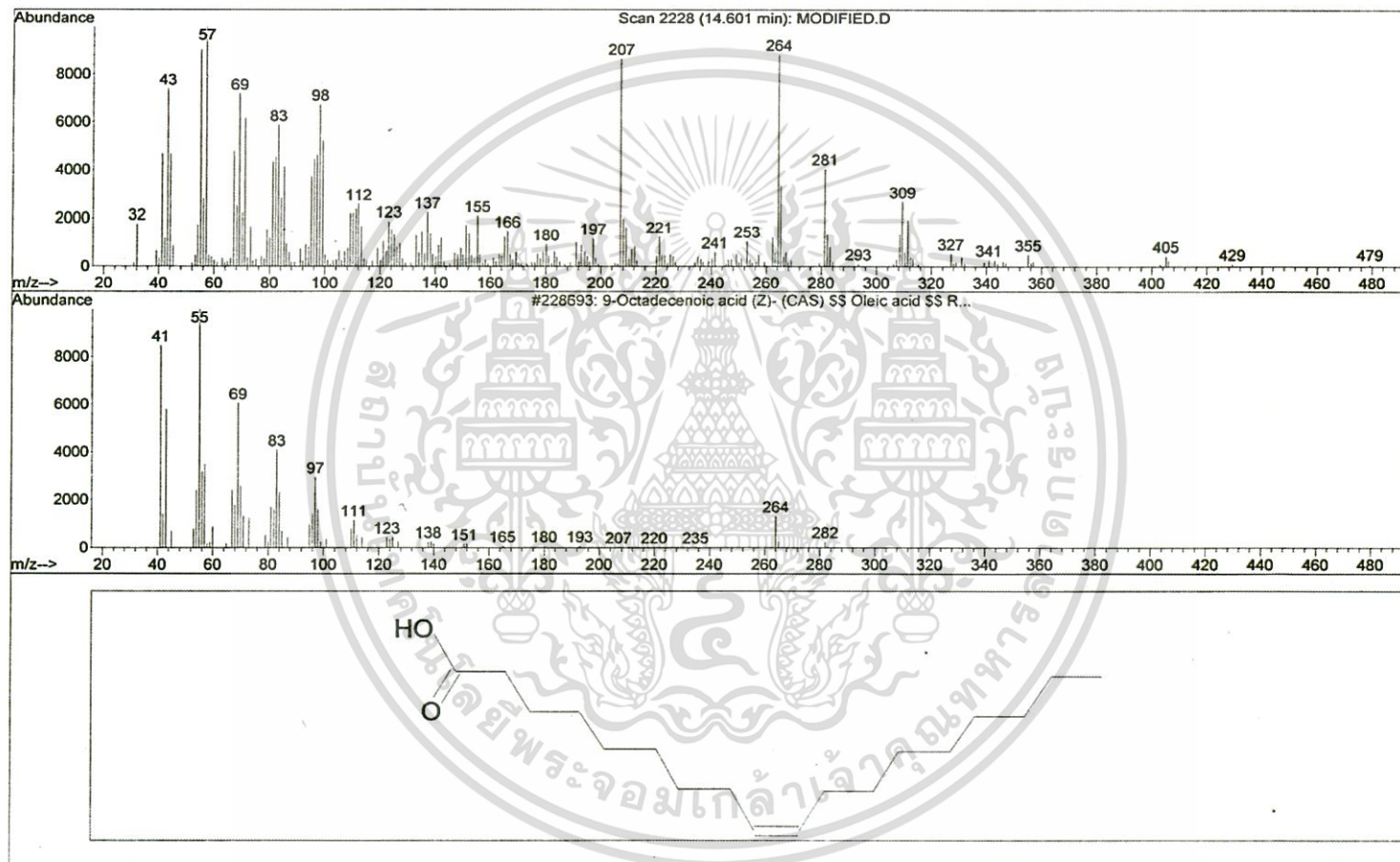
รูปที่ ก-11 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 7.85

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 43
ID : Hexadecanoic acid, 2-(octadecyloxy)ethyl ester



