



การสังเคราะห์และวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์ และการประยุกต์ใช้งาน

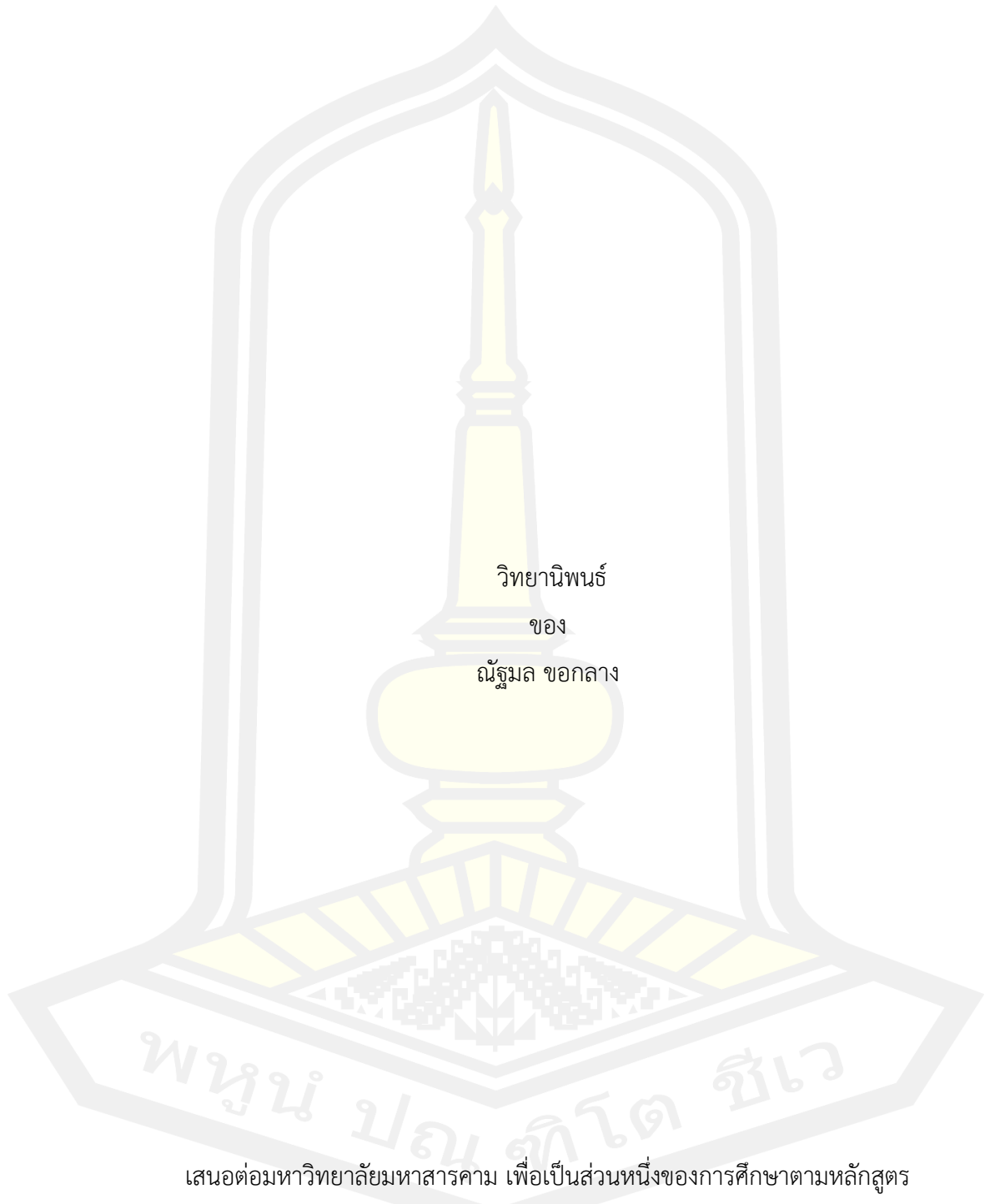
วิทยานิพนธ์
ของ
ณัฐมล ขอกกลาง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การสังเคราะห์และวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์ และการประยุกต์ใช้งาน



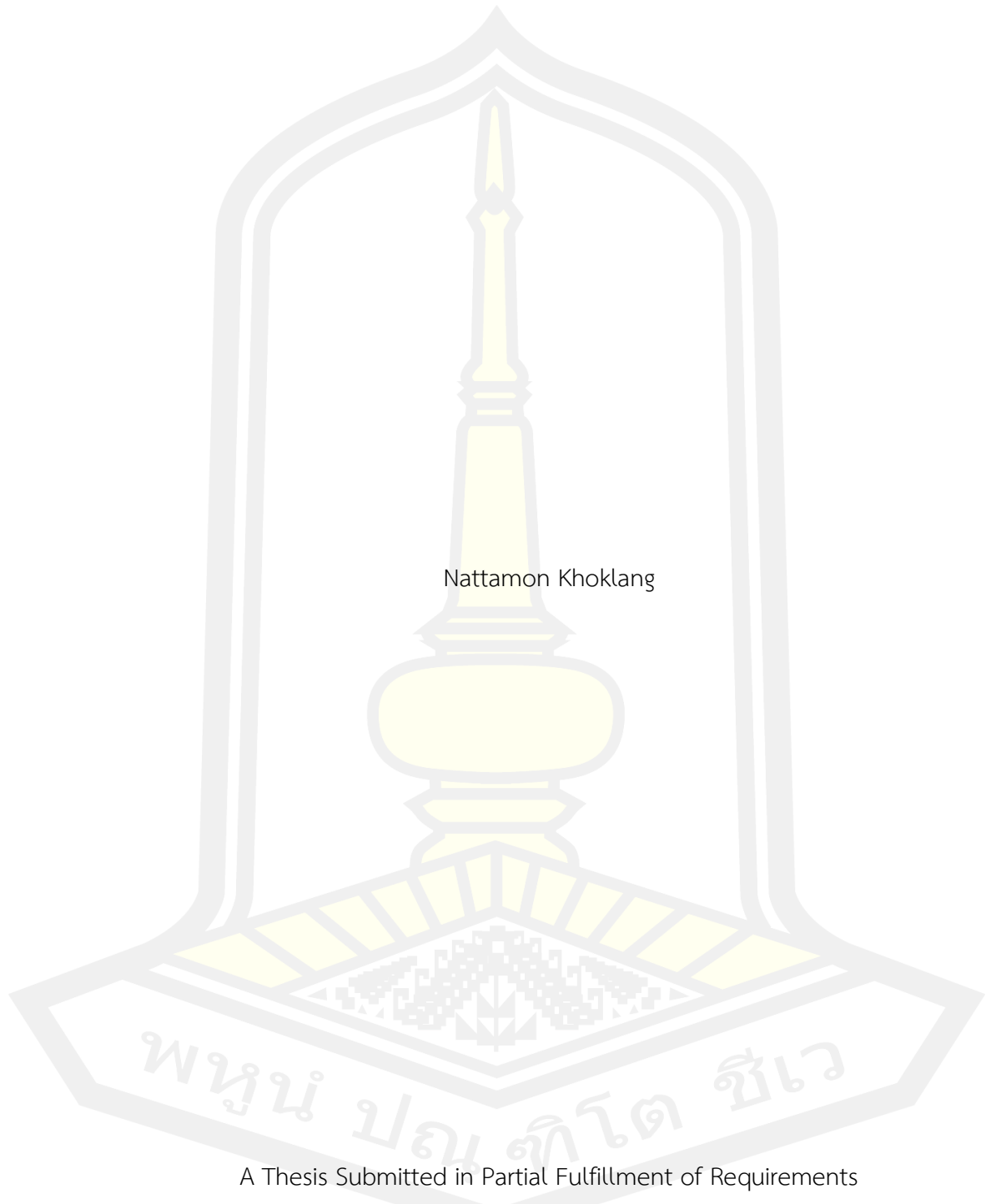
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Synthesis and analysis of epoxidized waste soybean oil and its application



Nattamon Khoklang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

December 2022

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวณัฐมล ขอกกลาง
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ดรรรชนีฯ พลหาญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ยศฐา ศรีเทพ)

..... กรรมการ

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

..... กรรมการ

(ผศ. ดร. ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

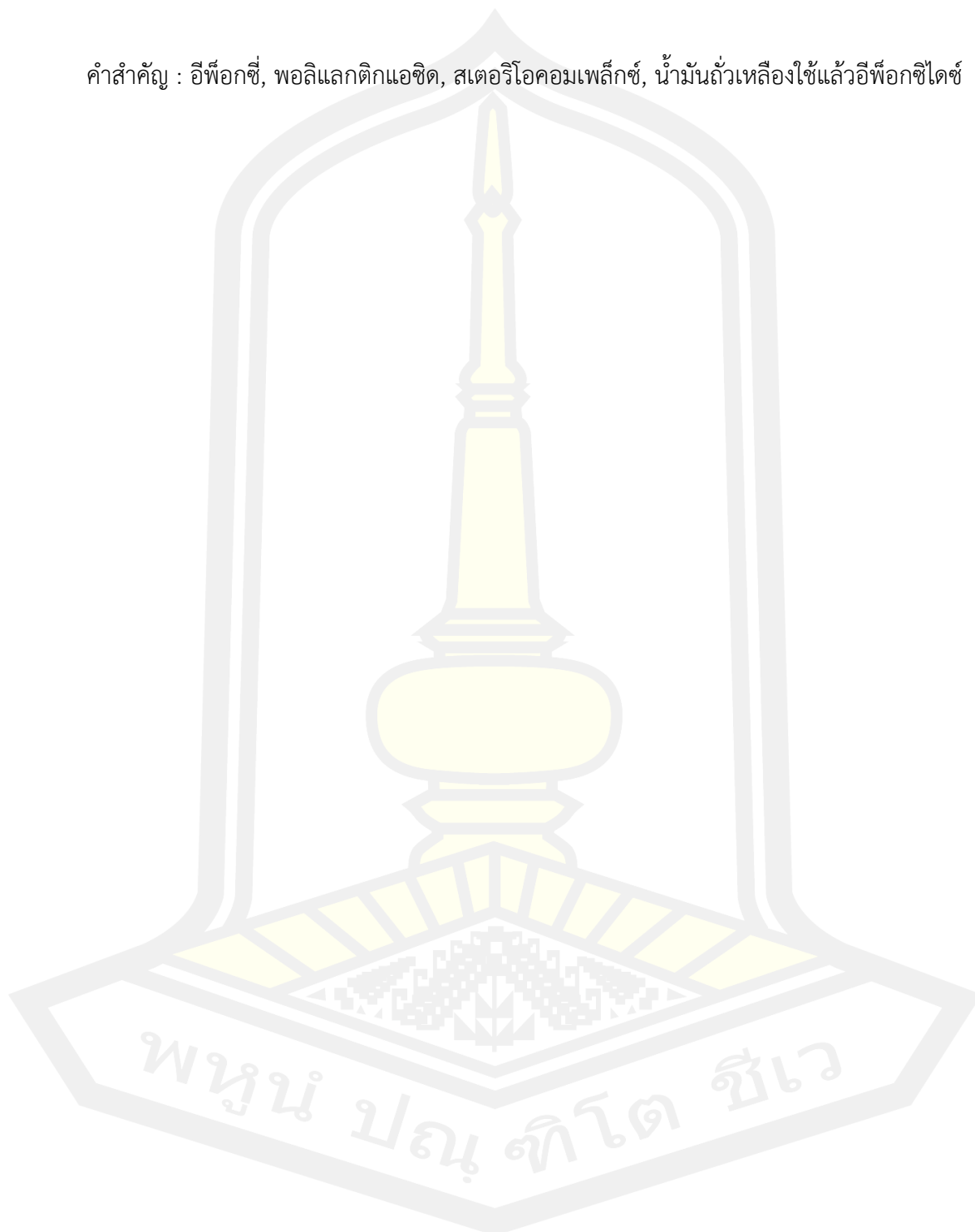
ชื่อเรื่อง	การสังเคราะห์และวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์ และการประยุกต์ใช้งาน		
ผู้วิจัย	ณัฐมล ขอกกลาง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ยศฐา ศรีเทพ		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาน้ำมันถั่วเหลืองเหลือใช้โดยการสังเคราะห์เป็นน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized waste soybean oil; EWSO) แล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized soybean oil; ESO) น้ำมันทั้งสองประเภท EWSO และ ESO วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีแล้วพบเลขคลื่นที่ 827 cm^{-1} ซึ่งเป็นกลุ่มอีพ็อกซิไดซ์ นำน้ำมันที่ได้มาทำการทดลองสองครั้ง ในการทดลองแรก น้ำมันสังเคราะห์ทั้งสองชนิด EWSO และ ESO มาใช้แทนอีพ็อกซิจากบิโตรเลียม ในอัตราส่วน Epoxy : oils 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก epoxy:oils ผสมกับเครื่องกวาดและเทลงในแม่พิมพ์ การศึกษาทางสัณฐานวิทยา (SEM) พบว่ามีการแยกตัวระหว่าง อีพ็อกซิ:น้ำมัน ซึ่งแตกต่างจากการผสมอีพ็อกซิ:น้ำมันถั่วเหลืองไม่สังเคราะห์ ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกแยกอย่างชัดเจน การทดสอบความแข็งพบว่า epoxy:EWSO และ epoxy:ESO มีความแข็งใกล้เคียงกัน จากการทดสอบคุณสมบัติทางกลพบว่าชิ้นงาน epoxy:EWSO มีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับ epoxy:ESO การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนพบว่าชิ้นงานในแต่ละอัตราส่วนมีอุณหภูมิคายความร้อนเท่ากัน ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิการแข็งตัวที่ใกล้เคียงกัน ในการทดลองที่สอง EWSO ผสมกับโพลีแลคไทด์โพลีแอลแลคไทด์ (PLLA) หรือโพลีแลคไทด์สเตอริโอคอมเพล็กซ์ (ST) โดยการละลายในคลอโรฟอร์มที่อุณหภูมิห้อง และฟิล์มของ PLLA:EWSO และ ST:EWSO ถูกหล่อสมบัติเชิงกลพบว่าชิ้นงาน ST:EWSO มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับชิ้นงาน ST และมีแนวโน้มการยืดตัวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ EWSO ที่เพิ่มขึ้น และการยืดตัวสูงสุดของชิ้นงาน ST+30EWSO คือ 30.73.mm การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนพบว่าชิ้นงานทดสอบ ST และ ST:EWSO แสดงสเตอริโอคอมเพล็กซ์เป็นส่วนใหญ่ และจุดหลอมเหลวของ ST สูงกว่า PLLA ประมาณ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ การทดสอบ FTIR ของตัวอย่าง ST และ ST:EWSO มีจุดสูงสุดที่ 908 cm^{-1} ซึ่งยืนยันการก่อตัวของโครงสร้างผลึกพอลิแลคไทด์แบบสเตอริโอคอมเพล็กซ์ การทดสอบทางสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงาน PLA และ ST นั้นเรียบ แต่ที่อัตราส่วน EWSO ที่สูงขึ้นใน PLLA หรือ

ST การแยก EWSO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : อีพ็อกซี, พอลิแลกติกแอซิด, สเตอริโอคอมเพล็กซ์, น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์



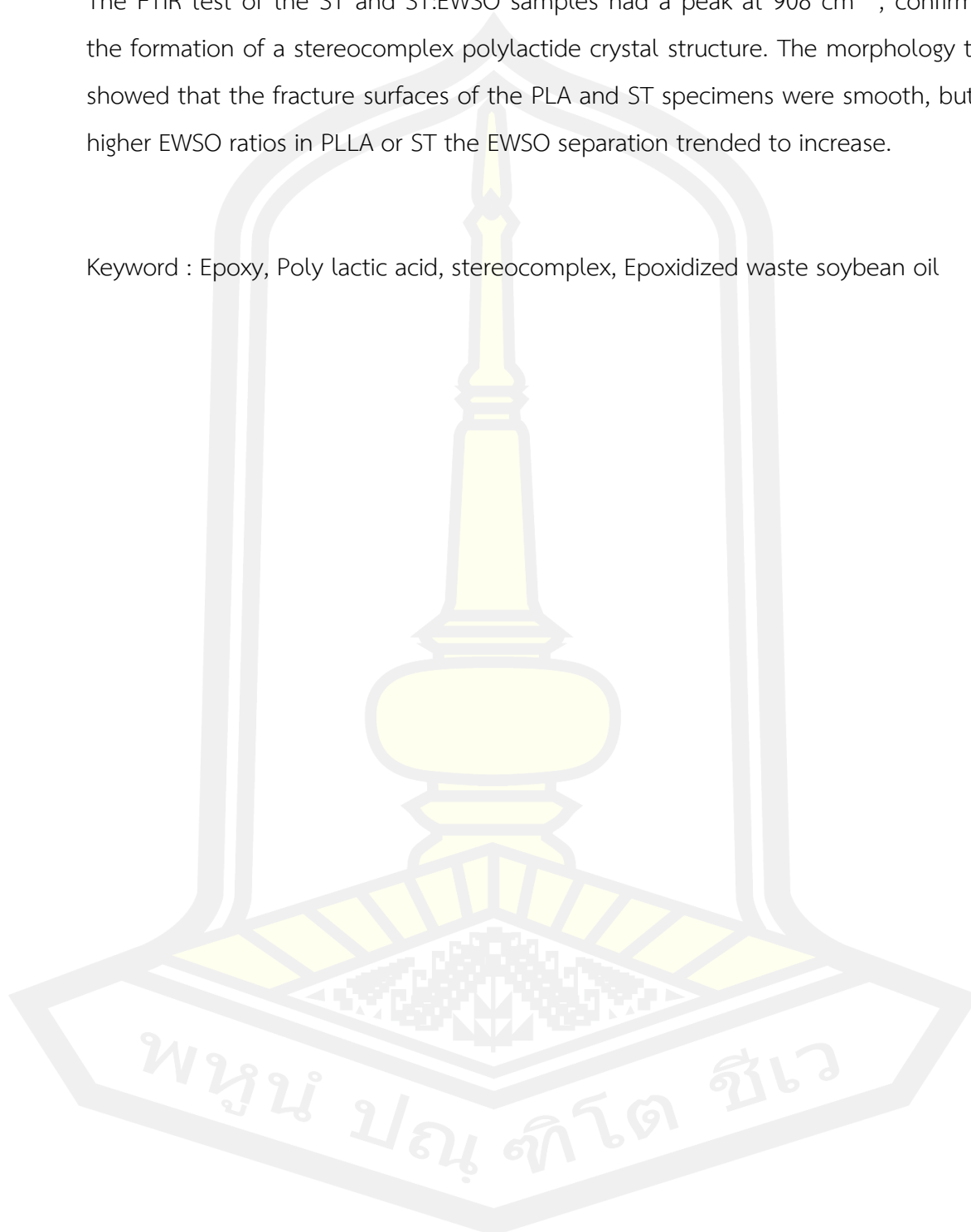
TITLE	Synthesis and analysis of epoxidized waste soybean oil and its application		
AUTHOR	Nattamon Khoklang		
ADVISORS	Associate Professor Yottha Srithep , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2022

ABSTRACT

The purpose of this study is to reduce the problem of waste soybean oil by synthesizing it into epoxidized waste soybean oil (EWSO) and then comparing it to epoxidized soybean oil (ESO). Both types of oils; EWSO and ESO were analyzed for the chemical structure and found a peak of 827 cm^{-1} , which was an epoxy group. The resulting oils were tested in two experiments. In the first experiment, both synthesized oils; EWSO and ESO; were used to replace epoxy from petroleum at the ratio of Epoxy: oils 90:10, 80:20, and 70:30 by weight. The epoxy:oils were mixed with a stirrer and poured into tube molds. Morphology (SEM) studies revealed that the separation between Epoxy:oils was different from the blend of epoxy:unsynthesized soybean oil; which clearly shows the separation. Hardness tests showed that epoxy:EWSO and epoxy:ESO had similar hardness. The mechanical properties test showed that the epoxy:EWSO specimen had tensile strength similar to that of epoxy:ESO. The thermal properties test showed that the specimens in each ratio had the same exothermic temperature; which represents a similar solidification temperature. In the second experiment, EWSO was mixed with poly-L-lactide (PLLA) or stereocomplex (ST) polylactide by dissolving in chloroform at room temperature and films of PLLA:EWSO and ST:EWSO were casted. The mechanical properties found that the ST:EWSO specimen had similar strength to the ST specimen and the tendency of elongation increased with increasing the proportion of EWSO and the maximum elongation of the ST+30EWSO specimen was 30.73.mm. Thermal properties test revealed that the ST and ST:EWSO specimens showed mostly

stereocomplex and the melting point of ST was is higher than PLLA around 50 °C. The FTIR test of the ST and ST:EWSO samples had a peak at 908 cm^{-1} , confirming the formation of a stereocomplex polylactide crystal structure. The morphology test showed that the fracture surfaces of the PLA and ST specimens were smooth, but at higher EWSO ratios in PLLA or ST the EWSO separation trended to increase.

Keyword : Epoxy, Poly lactic acid, stereocomplex, Epoxidized waste soybean oil



กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร. ยศฐา ศรีเทพ ที่ถ่ายทอดเทคโนโลยี ได้สละเวลาอันมีค่าแก่ผู้วิจัยเพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้จากใจจริง

ณัฐมล ขอกกลาง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 แนวคิดของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2.....	5
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ำมันถั่วเหลือง.....	5
2.2 กรด meta-Chloroperoxybenzoic acid (m-CPBA).....	5
2.3 น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์.....	6
2.4 Dichloromethane (DCM).....	6
2.5 อีพ็อกซีเรซินและสารช่วยเร่งแข็ง (Crosslink).....	7
2.6 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid or PLA).....	7

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3	15
วิธีดำเนินงาน.....	15
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.3 วิธีการเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์.....	16
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	16
บทที่4.....	23
วิเคราะห์ผลการทดสอบ	23
4.1 การวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว.....	23
4.2 ผลการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์และอีพ็อกซีเรซิน.....	23
4.3 ผลการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วและพอลิเมอร์.....	31
บทที่ 5	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์และอีพ็อกซีเรซิน.....	40
5.2 การประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์และแล็กไทด์.....	41
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	42
บรรณานุกรม.....	43
ภาคผนวก (ก).....	48
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	48
ภาคผนวก (ข).....	51
ผลการทดลอง	51
ประวัติผู้เขียน.....	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การเตรียมอัตราส่วนระหว่าง EPOXY และน้ำมัน	17
ตาราง 2 อัตราส่วนที่ใช้สำหรับเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLLA/PDLA และ น้ำมันชนิดต่างๆ (OIL)	20
ตาราง 3 แสดงค่าการทดสอบทางความร้อน.....	36

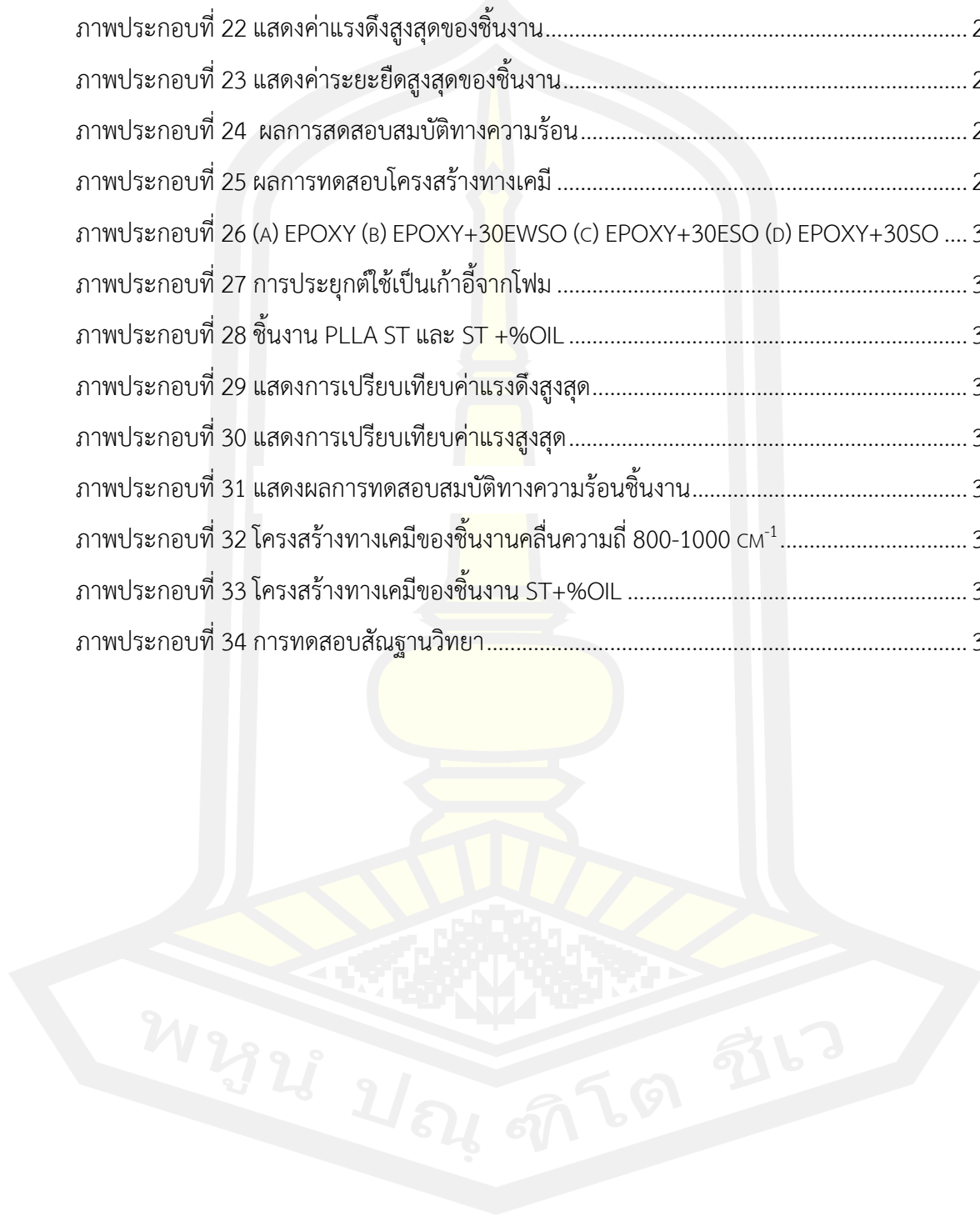


สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบที่ 1 การใช้งานอีพ็อกซีเรซินจากปิโตรเลียมเคมีและอีพ็อกซีจากชีวภาพ (SUDHEER K. ET. AL,2017).....	2
ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ESO (BASTURK E. ET AL., 2013).....	6
ภาพประกอบที่ 3 แผนผังของโพลีอีพ็อกซีเทอร์โมเซตติงทางชีวภาพ	8
ภาพประกอบที่ 4 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR A) ESO0.7FPA, B) ESO และ C) FPA	9
ภาพประกอบที่ 5 การแสดงแรงอัดของโพลีเทอร์โมเซตติงซีทีที่ใช้.....	10
ภาพประกอบที่ 6 (A) การเตรียม ESOV ผ่านการบ่ม ESO ด้วย APD (B) การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของ ESOV ผ่านปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอโซไซยาเนต.....	10
ภาพประกอบที่ 7 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR.....	11
ภาพประกอบที่ 8 สมบัติทางกล A) ค่าความต้านทานแรงดึง B) ค่ามอดุลัสที่สภาพยืดหยุ่น C) ระยะยืดเมื่อขึ้นงานขนาด D) รูปเปรียบเทียบการยึดตัวของ PLA PLA+EPO และ PLA+ESO.....	12
ภาพประกอบที่ 9 SEM IMAGES (A) PURE PLA, (B) 10ESO, (C) 0.4TA-ESO, (D) 0.8TA-ESO; SIZE (E) 10ESO, (F) 0.4TA-ESO, (G) 0.8TA-ESO (H) PURE PLA, (I) 10ESO, (J) 0.4TA-ESO, AND (K) 0.8TA-ESO.....	13
ภาพประกอบที่ 10 กราฟความเค้น-ความเครียด A) 12.5% TPS, B) 25% TPS	14
ภาพประกอบที่ 11 เครื่อง FOURIER TRANSFORM INFRARED (FT-IR) SPECTROSCOPY.....	16
ภาพประกอบที่ 12 เครื่องทดสอบความแข็ง SHORE A	18
ภาพประกอบที่ 13 เครื่องทดสอบแรงดึง (TENSILE TESTING)	18
ภาพประกอบที่ 14 เครื่อง DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETER (DSC) รุ่น DSC-4000	19
ภาพประกอบที่ 15 เครื่อง SCANNING ELECTRON MICROSCOPY) รุ่น HITACHI TM4000PLUS	20
ภาพประกอบที่ 16 เครื่องทดสอบแรงดึง (TEXTURE ANALYZER)	21
ภาพประกอบที่ 17 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองชนิดต่างๆ	23
ภาพประกอบที่ 18 รูปชิ้นงาน EPOXY เมื่อผสมน้ำมันชนิดต่างๆ	24
ภาพประกอบที่ 19 ค่าความแข็งของชิ้นงานเมื่ออบที่เวลา 3 ชั่วโมง.....	25