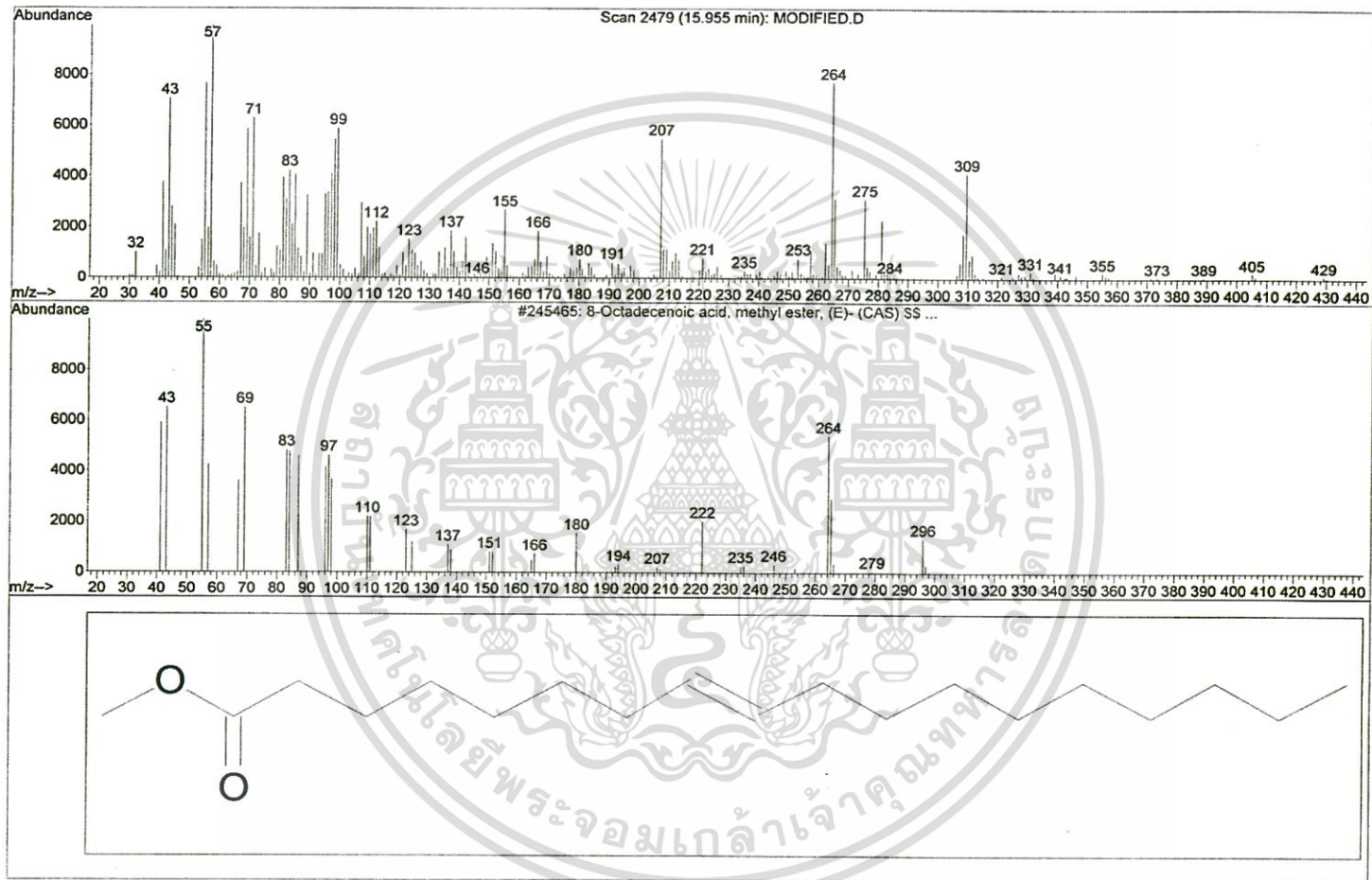
รูปที่ ก-12 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 9.63

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
 Quality : 51
 ID : 9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) \$\$ Oleic acid \$\$ Red oil \$\$ Oelsauere \$\$ Oleine 7
 503 \$\$ Pamolyn 100 \$\$ Emersol 211 \$\$ Vopcolene 27 \$\$ cis-Oleic acid \$\$ Wecoline
 00 \$\$ Z-9-Octadecenoic acid \$\$ cis-9-Octadecenoic acid \$\$.delta.9-cis-Oleic aci
 d \$\$ 9-Octadece