ภาพประกอบที่ 20 ค่าความแข็งของชิ้นงานเมื่ออบที่เวลา 5 ชั่วโมง	26
ภาพประกอบที่ 21 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน EPOXY+%ESO	26
ภาพประกอบที่ 22 แสดงค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน.....	27
ภาพประกอบที่ 23 แสดงค่าระยะยืดสูงสุดของชิ้นงาน.....	28
ภาพประกอบที่ 24 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	29
ภาพประกอบที่ 25 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมี	29
ภาพประกอบที่ 26 (A) EPOXY (B) EPOXY+30EWSO (C) EPOXY+30ESO (D) EPOXY+30SO	30
ภาพประกอบที่ 27 การประยุกต์ใช้เป็นแก้วอีจากโฟม	31
ภาพประกอบที่ 28 ชิ้นงาน PLLA ST และ ST +%OIL	32
ภาพประกอบที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุด.....	33
ภาพประกอบที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงสูงสุด.....	34
ภาพประกอบที่ 31 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนชิ้นงาน.....	36
ภาพประกอบที่ 32 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงานคลื่นความถี่ 800-1000 cm^{-1}	37
ภาพประกอบที่ 33 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%OIL	38
ภาพประกอบที่ 34 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากในประเทศไทย ซึ่งมีราคาไม่แพงและหาได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการผลิต สารเคลือบผิว อุตสาหกรรมสารหล่อลื่น น้ำมันถั่วเหลืองมีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากมีพันธะคู่ที่ว่องไวบนสายโซ่ หากมีการดัดแปรโดยผ่านกระบวนการอีพอกซิเดชันจะได้เป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (epoxidized soybean oil) และสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ แต่มีข้อด้อยด้านความแข็งแรงอาจจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติ และรวมไปถึงการทำเป็นวัสดุคอมโพสิตในเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Plastic) ก็เป็นอีกทางหนึ่ง ที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันถั่วเหลืองทำให้เกษตรกรผู้ผลิตมีรายได้เพิ่มขึ้น และยังเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ (พิมพ์ชนก และคณะ, 2550)

เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เช่น อีพอกซี ซึ่งปัจจุบันแหล่งที่มาของการผลิตอีพอกซีเรซินมี 2 ส่วนหลักๆ คือ อีพอกซีจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมี (Petroleum based epoxy resin) และอีพอกซีเรซินจากชีวภาพ (bio-based epoxy resin) โดยเกือบ 75% ของการผลิตอีพอกซีพรีพอลิเมอร์ของโลก ถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาการควบแน่นของบิสฟีนอลเอ (BPA) และถือว่าเป็นอีพอกซีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมากที่สุด ตลาดอีพอกซีทั่วโลกสามารถสร้างรายได้ 5.5 พันล้านดอลลาร์ในปี 2554 และสูงถึง 8.4 พันล้านดอลลาร์ภายในปี 2560 ซึ่งอีพอกซีเรซินมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นกาวเคลือบและวัสดุเคลือบในการใช้งานในอุตสาหกรรมที่หลากหลายแสดงดังภาพประกอบที่ 1.1 เนื่องจากคุณสมบัติอิเล็กทรอนิกส์ที่ยืดหยุ่น การหดตัวต่ำ การยึดเกาะที่แข็งแกร่งกับวัสดุโลหะและอโลหะ มีความมั่นคงที่ดีความแข็งแรงสูง ความยืดหยุ่นและเสถียรภาพที่ดีเยี่ยมในตัวทำละลายและสารละลาย อย่างไรก็ตาม BPA ในฐานะตัวทำละลายก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งหลายประเทศได้ห้าม BPA เป็นวัตถุดิบในการผลิตโพลีเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พอลิ

เมอร์ ปัญหาสิ่งแวดล้อมทั่วโลกจึงมีวิจัยและอุตสาหกรรมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เป็นอีพ็อกซีเรซินชีวภาพ การวิจัยจำนวนมากได้ดำเนินการในการสังเคราะห์อีพ็อกซีเรซินที่ใช้สารที่ได้มาจากน้ำมันพืช, ลิกนิน, โรซิน, แทนิน, คาโนลา, หรือกรดอโคนิคเพื่อแทนที่ BPA จึงมุ่งเน้นที่จะนำน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารเหล่านี้มาจัดการโดยการสังเคราะห์เป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์เพื่อเป็น Bio-based ของอีพ็อกซีเรซิน



ภาพประกอบที่ 1 การใช้งานอีพ็อกซีเรซินจากบิโตรเลียมเคมีและอีพ็อกซีจากชีวภาพ (Sudheer K. et. al,2017)

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลก ได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวสามารถเปลี่ยนรูปได้ เช่น พอลิแลกติกแอซิด (poly lactic acid, PLA) ซึ่งปัจจุบัน PLA เป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้มาจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพด และมันสำปะหลัง ทำให้พอลิแลกติกแอซิดกำลัง ได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิจัยและอุตสาหกรรมในปัจจุบัน มีข้อดีคือมีสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ น้ำหนักเบาไม่เป็นพิษ และราคาถูก สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ (ดรรชนี และยศฐา, 2559) ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง พอลิแลกติกแอซิดจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (อมรรัตน์, 2554)

พลาสติกชีวภาพนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดความเปราะของพลาสติกชีวภาพโดยอาศัยสมบัติยืดหยุ่นที่ดี โดยเฉพาะ PLA ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่มีความเปราะมากเนื่องจากมีค่าอุณหภูมิ

เปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ $+60$ °C (ทิพย์ธิดา และยศฐา, 2563) จึงการผสมกันระหว่างโพลีเมอร์กับ PDLA (poly -D -lactide) และ PLLA สร้างสเตอริโอคอมเพล็กซ์ที่มีความสม่ำเสมอสูงโดยมีความเป็นผลึก ความคงตัวของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อใช้ส่วนผสม 1: 1

โครงการวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้ว (WSO) มาสังเคราะห์เป็นน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกไซด์ (EWSO) หลังจากนั้นนำ EWSO มาใช้ทดแทนอีพ็อกไซด์จากปิโตรเลียม เพื่อลดต้นทุนและการใช้อีพ็อกไซด์จากปิโตรเลียมเคมี นอกจากนี้ก็ทำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์กับโพลีแลคติกแอซิด (PLA) ซึ่งเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยการเพิ่มปริมาณ EWSO เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของ PLA ให้เหนียวขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อนำน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วมาสังเคราะห์เป็นน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกไซด์และปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ

1.2.2 เพื่อนำน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกไซด์มาใช้ทดแทนการใช้อีพ็อกไซด์ที่ทำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากมีสารที่เป็นอันตรายคือ บิสฟีนอลเอ (BPA)

1.2.3 เพื่อนำน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์จากการสังเคราะห์มาเพิ่มประสิทธิภาพกับพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ให้มีความยืดหยุ่นและเหนียวขึ้น

1.3 แนวคิดของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันถั่วเหลืองที่แพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่นอุตสาหกรรมอาหาร และนอกจากนั้นน้ำมันถั่วเหลืองได้ถูกนำมาใช้ในด้านอื่นๆ ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxidized Soybean oil, ESO) ได้ถูกดัดแปลงจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยผ่านปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันเพิ่มความว่องไวต่อปฏิกิริยามากขึ้นเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรม น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ถูกนำไปใช้ในหลายๆ ด้าน เช่นเป็นสารเพิ่มความเหนียว สารช่วยเพิ่มความเสถียร ในงานวิจัยนี้จึงหาแนวทางการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว เพื่อลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม โดยการนำน้ำมันถั่วเหลืองที่เหลือใช้มากรองให้ใสแล้วผสมกับกรด meta-Chloroperoxybenzoic acid (mCPBA or mCPBA) ที่อุณหภูมิต่ำหลังจากนั้นมีการทดสอบดูโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิค FTIR

เพื่อให้ได้ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่เอีพ็อกซีที่ประมาณ 830 cm^{-1} เพื่อความเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้งานได้หลากหลาย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างเพียงพอและยั่งยืน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 สังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ด้วยการนำน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว ผสมกับ meta-Chloroperoxybenzoic acid (mCPBA) ผสมในปิกเกอร์ขนาด 250 ml. ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

1.4.2 นำน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากการสังเคราะห์มาเป็นพลาสติกไซเซออร์กับพอลิแลกติกแอซิดทำในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม โดยการเพิ่มน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ 10% 20% และ 30% ตามลำดับ ตรวจสอบสมบัติทางกลโดยเครื่อง Texture Analyzer เพื่อดูการยึดตัวของแผ่นฟิล์ม ตรวจสอบดูพื้นผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง Scanning electron microscope

1.4.3 เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยการแทนที่ส่วนประกอบของเรซินแบบดั้งเดิมบางส่วน โดยการเพิ่มน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากการสังเคราะห์ 10% 20% และ 30% ตรวจสอบสมบัติทางกลโดยเครื่อง Texture Analyzer

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์ และช่วยลดมลพิษจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว

1.5.2 สามารถนำน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์มาเป็นพลาสติกไซเซออร์ใน PLA ทำให้ PLA เหนียวขึ้น ยืดหยุ่นมากขึ้น และช่วยลดต้นทุนของ PLA

1.5.3 สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว

1.5.4 ได้องค์ความรู้ใหม่เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติของพลาสติกและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดได้ต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันถั่วเหลือง

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองมีแนวโน้มในการขยายตัวเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดโดยเฉลี่ยถึงปีละ 19% ถึงแม้ว่าสัดส่วนการครองตลาดที่ลดลงเนื่องจากการแข่งขันกับน้ำมันปาล์มอย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อคิดจากมูลค่าที่ขายได้นั้นไม่ใช่ตัวน้ำมันถั่วเหลืองเอง แต่เป็นกากน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งมีมูลค่าสูงถึง 65% ของผลผลิตน้ำมันถั่วเหลืองและกากรวมกัน โรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลืองเป็นไตรกลีเซอไรด์ ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดไขมันซึ่งพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid) โดยเฉพาะ กรดไขมันโอเมกา-6 (omega-6 fatty acid) ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid) (สุทัศน์ และคณะ, 2556) น้ำมันถั่วเหลืองถือเป็นส่วนประกอบในอาหารเกือบทุกประเภท จึงไม่น่าแปลกใจเลยที่เกือบทุกบ้านจะมีน้ำมันใช้แล้วเหลืออยู่ ทว่าอย่างที่เราทราบดีว่าการเทน้ำมันทิ้งในท่อระบายน้ำ เป็นตัวการสำคัญ ทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน และยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ

2.2 กรด meta-Chloroperoxybenzoic acid (m-CPBA)

meta-Chloroperoxybenzoic acid (m-CPBA) คือ กรด peroxycarboxylic ของแข็งสีขาวใช้กันอย่างแพร่หลายในฐานะ ออกซิแดนท์ ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ m-CPBA มักนิยมใช้กับกรดเพอรอกซีอื่น ๆ เนื่องจากความสะดวกในการจัดการ mCPBA เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงซึ่งอาจทำให้เกิดไฟไหม้เมื่อสัมผัสกับวัสดุไวไฟ

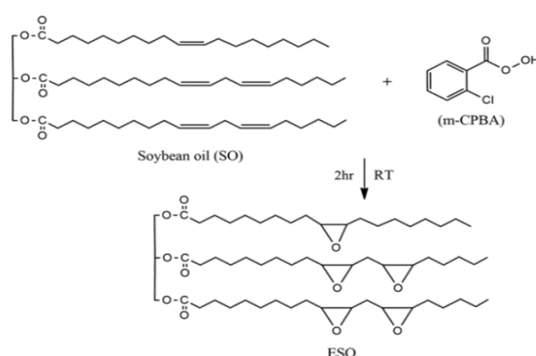
m-CPBA สามารถเตรียมได้โดยการทำปฏิกิริยา m-Chlorobenzoyl chloride ด้วยสารละลายพื้นฐานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามด้วยการทำให้เป็นกรดมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เป็นส่วนผสมที่เสถียรในตัวเองซึ่งมีค่า m-CPBA น้อยกว่า 72% โดยมีออกดคงเหลือประกอบด้วย chlorobenzoic acid (10%) และน้ำ peroxyacid สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยการล้างวัสดุทางการค้าด้วยสารละลายที่บัฟเฟอร์ที่ pH=7.5 Peroxyacids โดยทั่วไปมีความเป็นกรดน้อยกว่ากรดคาร์บอกซิลิกเล็กน้อยดังนั้นเราสามารถดึงสิ่งเจือปนของกรดได้โดยการควบคุมอย่างระมัดระวัง pH วัสดุบริสุทธิ์มีความเสถียรพอสมควรต่อการสลายตัวหากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำในภาชนะพลาสติกในปฏิกิริยา

ที่ต้องควบคุมปริมาณ m-CPBA ที่แน่นอนตัวอย่างสามารถไตเตรทเพื่อกำหนดปริมาณที่แน่นอนของสารออกซิแดนซ์ที่ใช้งานอยู่ (ที่มา : สารานุกรมรีเอเจนต์สำหรับการสังเคราะห์สารอินทรีย์, 2548)

2.3 น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์

วัสดุจากน้ำมันถั่วเหลืองมีคุณสมบัติที่ไม่น่าพอใจเช่นความแข็งแรงและความแข็งแรงสำหรับการใช้งานบางอย่าง เนื่องจากมีโครงสร้างโซ่อะลิฟาติกที่ยาว แต่น้ำมันถั่วเหลืองดัดแปลงอะคริลิกผสมอินทรีย์และวัสดุผสมได้เตรียมและแสดงคุณสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้น (Gerbase et al., 2002), (Xia Y. et al., 2010)

การเกิดปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองและกรดไขมันทั่วไป นิยมใช้กรดเปอร์ออกไซด์เนื่องจากเป็นกรดที่ค่อนข้างเสถียร ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซิดกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งกรดเปอร์ออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันบนตำแหน่งของพันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลืองมีกลไก ภาพประกอบที่ 2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชัน



ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ESO (Basturk E. et al., 2013)

2.4 Dichloromethane (DCM)

ไดคลอโรมีเทน หรือ เมทิลีนคลอไรด์ (อังกฤษ: Dichloromethane หรือ Methylene chloride) คือ สารประกอบชนิดหนึ่ง มีสูตรเป็น CH_2Cl_2 เป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยได้ง่าย มีกลิ่นหอม มักใช้เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นสารประกอบคลอโรคาร์บอนที่มีอันตรายน้อยที่สุดชนิดหนึ่ง แม้ว่าไดคลอโรมีเทนจะเป็นสารคลอโรไฮโดรคาร์บอนที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีสมบัติระเหยได้ง่าย จึงเกิดอันตรายจากการสูดดมได้ เมื่อร่างกายเผาผลาญไดคลอโรมีเทน

จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษ และเมื่อไดคลอโรมีเทนสัมผัสกับผิวหนัง จะทำละลายไขมันบางส่วนบนผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคืองหรือแสบแดง ไตคลอโรมีเทนยังถือได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็ง เนื่องจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีส่วนทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด ตับ และตับอ่อนในสัตว์ และยังมีส่วนทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และเป็นพิษต่อทารกหรือตัวอ่อนในครรภ์

2.5 อีพ็อกซีเรซินและสารช่วยเร่งแข็ง (Crosslink)

จัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซต มีสมบัติเด่นด้านความแข็งแรงและการทนต่อการขีดข่วน ซึ่งเมื่อผ่านการเชื่อมโยงโมเลกุลหรือการอบ (Curing) แล้วไม่สามารถเปลี่ยนกลับรูปเดิมได้ นั่นคือเรซินถูกทำให้แข็งจนไม่สามารถหลอมเหลวใหม่ได้ ถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องเรซินก็ไม่สามารถอ่อนตัวได้อีก การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพอลิเมอร์เกิดเป็นโครงร่างแหแบบถาวรขึ้น การเกิดโครงร่างแหของเทอร์โมเซตนี้ทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหวได้น้อยหรือไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ จึงให้สมบัติที่ดีในเรื่องความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง การไม่ละลายตัวในตัวทำละลาย ความทนทานต่อความร้อน สารเคมี และการขีดข่วน

อีพ็อกซีเรซินเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นซึ่งเป็นสารจำพวกอีพ็อกไซด์และที่มีหมู่อีพ็อกไซด์อยู่ในโซ่พอลิเมอร์ก่อนเกิดการเชื่อมโยงหมู่อีพ็อกไซด์อาจจะอยู่ในรูปของออกซิแรน (oxirane) หรือหมู่ออกซิลีน (thoxyline) ดังนั้นอาจให้คำนิยามของอีพ็อกซีเรซินว่าเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยงโดยการเชื่อมโยงเกิดจากปฏิกิริยาของหมู่อีพ็อกซีกับสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงซึ่งมีด้วยกันหลายประเภท ได้แก่ พอลิเอมีนพอลิเอไมด์พอลิซิลไฟด์กรดหรือแอซิดแอนไฮไดรด์ทำให้ได้เรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กันซึ่งมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ (3D-network) โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของอีพ็อกซีจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขึ้นรูปทำให้น้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย (Sieber w. et al.,1993)

2.6 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid or PLA)

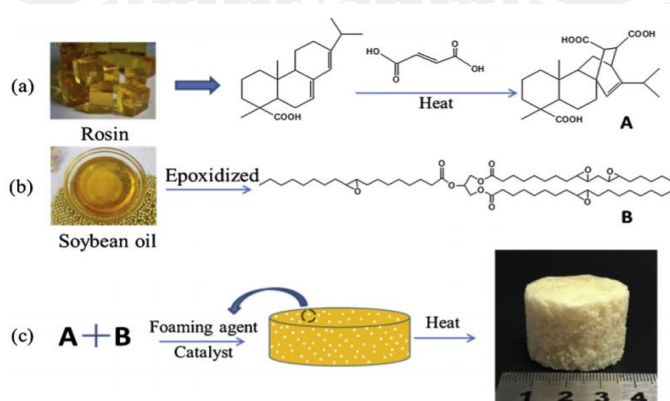
พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid)) หรือ PLA เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมจากกรดแลคติก (lactic acid หรือ 2-hydroxypropionic acid) ซึ่งมี 2 ไอโซเมอร์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ไอโซเมอร์แบบดี (D-(-)-lactic) และ ไอโซเมอร์แบบแอล (L-(+)-lactic acid) PLA ซึ่งผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต PLA โดยแป้งและน้ำตาลที่ได้จะผ่านกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียเพื่อได้เป็นกรดแลคติกที่เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์ PLA และมีความบริสุทธิ์ของ PLA

ที่เตรียมได้จากแบคทีเรียคือกรดแลคติกสามารถสังเคราะห์จากกลูโคสโดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (Chen G. et al., 2012)

จากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เนื่องจากกรดแลคติกมีสองไอโซเมอร์ สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด จะได้เป็นพอลิแอล-แลคติกแอซิด (Poly(L-lactic acid : PLLA) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิกจะได้พอลิดีแอล-แลคติกแอซิด (Poly(D,L-lactic acid : PDLLA) ปัจจุบันการผลิตไอโซเมอร์ของกรดแลคติกบริสุทธิ์ทำได้ยาก (อมรรัตน์ และคณะ, 2554) การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลักประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดดีหรือพอลิดี-แลคติกแอซิด (Poly(D-lactic acid : PDLA) ยังไม่มีในเชิงพาณิชย์ โดยไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเป็นผลึก (Crystalline) ของพอลิเมอร์ กล่าวคือ PLLA จะมีความเป็นผลึกสูง ในขณะที่ PDLA จะมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) สูง พอลิแลคติกแอซิดเป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเตอร์ที่มีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกาย (biocompatibility) ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) และสมบัติทางกลดี ดังนั้นจึงมีการใช้งาน PLA ในด้านต่าง ๆ เช่น ในระบบนำส่งยา (drug delivery systems) วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) งานเคลือบ และด้านบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ (Paoprasert P. et al., 2013)

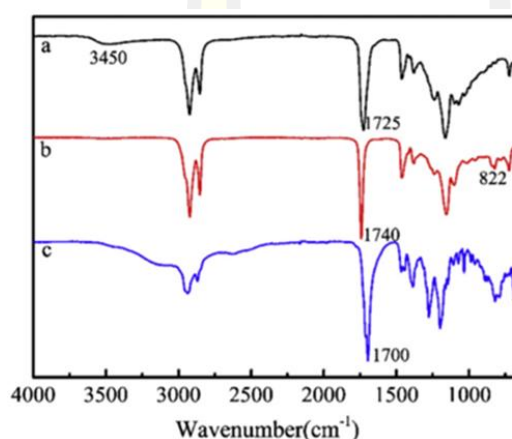
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xujuan H. et al, 2019 ศึกษาผลการเตรียมอีพอกซีเรซินเทอร์โมเซตติง จากน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์ ผสมโดยการเพิ่ม กรด fumaropimaric (FPA) เป็นตัวช่วยเร่งแข็งที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันสน ในอัตราส่วน (mol: mol) ที่ 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7, 1:0.8 และ 1:0.9



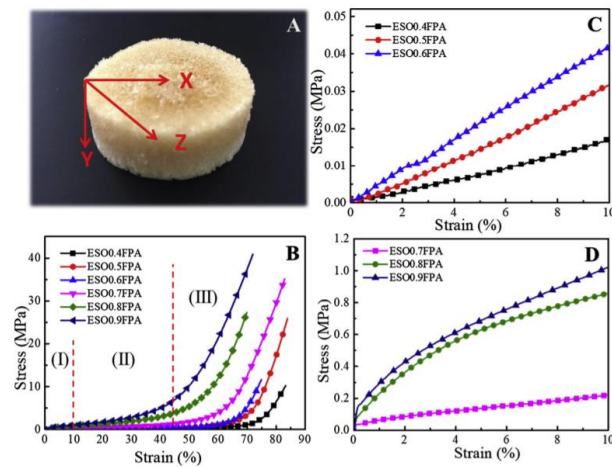
ภาพประกอบที่ 3 แผ่นผั่งของโม่อีพอกซีเทอร์โมเซตติงทางชีวภาพ

ในการทดสอบโดยเทคนิค FT-IR ของ ESO0.7FPA ยืนยันว่ามีโซ่ ESO บน FPA ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4 โดยลักษณะของแถบที่กำหนดให้กลุ่มไฮดรอกซิลที่ 3450 cm^{-1} ภาพประกอบที่ 2.5 สเปกตรัมที่ 822 cm^{-1} เป็นกลุ่มอีพ็อกซี และ 1740 cm^{-1} (สเปกตรัม b) เป็นกลุ่มเอสเทอร์ของ ESO และการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มเอสเทอร์เป็น 1725 cm^{-1} บ่งบอกถึงความคืบหน้าของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ 4 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR a) ESO0.7FPA, b) ESO และ c) FPA

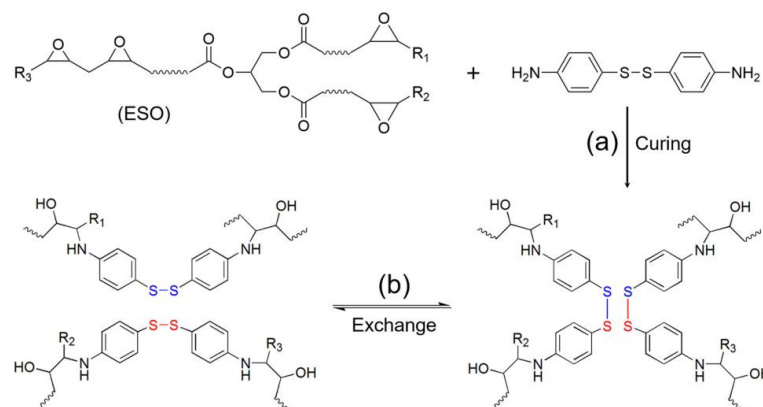
จากภาพประกอบที่ 4 C และ D แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง stress – strain ของโพลีอีพ็อกซีเทอร์โมเซตติงทางชีวภาพภายในความเครียด 10% มีการเปลี่ยนรูปที่ยืดหยุ่นได้ และความเค้นของโพลี ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผนังเซลล์ และผนังเซลล์ยังแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงที่ดีขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของ FPA ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนที่ช่วยแข็งในโพลีอีพ็อกซีแบบเทอร์โมเซตติง



ภาพประกอบที่ 5 การแสดงแรงอัดของโฟมเทอร์โมเซตติงซีทีซี

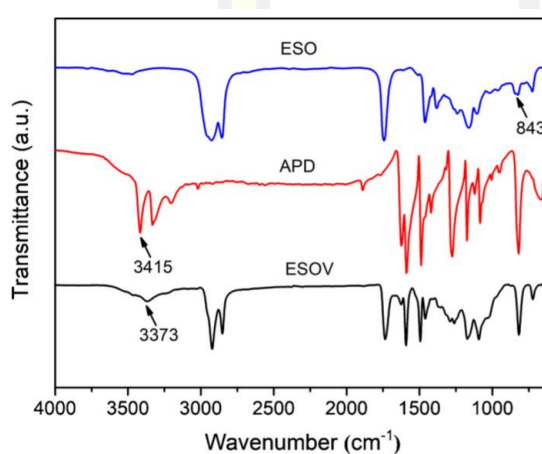
โพลีอีพ็อกซีเทอร์โมเซตติงทางชีวภาพมีสมบัติเพิ่มขึ้นได้ เมื่อถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ ESO และ FPA เป็นวัตถุดิบซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ สามารถนำไปการเตรียมเรซินอีพ็อกซีโดยใช้กรดโรสซินเป็นตัวบ่มการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าโพลีอีพ็อกซีแบบเทอร์โมเซตติงทางชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง

Yu-Yao L. et al,2020 ศึกษาอีพ็อกซีชีวภาพที่ผ่านกระบวนการทำซ้ำและได้จากการบ่ม ESO แบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โพลีเมอร์ชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืช เช่นน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (ESO) ไม่สามารถนำไปแปรรูปใหม่หรือรีไซเคิลได้ เนื่องจากโครงสร้างการเชื่อมขวางแบบถาวรในที่นี้เรียกว่า vitrimers (ESOVs) ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาการบ่มของ ESO โดยมี dithiodiphenylamine (APD) ในการบ่ม



ภาพประกอบที่ 6 (a) การเตรียม ESOV ผ่านการบ่ม ESO ด้วย APD (b) การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของ ESOV ผ่านปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไดซัลไฟด์

ศึกษาโครงสร้างของ ESOV โดยเทคนิค FT-IR ภาพประกอบที่ 6 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของ ESO, APD และ ESOV ที่เตรียมโดยการบ่มที่ 180 °C เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เห็นได้ชัดว่าการดูดซึมลักษณะเฉพาะของกลุ่มอะมิโนที่ 3415 cm^{-1} ของ APD และหมู่ oxirane ที่ 843 cm^{-1} ของ ESO ไม่ได้ทำหน้าที่ในสเปกตรัมของ ESOV ทั่วไป นอกจากนี้ยังพบแถบการดูดซับใหม่ที่ 3373 cm^{-1} ซึ่งกำหนดให้กับหมู่ไฮดรอกซิล

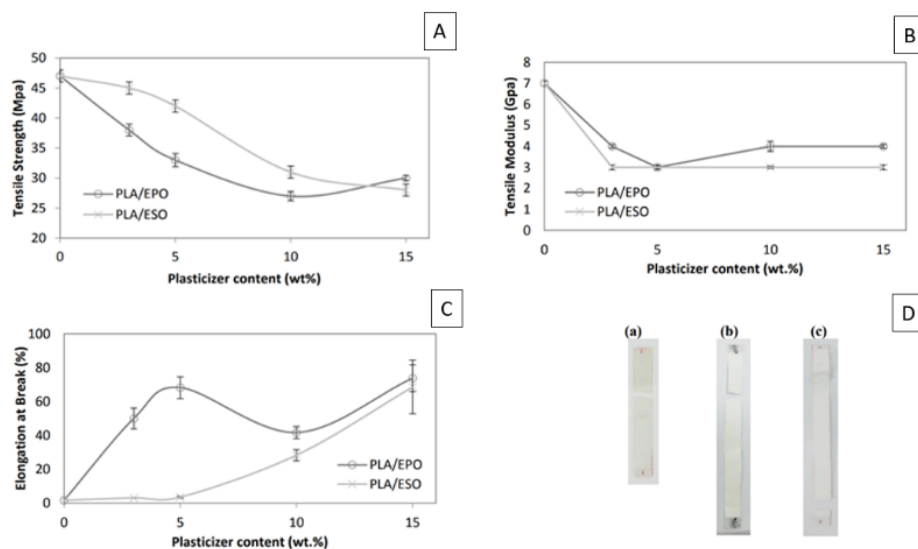


ภาพประกอบที่ 7 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR

โดยสรุปเตรียม biobased vitrimers อีพ็อกซีอยู่บนพื้นฐานของความเชื่อมโยงซัลไฟด์โดยวิธีการพรีตัวเร่งปฏิกิริยาของการบ่ม ESO กับ APD ด้วยการปรับเวลาในการบ่มทำให้สามารถปรับความหนาแน่นของการเชื่อมขวางและคุณสมบัติทางกายภาพของ ESOV ได้ อุณหภูมิการเปลี่ยนผ่านของความต้านทานแรงดึงและยังโมดูลัส เพิ่มขึ้นทีละน้อยในขณะที่การยึดตัวเมื่อแตกลดลงตามความหนาแน่นของการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นของ ESOV และ ESOV แสดงเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีซึ่งแทบไม่ได้รับผลกระทบจากความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง ESOV สามารถนำไปแปรรูปใหม่หรือรีไซเคิลด้วยความร้อนได้ นอกจากนี้ ESOV แสดงให้เห็น weldability ที่ดีกับสมบัติทางกล

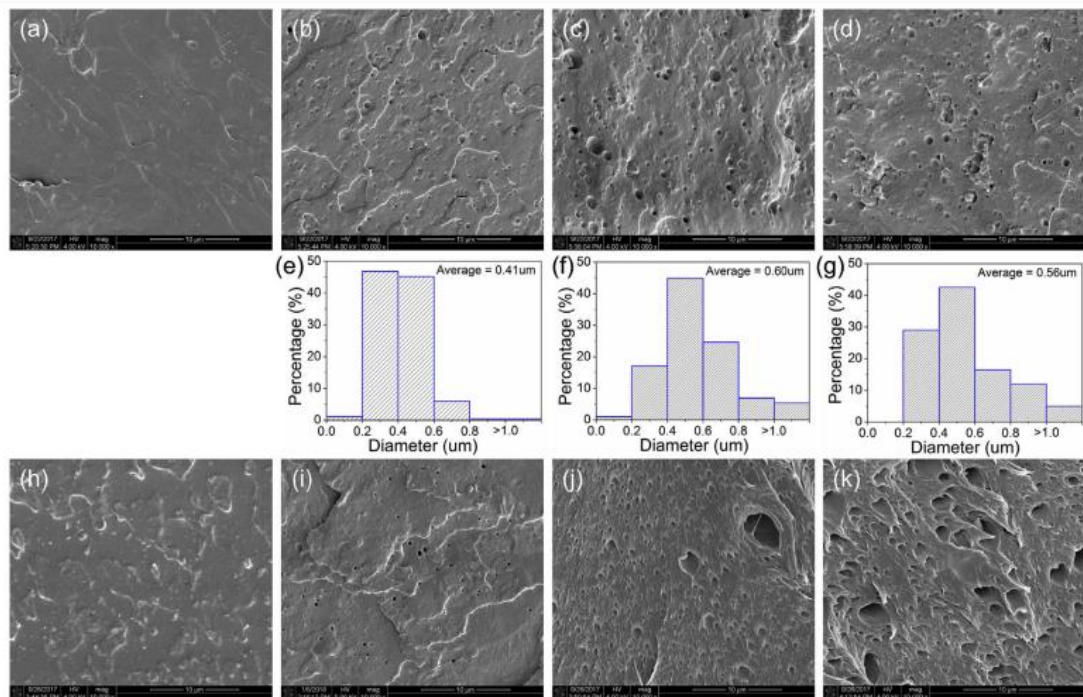
Yee B. et al, 2016 ศึกษาสมบัติของการนำพลาสติกไฮเซอรัลจากน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) และน้ำมันปาล์มอีพ็อกซีไดซ์ (EPO) เมื่อผสมกับ PLA โดยการเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติกไฮเซอรัลร้อยละ 3, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก มีการผสมด้วยเครื่อง Internal mixer ที่อุณหภูมิ 170 °C ความเร็วรอบ 50 rpm. เวลา 15 นาที

ในการทดสอบทางกลเมื่อเติมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดไซใน PLA และเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนร้อยละ 3, 5, 10 และ 15 ของน้ำหนัก พบว่าชิ้นงานมีการยืดตัวดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับในขณะเดียวกันค่าความต้านทานแรงดึงลดลง และเมื่อเติมน้ำมันปาล์มอีพ็อกซีไดไซใน PLA ในอัตราส่วนเดียวกันพบว่า ระยะการยืดตัวเมื่อขาดที่สามารถยืดตัวได้ดีแค่บางอัตราส่วน



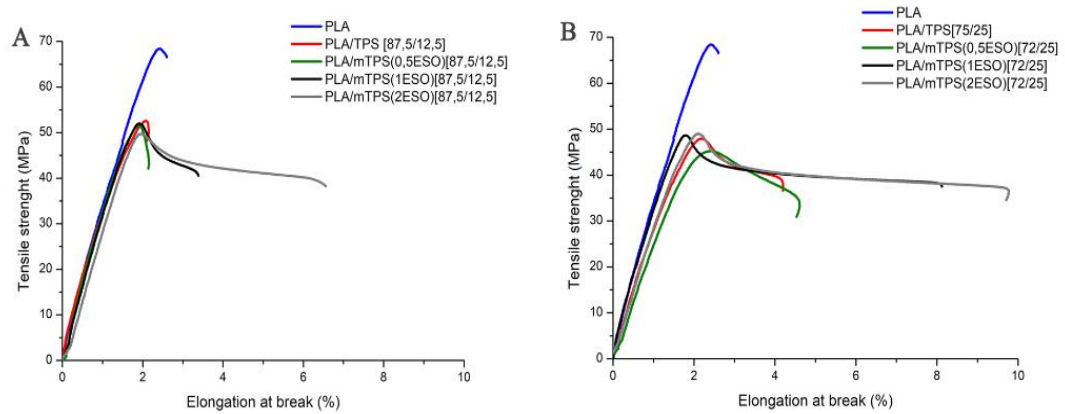
ภาพประกอบที่ 8 สมบัติทางกล A) ค่าความต้านทานแรงดึง B) ค่ามอดุลัสที่สภาพยืดหยุ่น C) ระยะยืดเมื่อชิ้นงานขาด D) รูปเปรียบเทียบการยืดตัวของ PLA PLA+EPO และ PLA+ESO

Wendi L. et al., 2018 ได้ศึกษาการเชื่อมขวางที่เกิดจากกรดแทนนิกของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดไซสำหรับโพลีเทเทนนิ่ง (กรดแลคติก) ประสบความสำเร็จในการผสม PLA ที่ยั่งยืนและเหนียวสูงอย่างสมบูรณ์ กำหนดโดยวัลคาไนซ์แบบไดนามิกของ PLA ด้วย ESO โดยใช้ TA เป็นสารวัลคาไนซ์สามารถเชื่อมขวางกับ ESO และทำปฏิกิริยากับ PLA ถึงปรับปรุงความเข้ากันได้ของอินเทอร์เฟซระหว่างเฟส ESO และเกิดการก่อตัวของเฟส TA-ESO ที่เสถียรและการปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างผิวกับ PLA จากภาพ SEM แสดงดังภาพประกอบ 2.8 พบว่ามีรูพรุนของ 10ESO, TA-ESO เข้าแทรกในผิวของชิ้นงานซึ่งมีหน้าที่ในการยืดตัวที่จุดแตกหักและความเหนียวทนแรงดึงที่สูงขึ้น

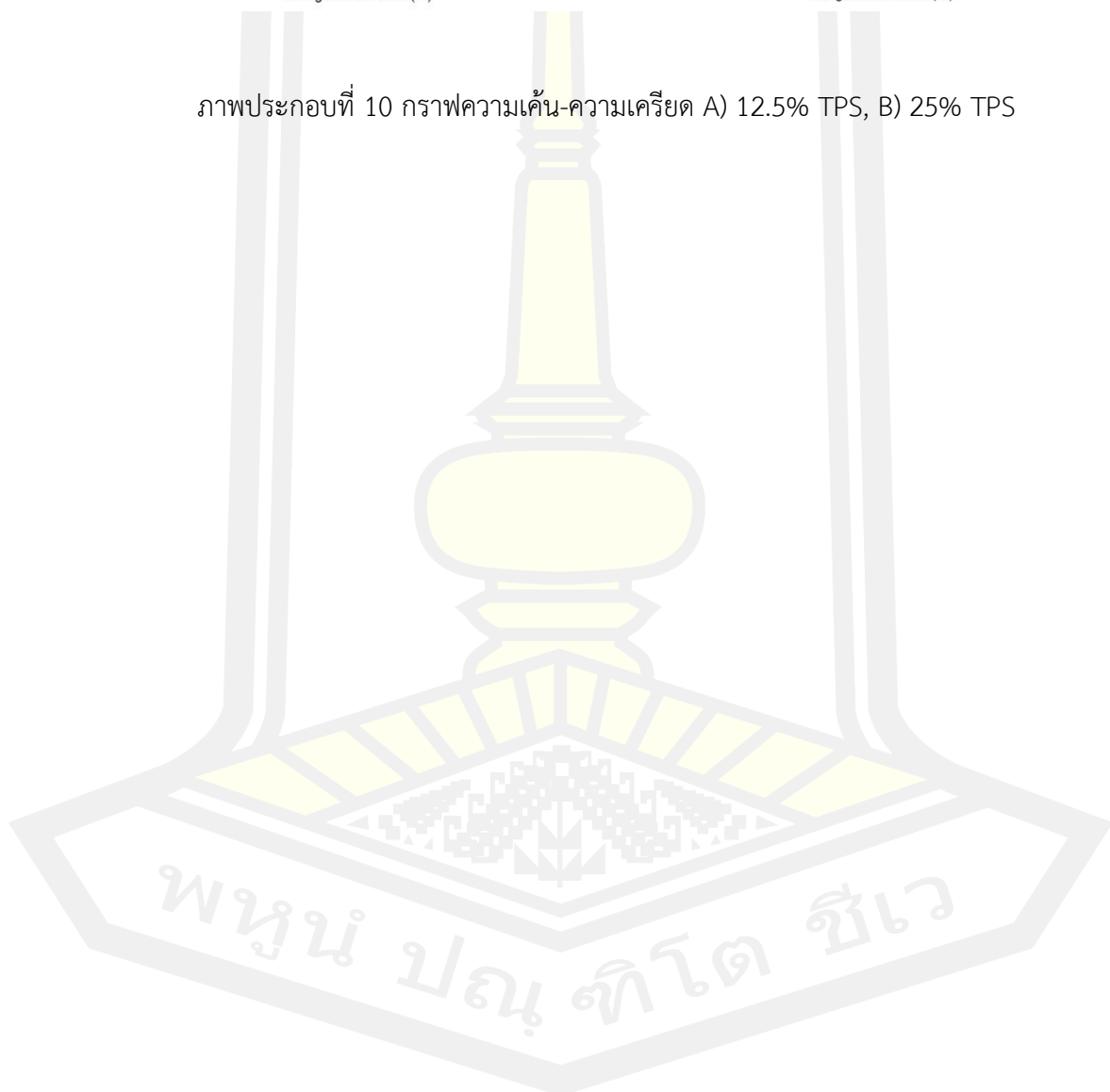


ภาพประกอบที่ 9 SEM images (A) PURE PLA, (B) 10ESO, (C) 0.4TA-ESO, (D) 0.8TA-ESO; size (E) 10ESO, (F) 0.4TA-ESO, (G) 0.8TA-ESO (H) PURE PLA, (I) 10ESO, (J) 0.4TA-ESO, AND (K) 0.8TA-ESO.

Wendi L. et al.,2018 ได้ศึกษาการเตรียมและการกำหนดลักษณะของ PLA ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและย่อยสลายได้ โดยการผสม TPS/ESO งานนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากความต้องการของตลาดในปัจจุบัน ซึ่งแสวงหาทางเลือกที่มีราคาไม่แพงสำหรับ PLA ในการศึกษาครั้งนี้ องค์ประกอบตาม PLA ดัดแปลงโดย TPS และ ESO ถูกจัดเตรียมเพื่อ ปรับปรุงความเหนียวของ PLA และลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ การเพิ่ม ESO นำไปสู่วัสดุที่นิ่มและยืดหยุ่น ความสามารถในการรับแรงกระแทกที่ดีขึ้น คุณสมบัติแรงดึงและความเหนียวแสดงดังภาพประกอบ 2.9 (การยืดตัวที่จุดขาด $\sim 8.8\%$) เมื่อเปรียบเทียบกับ PLA ดั้งเดิม



ภาพประกอบที่ 10 กราฟความเค้น-ความเครียด A) 12.5% TPS, B) 25% TPS



บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว
- 3.1.2 น้ำมันถั่วเหลือง จาก บริษัท ไชม์ ดาร์บี้ ออยส์ มรกต จำกัด (มหาชน)
- 3.1.3 กรด meta-Chloroperoxybenzoic acid (mCPBA) จากบริษัท Zhuozhou Wen Xi Import and Export Co., Ltd ประเทศจีน
- 3.1.4 PLLA เกรด L175 จากบริษัท PURAC Thailand
- 3.1.5 PDLA เกรด L120 จากบริษัท PURAC Thailand
- 3.1.6 Dichloromethane (DCM) จากบริษัท VWR BDH Prolabo chemical
- 3.1.7 Epoxy resin จากบริษัท EASY RESIN ประเทศไทย
- 3.1.8 Chloroform จากบริษัท VWR BDH Prolabo chemical

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องชั่งดิจิตอล ของบริษัท AND Company, Limited. รุ่น HR-300i
- 3.2.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform Infrared spectroscopy (FTIR)) รุ่น frontier and spotlight 200i จากบริษัท PerkinElmer (USA)
- 3.2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง (texture analyzer) รุ่น TA. XT Plus จากบริษัท Stable Micro System
- 3.2.4 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter: DSC) รุ่น DSC-4000 จากบริษัท PerkinElmer (USA)
- 3.2.5 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscopy) รุ่น HITACHI TM4000Plus ของบริษัท HITACHI จำกัด
- 3.2.6 เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TS5000-2S ของบริษัท นรินทร์ อินสทรูเมนต์ จำกัด
- 3.2.7 เครื่องวัดความแข็งยางแบบดิจิทัล (Digital hardness tester Shore A 0-100)

3.3 วิธีการเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์

3.3.1 วิธีการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์

3.3.1.1 การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ โดยน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว 92 g ละลายใน DCM 50 ml. และ m-CPBA 28 g ละลายใน DCM 100 ml. ผสมกันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (sudheer k. et al,2017)

3.3.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy แสดงดังภาพประกอบ 3.1 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสารได้ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส โดยศึกษาทรานซิชันของการสั่นหรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสารนั้น ๆ โดยเทคนิคนี้เกิดจากกระบวนการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดของโมเลกุล วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm, ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1} แสดงดังภาพประกอบที่ 11



ภาพประกอบที่ 11 เครื่อง FOURIER TRANSFORM INFRARED (FT-IR) SPECTROSCOPY

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 การประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วและอีพ็อกซี

3.4.1.1 เตรียมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ และ Epoxy นำ Epoxy ผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ในปริมาณ 10% 20% และ 30% ของ Epoxy ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 1 การเตรียมอัตราส่วนระหว่าง Epoxy และน้ำมัน

Sample	Epoxy; A (%)	Crosslink; B (phr.)	EWSO (%)	ESO (%)	SO (%)
1. Epoxy	100	50	-	-	-
2. Epoxy +10EWSO	90	50	10	-	-
3. Epoxy +20EWSO	80	50	20	-	-
4. Epoxy +30EWSO	70	50	30	-	-
5. Epoxy +10ESO	90	50	-	10	-
6. Epoxy +20ESO	80	50	-	20	-
7. Epoxy +30ESO	70	50	-	30	-
8. Epoxy +10SO	90	50	-	-	10
9. Epoxy +10SO	80	50	-	-	20
10 Epoxy +10SO	70	50	-	-	30

3.4.1.2 นำชิ้นงานมาทดสอบความแข็ง สมบัติทางกล ทางความร้อน โครงสร้างทางเคมี และ สัณฐานวิทยา