รูปที่ ก-13 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 14.60

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
 Quality : 18
 ID : 8-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (CAS) \$\$ TRANS-8-OCTADECENOIC METHYL EST
 ER \$\$ Methyl trans-8-octadecenoate

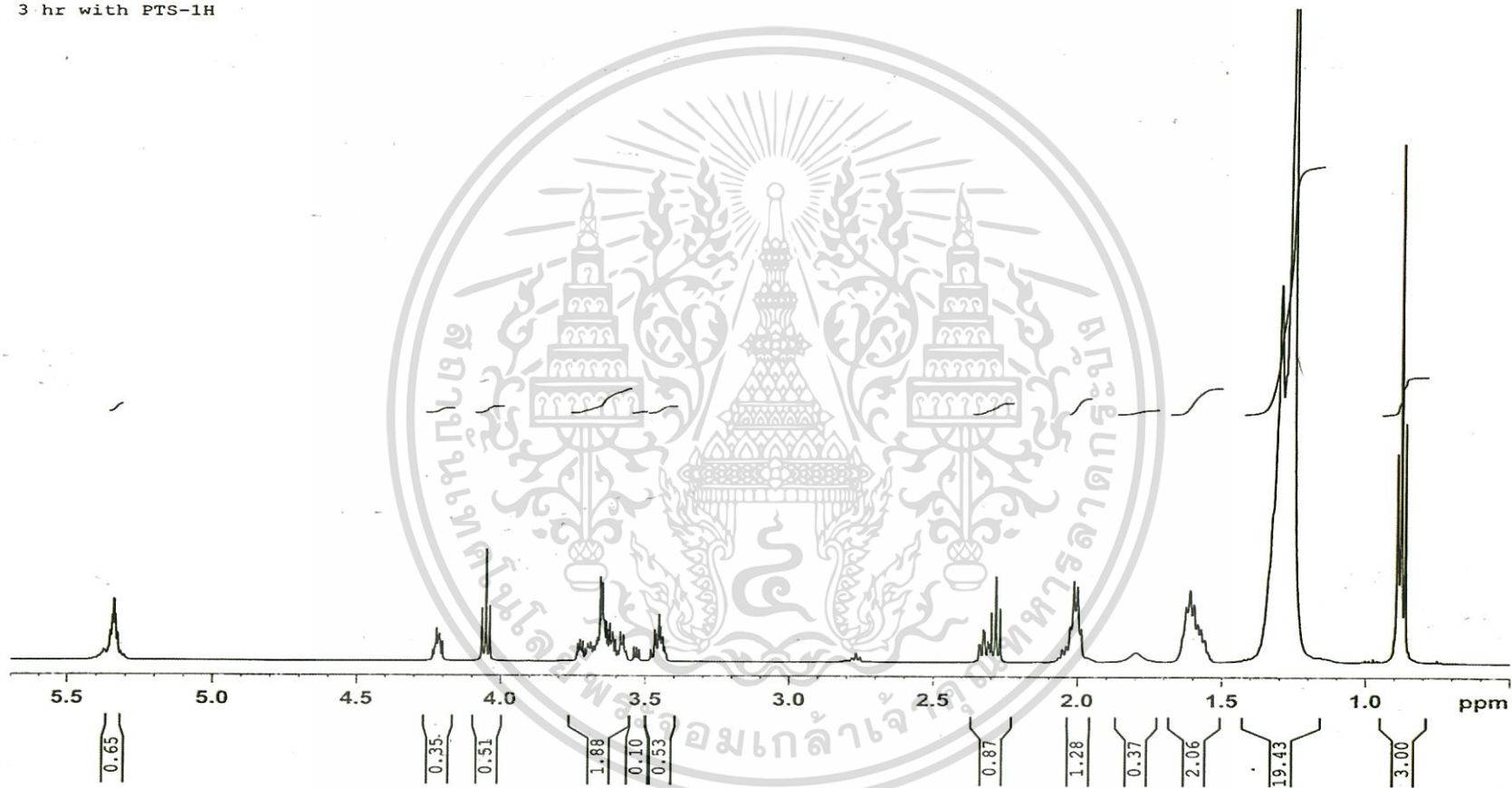


รูปที่ ก-14 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค GC-MS นาทีที่ 15.95