1. เครื่องวัด ความ แข็ง แบบ ชอร์ (Shore Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) แสดงดังภาพประกอบที่ 12 จะวัดความแข็งของวัสดุในเชิงของความยืดหยุ่น ความสามารถในการต้านทานของแรงกดที่กดลงไปใวัสดุ เครื่องวัดความแข็งประเภทนี้จะประกอบไปด้วย หัวกด แผ่นกด และสปริง ระยะของหัวกดและแผ่นกดจะสัมพันธ์กับสปริงและแบ่งสเกลเป็น 100 ส่วน ตัวอย่างเช่น ระยะของหัวกดและแผ่นกด 2.5 มม. ดังนั้นทุกๆ 0.025 มม. จะมีค่าเท่ากับ 1 Shore การทดสอบจะทำได้โดยการกดหัวทดสอบลงไปที่วัสดุ แล้ววัดระยะดังกล่าวแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข 0 -100



ภาพประกอบที่ 12 เครื่องทดสอบความแข็ง SHORE A

2. การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึงสมบัติเชิงกลคือพฤติกรรมของวัสดุที่แสดงออกเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำสมบัติเชิงกลมีความสำคัญมากในการกำหนดทิศทางของการใช้งานวัสดุ โดยการทดสอบแรงดึง (Tensile test) แสดงดังภาพประกอบที่ 13 การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานอย่างหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของวัสดุโดยดึงชิ้นงานทดสอบด้วยความเร็วคงที่ แล้วตรวจสอบพฤติกรรมการยืดตัวของวัสดุ การวิเคราะห์สมบัติทางกลทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องทดสอบการดึง (Tensile Testing) ของ บริษัท นรินทร์อินสทรูमेंท์ จำกัด ซื้อเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TS500-2S แสดงดังภาพประกอบที่ 3.3 ขนาด 5 kN. ทำการทดสอบกับเนื้อสัมผัสชิ้นงานจำนวนตัวอย่างละ 3 ชิ้นใช้ความเร็วในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันใช้อุณหภูมิห้องในการดึงทดสอบผลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าแรงและระยะยืด



ภาพประกอบที่ 13 เครื่องทดสอบแรงดึง (TENSILE TESTING)

3. ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning Calorimeter (DSC) โดยใช้เครื่อง DSC-4000 แสดงดังภาพประกอบ 14 เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยในการทดสอบจะตัดชิ้นงานทดสอบให้มีน้ำหนัก 3 - 5 mg บรรจุในถาดอลูมิเนียม และให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบตั้งแต่ 0 ถึง 300 °C โดยใช้อัตราในการให้ความร้อน (heating rate) 10 °C/min ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Tc) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (Tm)



ภาพประกอบที่ 14 เครื่อง DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETER (DSC) รุ่น DSC-4000

4. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy แสดงดังภาพประกอบ 11 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm, ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1}

5. ทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงดังภาพประกอบ 15 เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 ไมโครเมตร เครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมี

ขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา



ภาพประกอบที่ 15 เครื่อง SCANNING ELECTRON MICROSCOPY) รุ่น HITACHI TM4000PLUS

3.4.2 การประยุกต์ใช้น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์และพอลิเมอร์

3.4.2.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ในปริมาณ 10% 20% และ 30% ของ PLA แสดงดังตารางที่ 3.2

ตาราง 2 อัตราส่วนที่ใช้สำหรับเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLLA/PDLA และ น้ำมันชนิดต่างๆ (oil)

Sample	PLLA (%)	PDLA (%)	EWSO (phr)	ESO (phr)	SO (phr)
1. PLLA	100	-	-	-	-
2. ST	50	50	-	-	-
3. ST +10EWSO	50	50	10	-	-
4. ST +20 EWSO	50	50	20	-	-
5. ST +30 EWSO	50	50	30	-	-
3. ST +10ESO	50	50	-	10	-
4. ST +20 ESO	50	50	-	20	-
5. ST +30 ESO	50	50	-	30	-
6. ST +10SO	50	50	-	-	10
7. ST +20SO	50	50	-	-	20
8. ST +30SO	50	50	-	-	30

3.4.2.2 สมบัติทางกล ทางความร้อน โครงสร้างทางเคมี และสัณฐานวิทยา

1. การทดสอบสมบัติทางกลด้วยแรงดึง (tension test หรือ tensile test) ใช้แรงดึง (tensile force) ดึงวัสดุอย่างช้า ๆ ทำให้วัสดุยืดออก มีความยาวเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด โดยเครื่อง Texture analyzer จากบริษัท Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus แสดงดังภาพประกอบที่ 16 ซึ่งนำแผ่นฟิล์มบางมาตัดที่ความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตร เพื่อเตรียมทำการดึงที่อัตราเร็วในการดึง 1 มิลลิเมตร/นาที จำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้นงาน ทดสอบที่ อุณหภูมิห้อง



ภาพประกอบที่ 16 เครื่องทดสอบแรงดึง (TEXTURE ANALYZER)

2. ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning Calorimeter (DSC) โดยใช้เครื่อง DSC-4000 แสดงดังภาพประกอบ 14 โดยในการทดสอบจะตัดชิ้นงานทดสอบให้มีน้ำหนัก 3 - 5 mg บรรจุในภาตอลูมิเนียม และให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบตั้งแต่ 0 ถึง 250°C โดยใช้อัตราในการให้ความร้อน (heating rate) 10°C/min ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของชิ้นงาน

3. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy แสดงดังภาพประกอบ 16 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm, ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1}

4. ทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงดังภาพประกอบที่ 16 เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 ไมโครเมตร

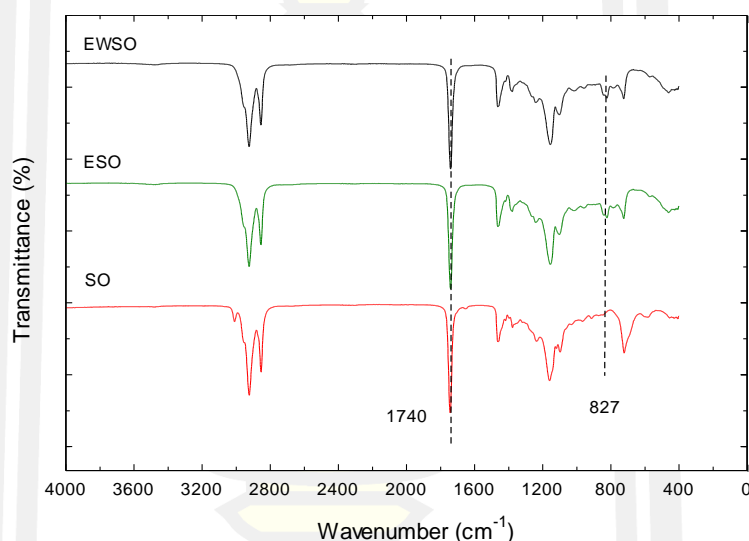


บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 การวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว

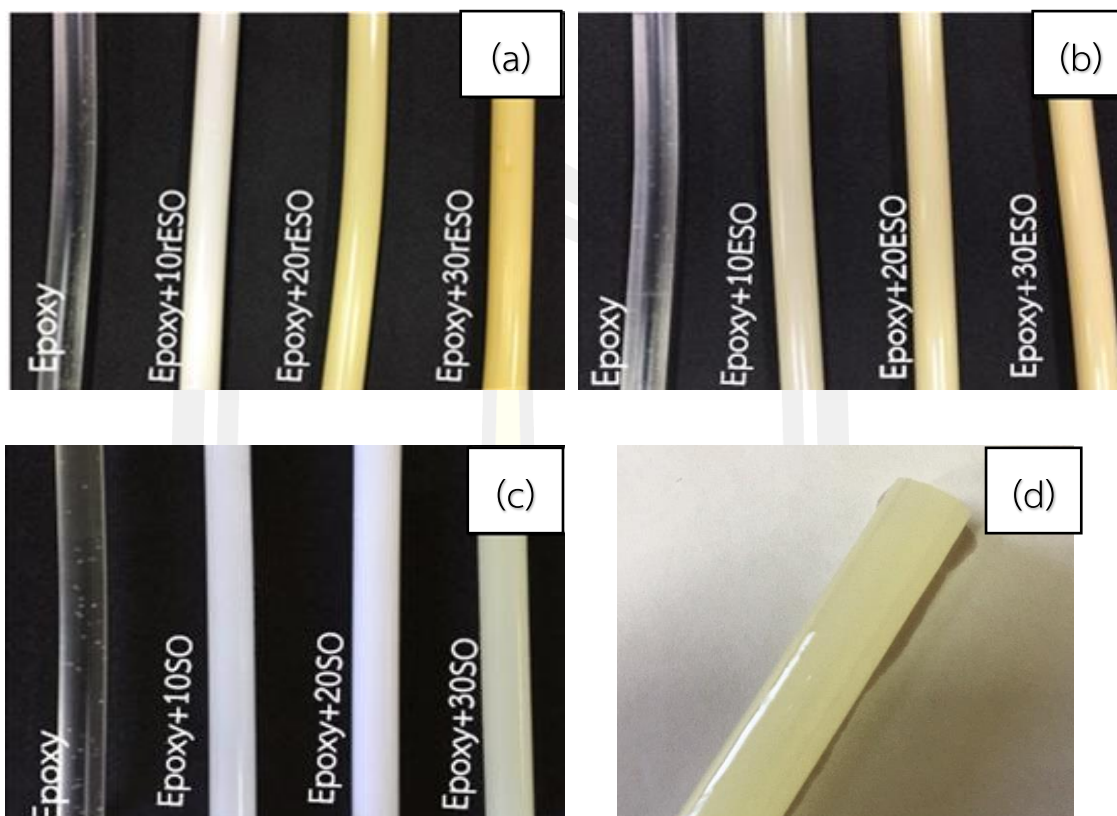
ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์ (EWSO) น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (ESO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SO) ซึ่งพบพีก 827 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่อีพ็อกซีในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ชนิดต่างๆ (Situ et al., 2007) และพบพีก 1740 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการก่อตัวของพันธะเอสเทอร์ (Jianlei Y. et al., 2022), (Xu Y. et al., 2019) แสดงดังภาพประกอบที่ 17



ภาพประกอบที่ 17 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองชนิดต่างๆ

4.2 ผลการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซิไดซ์และอีพ็อกซีเรซิน

การเตรียมชิ้นงานดังตาราง 3.1 ชิ้นงานที่ได้แสดงดังรูปที่ 18 พบว่าชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนมีสีที่เปลี่ยนไปจากชิ้นงาน epoxy เป็นสีใส และชิ้นงาน epoxy+30SO ดังรูป 18 (e) ที่ผิวของชิ้นงานมีน้ำมันบาง ซึ่งเกิดจากน้ำมันอีพ็อกซีผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่สัดส่วนที่มากเกินไปจึงทำให้ไม่เข้ากัน จึงเลือกชิ้นงานเฉพาะที่มีการผสมกันระหว่าง Epoxy+%EWSO และ Epoxy+%ESO ทดทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป



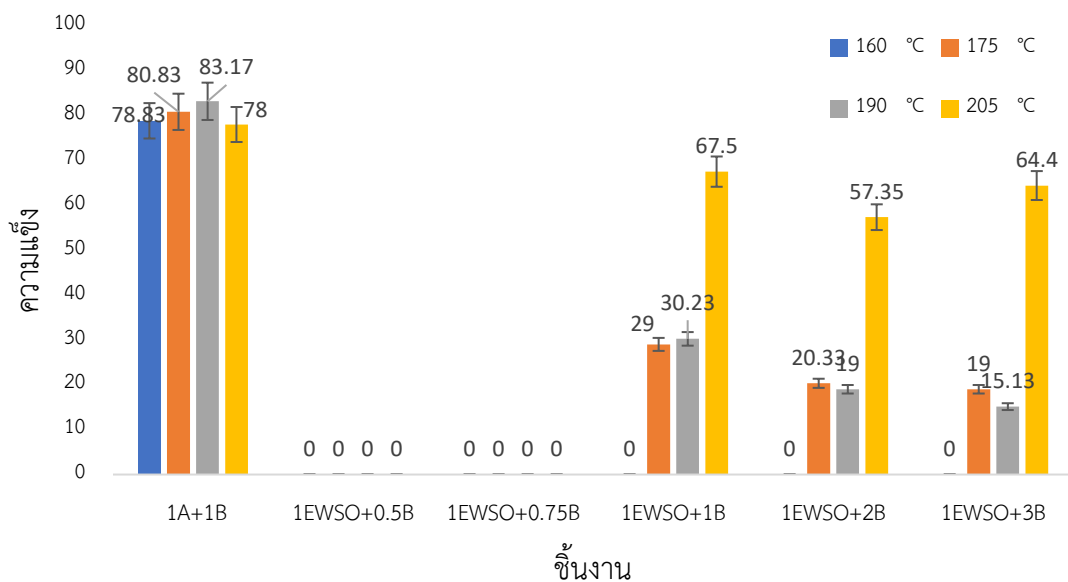
ภาพประกอบที่ 18 รูปชิ้นงาน Epoxy เมื่อผสมน้ำมันชนิดต่างๆ

เพื่อตรวจสอบว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ชนิดต่างๆ สามารถแข็งตัวได้เองโดยไม่มีการผสม Epoxy; A ที่อุณหภูมิการอบ 160 °C 175 °C 195 °C และ 205 °C ที่เวลาการอบ 3 และ 5 ชั่วโมง ที่สัดส่วนต่างๆ

เมื่ออบชิ้นงานเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงดังภาพประกอบ 19 พบว่าชิ้นงาน 1ESO+0.5B และ 1ESO+0.75B ไม่เกิดการแข็งตัวในทุกๆอุณหภูมิการอบ แต่น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์แข็งตัวเมื่อผสมสารเชื่อมโยงโมเลกุลที่อัตราส่วน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B เกิดการแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 175 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกัน ซึ่งชิ้นงาน 1ESO+1B ที่อุณหภูมิการอบ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งสูงสุด 67.5 HA อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผสมกับอีพ็อกซิจากปิโตรเลียม 1A+1B ซึ่งให้ความแข็งสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ โดยที่อุณหภูมิอบ 190 องศาเซลเซียส ให้ความแข็ง 83.17 HA.

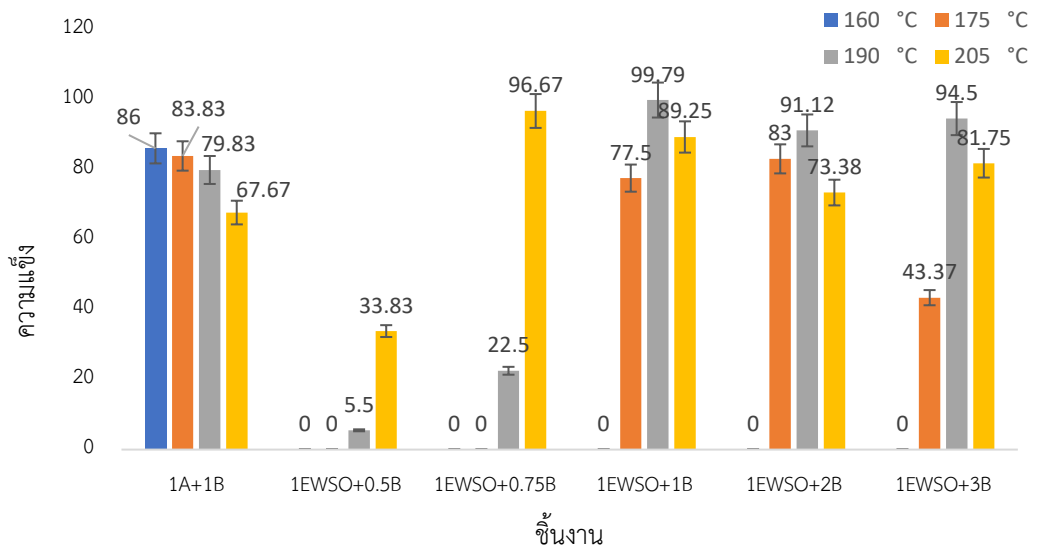
เมื่ออบชิ้นงานเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงภาพประกอบ 20 พบว่าเมื่ออบที่ 160 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน xESO+yB ไม่เกิดการแข็งตัว และชิ้นงานเมื่ออบที่ 175 องศาเซลเซียส

ชิ้นงานมีการแข็งตัวที่อัตราส่วน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B เมื่ออบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน xESO+yB เกิดการแข็งตัวทุกอัตราส่วน ซึ่งชิ้นงาน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B ให้ความแข็งแรงไม่แตกต่างกัน โดยชิ้นงาน 1ESO+1B ให้ความแข็งแรงสูงสุดที่ 99.75 HA และเมื่ออบชิ้นงานที่ 205 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงาน xESO+yB มีการแข็งตัวทุกอัตราส่วน โดยทุกอัตราส่วนถูกเปรียบเทียบกับความแข็งแรงกับชิ้นงานอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม 1A+1B ที่อุณหภูมิการอบ 175 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ความแข็งแรงสูงสุด 83.83 HA และที่อุณหภูมิการอบ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งแรงต่ำสุด 67.67 HA จึงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมมีความแข็งแรงลดลงเนื่องจากวัสดุเกิดการสลายตัว เมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิการอบขึ้น อาจเป็นเพราะอุณหภูมิและเวลาสูงๆ ทำให้อีพ็อกซีจากปิโตรเลียมมีสมบัติทางกลที่ลดลง



ภาพประกอบที่ 19 ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานเมื่ออบที่เวลา 3 ชั่วโมง

พหุบัณฑิต ชีวะ

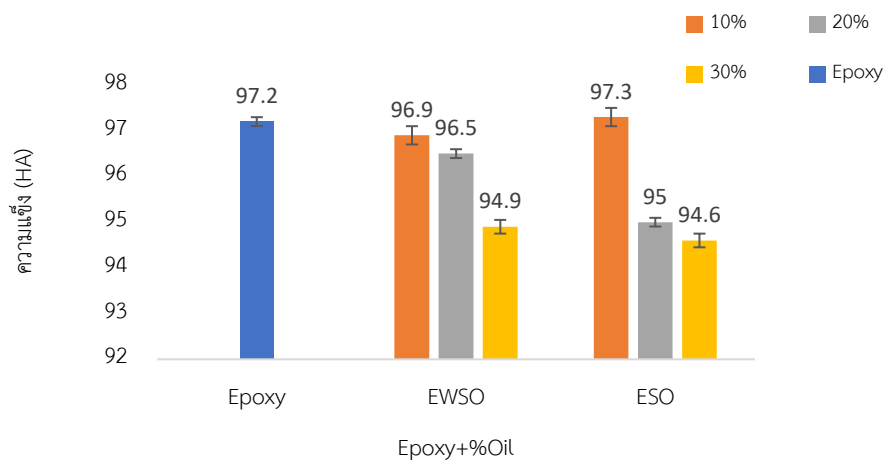


ภาพประกอบที่ 20 ค่าความแข็งของชิ้นงานเมื่ออบที่เวลา 5 ชั่วโมง

4.2.1. การทดสอบความแข็ง

การทดสอบวัดความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) จะวัดความแข็งของวัสดุในเชิงของความยืดหยุ่น ความสามารถในการต้านทานของแรงกดที่กดลงไปในตัววัสดุ โดยผลการทดสอบแต่สังดังภาพประกอบที่ 19 พบว่าชิ้นงาน Epoxy มีค่าความแข็งเท่ากับ 97.2 HA เมื่อมีการเติมสัดส่วนน้ำมัน EWSO และ ESO 10% 20% และ 30% พบว่าค่าความแข็งของการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมัน

แผนภูมิเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นงาน

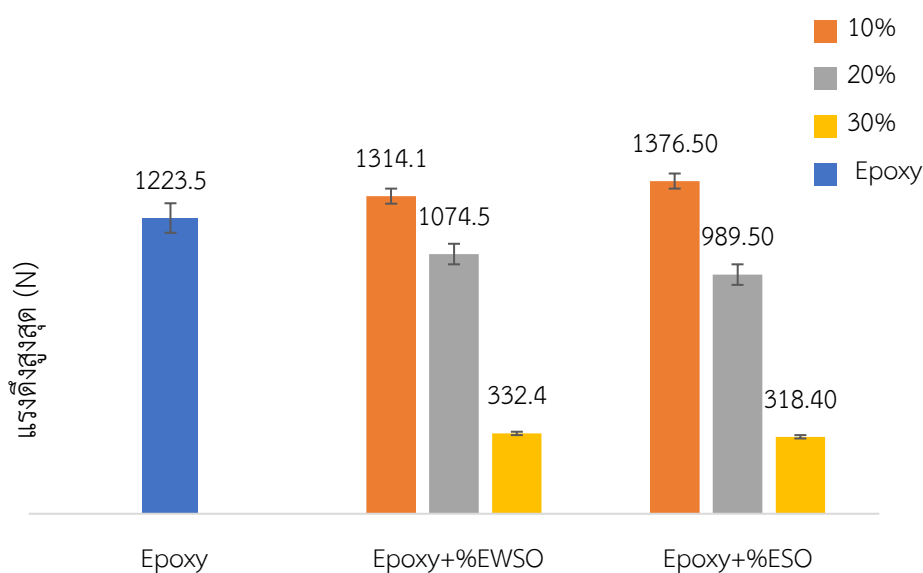


ภาพประกอบที่ 21 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน EPOXY+%ESO

4.2.2. การทดสอบสมบัติทางกล

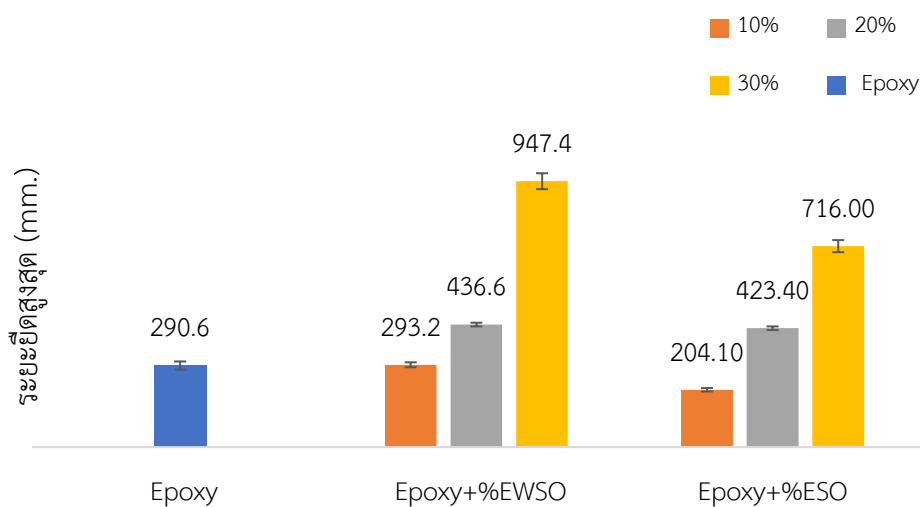
การทดสอบสมบัติทางกล ผลการเปรียบเทียบแรงดึงสูงสุดแสดงดังภาพประกอบ 20 พบว่าชิ้นงาน Epoxy สามารถทนแรงดึงได้ (Dipen K. et al., 2021) 1223.5 N ชิ้นงานเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมัน EWSO และ ESO 10% 20% และ 30% พบว่าค่าแรงดึงสูงสุดการเติมน้ำมันแต่ละสัดส่วน มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมัน

ผลการเปรียบเทียบระยะยืดสูงสุดแสดงดังภาพประกอบที่ 21 พบว่าชิ้นงาน Epoxy มีระยะยืดเท่ากับ 290.6 mm. ชิ้นงานเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมัน EWSO และ ESO 10% 20% และ 30% พบว่าระยะยืดสูงสุดของการเติมน้ำมันแต่ละสัดส่วน มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมัน และชิ้นงาน Epoxy+30EWSO มีระยะยืดสูงสุด 947.4 mm



ภาพประกอบที่ 22 แสดงค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน

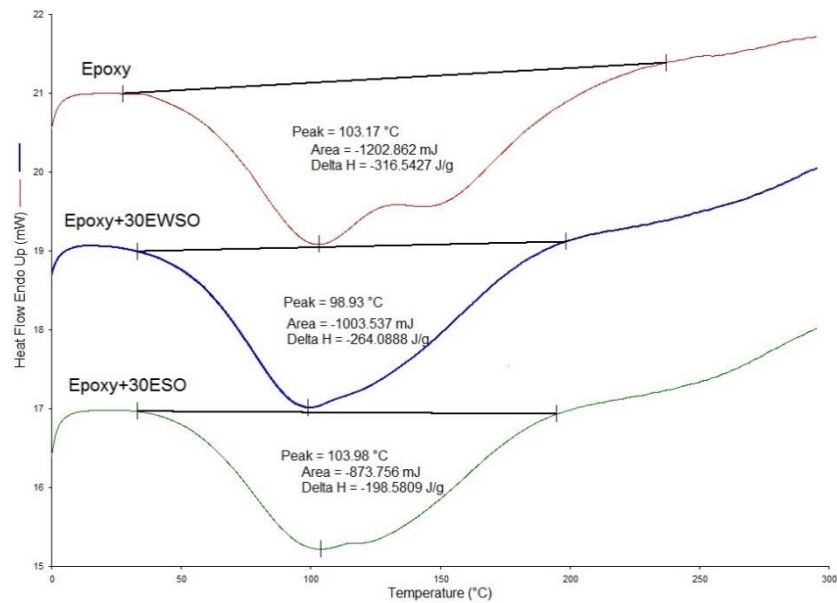
พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพประกอบที่ 23 แสดงค่าระยะยืดสูงสุดของชิ้นงาน

4.2.3. ทดสอบสมบัติทางความร้อน

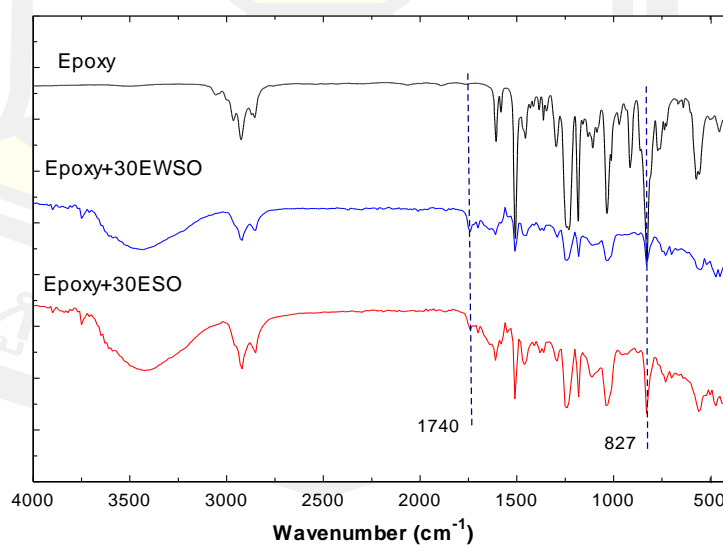
การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning Calorimeter (DSC) ใช้เครื่อง DSC-4000 โดยให้ความร้อนที่ 0-300 องศาเซลเซียส อัตราในการให้ความร้อน (heating rate) 10°C/min ผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 22 โดยได้เลือกชิ้นงานที่สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการอีพ็อกซิเดชันมาพิจารณาสมบัติทางความร้อน ซึ่งพบว่าที่ชิ้นงานอุณหภูมิการคายพลังงานที่ใกล้เคียงกันประมาณ 98-103 องศาเซลเซียส แต่ชิ้นงาน Epoxy+30EWSO มีการคายพลังงานประมาณ 264 J/g เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน Epoxy พบว่าค่าพลังงานไม่แตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 24 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

4.2.4. การทดสอบโครงสร้างทางเคมี

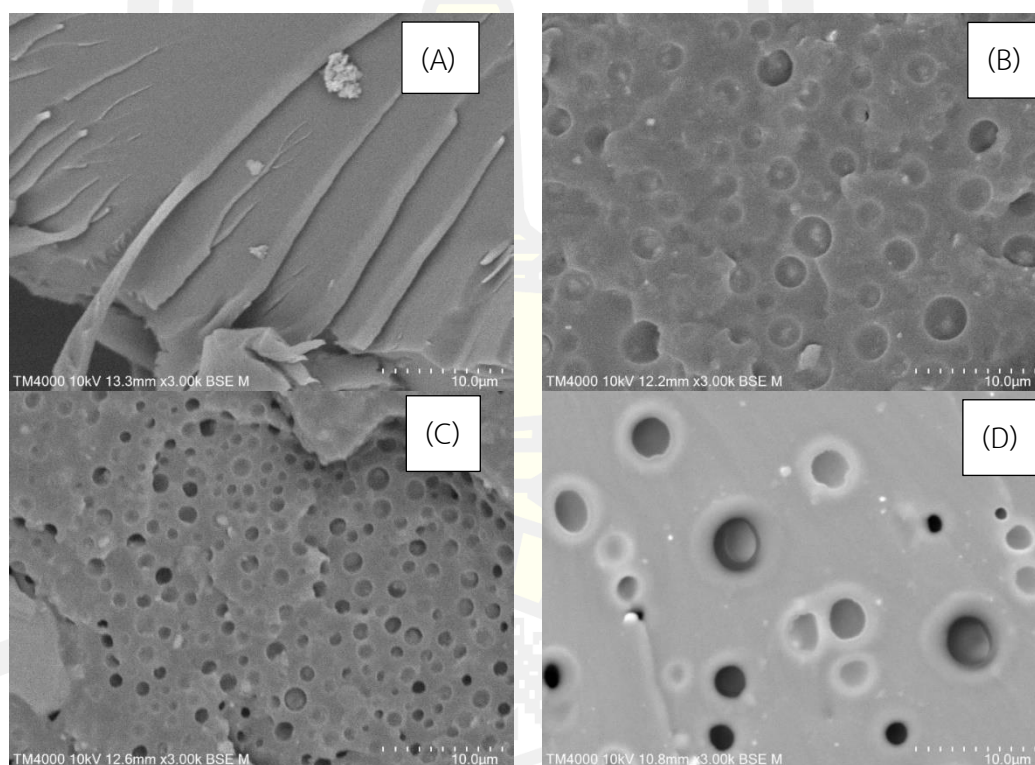
การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 23 โดยศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสารได้ทั้งในสถานะของแข็ง พบว่าสเปกตรัม 1740 cm^{-1} เป็นกลุ่มเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ซึ่งไม่พบในอีพ็อกซิ และพบที่ 827 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่อีพ็อกซิ (Hua Z. et al, 2022)