ภาคผนวก ข

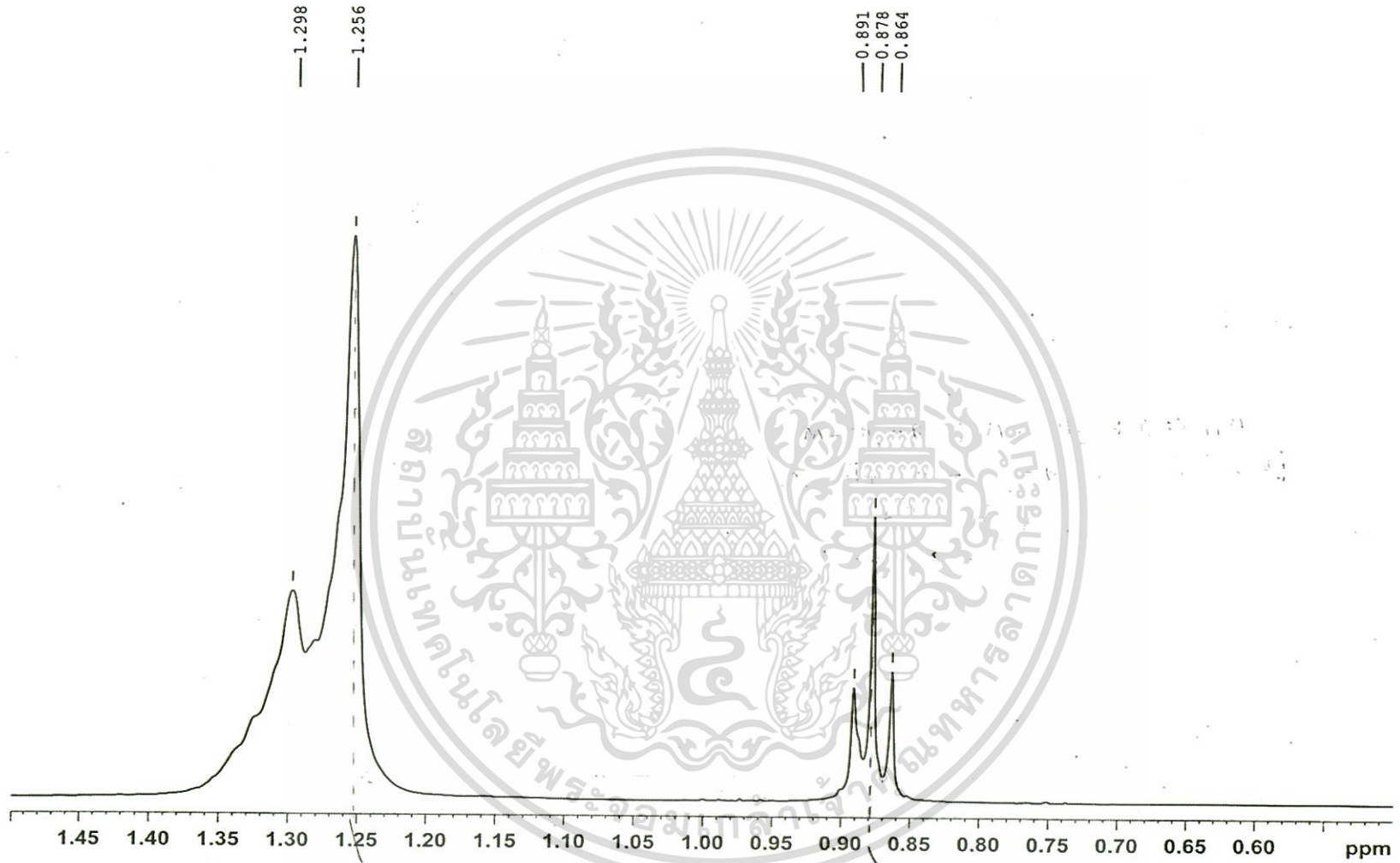
ผลการวิเคราะห์ด้วยสาร MFAE เทคนิค H^1 NMR

3 hr with PTS-1H



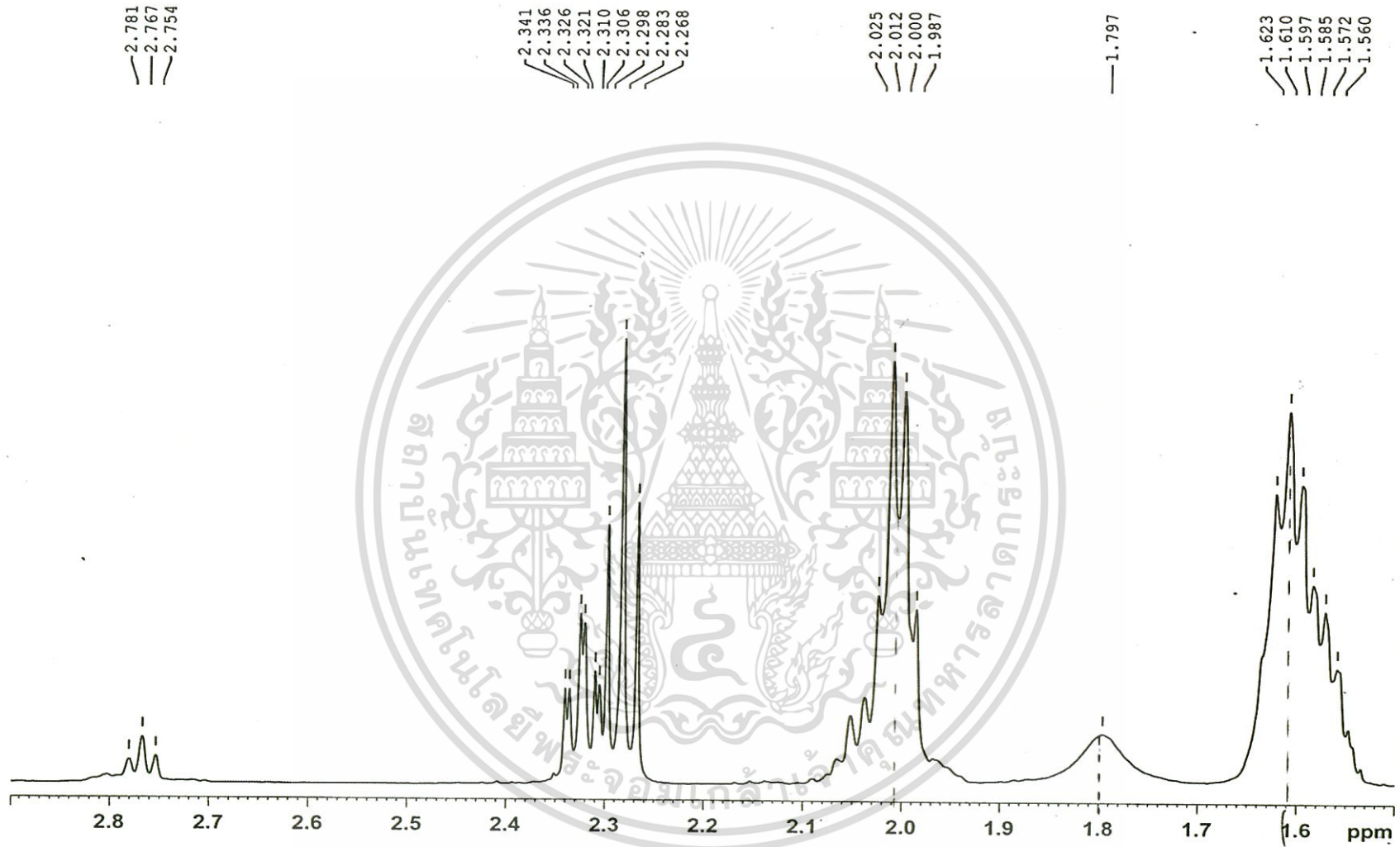
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ด้วยสาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR

3 hr with PTS-1H



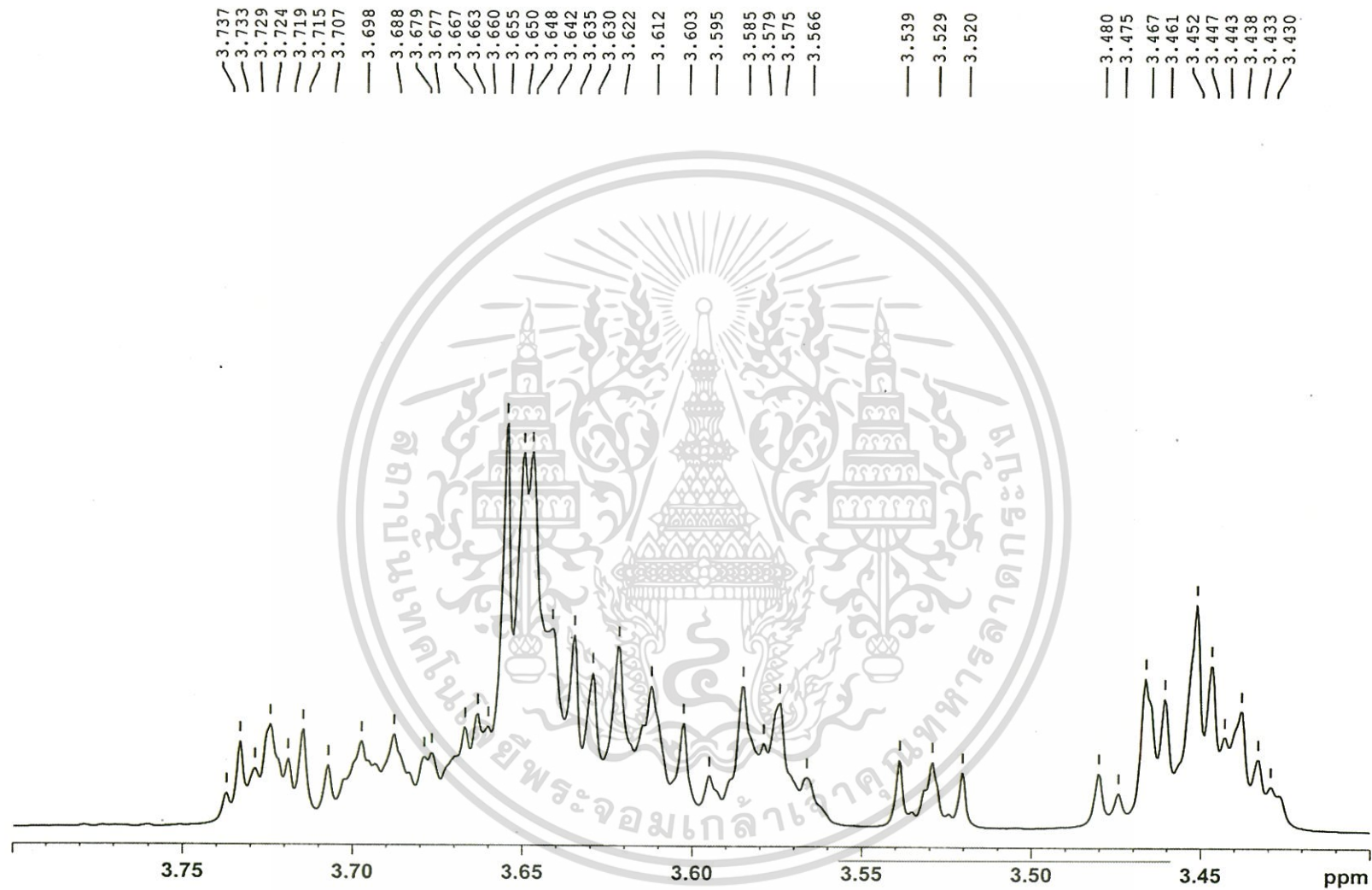
รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR ในช่วง 0.00 – 1.50 ppm

3 hr with PTS-1H



รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR ในช่วง 1.50 - 2.90 ppm

3 hr with PTS-1H



รูปที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR ในช่วง 3.40 - 3.80 ppm

3 hr with PTS-1H



รูปที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์สาร MFAE ด้วยเทคนิค H^1 NMR ในช่วง 4.00 – 5.50 ppm