ภาพประกอบที่ 25 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมี

4.2.5. การทดสอบสัณฐานวิทยา

ทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร ผลการทดสอบสัณฐานวิทยาพบว่าชิ้นงาน Epoxy มีผิวค่อนข้างเรียบและเป็นเนื้อเดียวแสดงดังรูปที่ 24 (a) ที่ชิ้นงาน Epoxy+30rESO แสดงดังรูปที่ 24 (b) พบอนุภาคของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ซึ่งหมายถึงการผสมเข้ากันระหว่าง Epoxy และ EWSO แต่รูพรุนนั้นมีขนาดใหญ่กว่า ESO ซึ่ง ESO แสดงความหนาแน่นของรูพรุนขนาดเล็ก การกระจายขนาดรูพรุนที่กว้าง (Xujuan H. et al., 2022) แสดงดังรูปที่ 4.8 (c) เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กกว่าจึงมีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า EWSO



ภาพประกอบที่ 26 (a) EPOXY (b) EPOXY+30EWSO (c) EPOXY+30ESO (d) EPOXY+30SO

4.2.5. การประยุกต์ใช้งานเป็นแก้วจากโพลี

จากการทดสอบที่ผ่านมาพบว่าสัดส่วน Epoxy+30EWSO เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากผลการวัดค่าความแข็งเมื่อเติมสัดส่วนของ EWSO 10 20 และ 30% พบว่าความแข็งที่ไม่ต่างกันมาก

และเพื่อลดต้นทุนให้มากที่สุดจึงเลือก Epoxy+30EWSO มาเคลือบผิวโฟมเพื่อขึ้นรูปให้เป็นเก้าอี้ได้
แสดงดังภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบที่ 27 การประยุกต์ใช้เป็นเก้าอี้จากโฟม

4.3 ผลการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วและพอลิเมอร์

การเตรียมชิ้นงานดังตาราง 3.2 ชิ้นงานที่ได้แสดงดังรูปที่ 26 พบว่าชิ้นงาน PLA มีสีใส ผิวเรียบ ชิ้นงาน ST ชิ้นงานเกิดการงอตัวเล็กน้อย และชิ้นงาน ST เมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำมัน EWSO และ ESO เป็น 10% 20% และ 30% พบว่าสีของฟิล์มเป็นสีขุ่นขึ้น และชิ้นงาน ST+10SO มีการบิดงอเล็กน้อย ชิ้นงาน ST+20SO สังเกตได้ว่าการแยกตัวอย่างชัดเจนเนื่องจากมีบางส่วนมีสีขาวแทรกที่ผิวชิ้นงาน และชิ้นงาน ST+30SO พบว่าชิ้นงานมีผิวที่ไม่เรียบ และบางส่วนมีการแตกหัก



PLLA



ST



ST+10EWSO



ST+20EWSO



ST+30EWSO



ST+10ESO



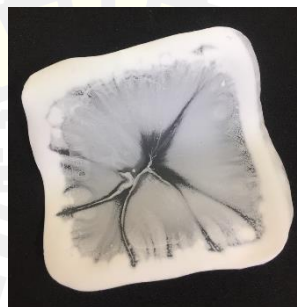
ST+20ESO



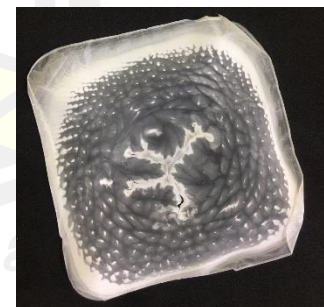
ST+30ESO



ST+10SO



ST+20SO



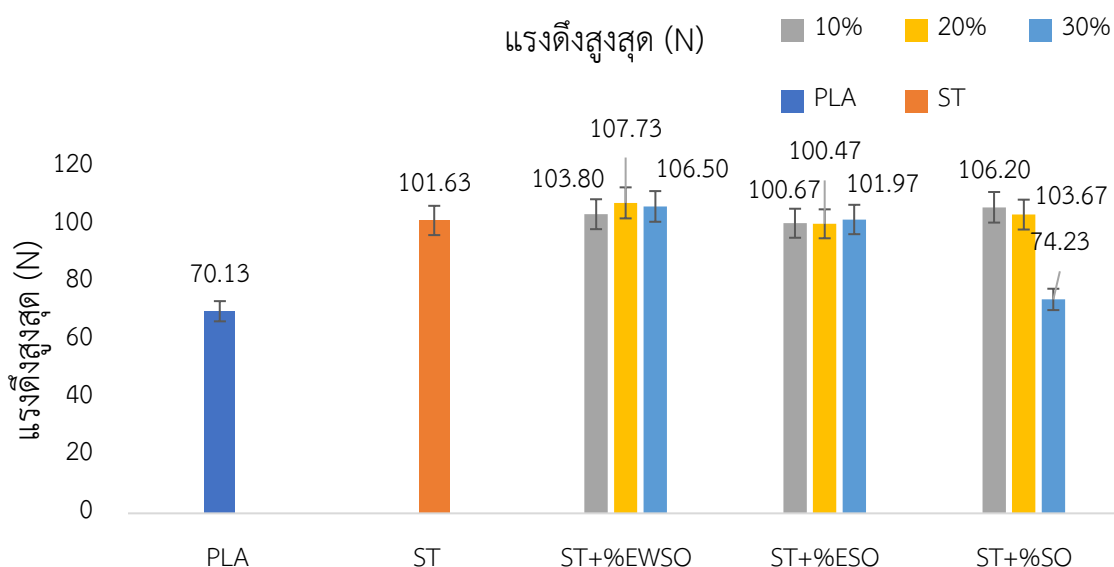
ST+30SO

ภาพประกอบที่ 28 ชิ้นงาน PLLA ST และ ST +%OIL

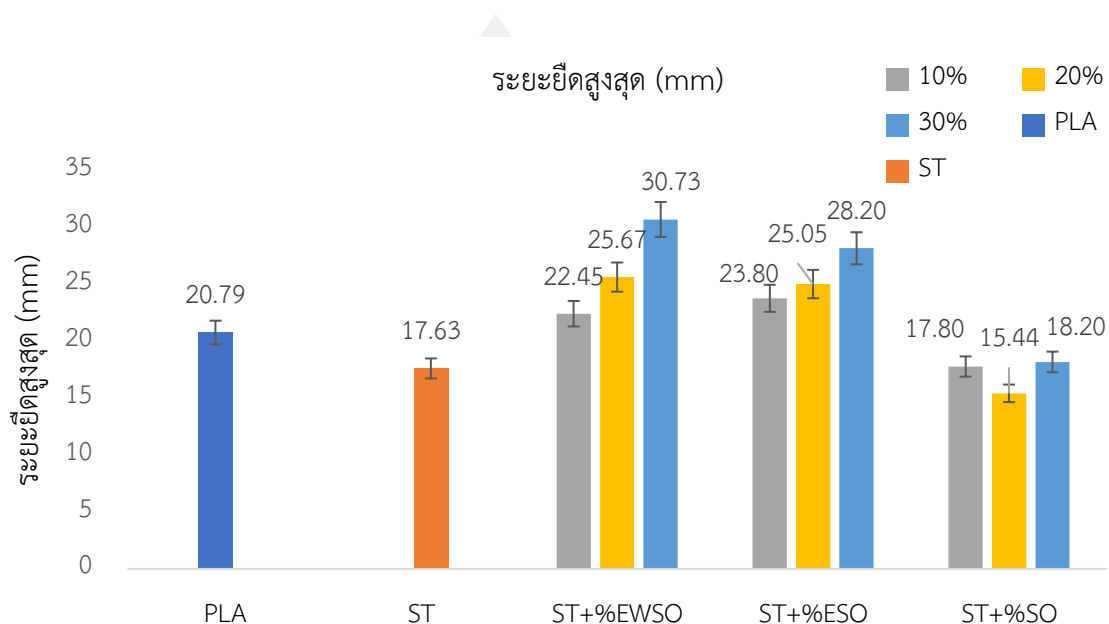
4.3.1. การทดสอบสมบัติทางกล

จากการทดสอบสมบัติทางกลโดยการดึงชิ้นงาน ผลของแรงดึงสูงสุดแสดงดังภาพประกอบที่ 27 พบว่าชิ้นงาน PLLA สามารถทนแรงดึงได้เท่ากับ 70.13 N และชิ้นงาน ST ที่เกิดจากการผสมกันระหว่าง PLLA/PDLA สามารถทนแรงดึงได้มากขึ้นเท่ากับ 101.63 N เมื่อนำ ST ผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์ (EWSO) 10% 20% และ 30% พบว่าชิ้นงานสามารถทนแรงดึงได้ไม่ต่างกันมาก เช่นเดียวกับชิ้นงานเมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการผสมน้ำมันถั่วเหลือง (SO) พบว่าชิ้นงาน ST+10SO และ ST+20SO ชิ้นงานสามารถทนแรงดึงได้ไม่ต่างกัน แต่ชิ้นงาน ST+30SO สามารถทนแรงดึงได้น้อยลงเท่ากับ 74.23 N

ผลของระยะยืดสูงสุดแสดงดังภาพประกอบที่ 28 พบว่าชิ้นงาน PLLA มีระยะยืดสูงสุดเท่ากับ 20.79 mm. และชิ้นงาน ST มีระยะยืดเท่ากับ 17.63 mm. ชิ้นงาน ST เมื่อเติมน้ำมันถั่วเหลืองชนิดต่างๆ พบว่า ST+20EWSO ระยะยืดสูงสุด 39.37 mm. แต่ชิ้นงาน ST+10EWSO และ ST+30EWSO มีระยะยืดที่ไม่ต่างกันมาก เมื่อชิ้นงานมีการผสมกันระหว่าง ST และน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) พบว่าชิ้นงานมีระยะยืดที่ไม่ต่างกันมาก และชิ้นงาน ST+30ESO มีระยะยืดสูงสุด 28.20 mm. ชิ้นงาน ST เมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลือง (SO) ชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนมีระยะยืดที่ไม่ต่างกัน และมีระยะยืดน้อยกว่าชิ้นงานที่มีการผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ชนิดต่างๆ (Xiangtao M. et al., 2018), (Rodrigo O. et al., 2021)



ภาพประกอบที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุด



ภาพประกอบที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงสูงสุด

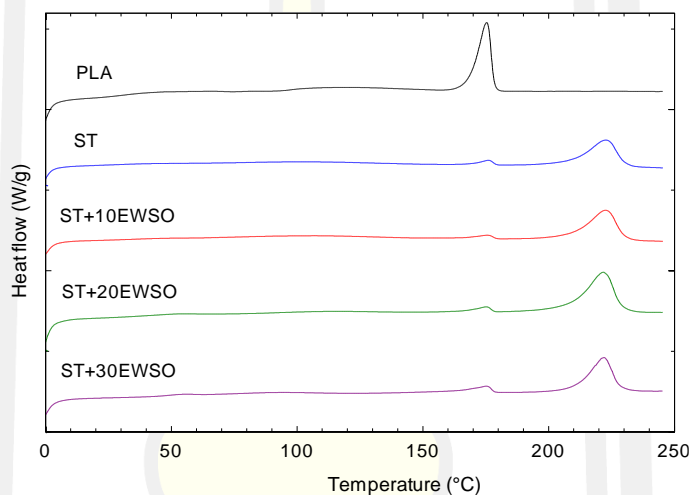
4.3.2. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry หรือ DSC ผลการทดสอบแสดงดังและตารางที่ 3 และ ภาพประกอบที่ 29 (a) แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนขึ้นงาน ST+%EWSO พบว่า ขึ้นงาน PLA มีค่า T_g ประมาณ $33.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ และพบพีคการหลอมเหลวที่ $175.39\text{ }^{\circ}\text{C}$ และค่าพลังงานจุดหลอมเหลวเท่ากับ 31.50 J/g และขึ้นงาน ST (PLLA/PDLA) พบว่าค่า T_g เท่ากับ $36.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ และพบจุดหลอมเหลว 2 จุด ประมาณ $176.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $222.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ สอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของโพลีไฮโมคริสตัลไลต์ (กรดแลคไทด์) (hc-PLA) และสเตอริโอคอมเพล็กซ์ และขึ้นงาน ST เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ rESO พบพบพีคพีประมาณ $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่าพลังงานที่ลดลงน้อยสุดที่ขึ้นงาน ST+30EWSO เท่ากับ 2.71 J/g ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันของขึ้นงาน

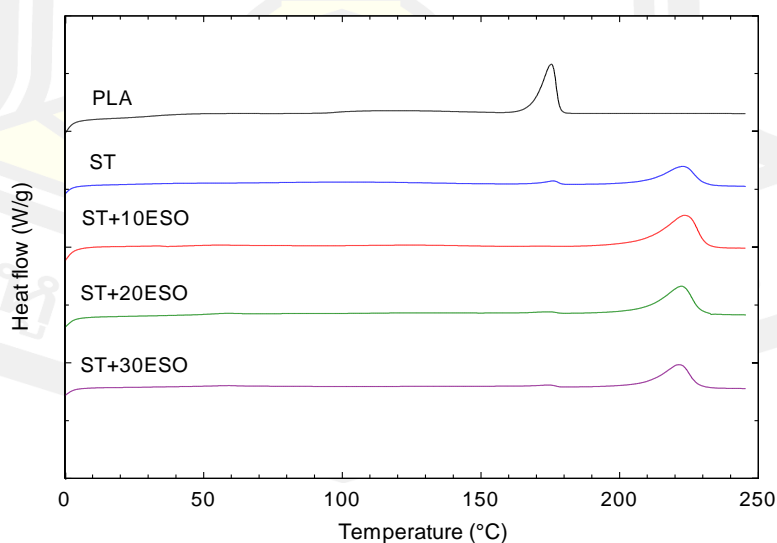
ภาพประกอบที่ 29 (b) แสดงผลของขึ้นงาน ST+%ESO พบว่าขึ้นงาน ST+10EWSO พบค่า T_g เท่ากับ $33.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ และพบพีค 2 จุด ประมาณ $174.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $221.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Bomou M. et al.,

2020) เช่นเดียวกับชิ้นงาน ST+%EWSO และชิ้นงาน ST เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ ESO พบว่าพีคที่ประมาณ 175 °C มีค่าการดูดพลังงานลดลง เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ ESO

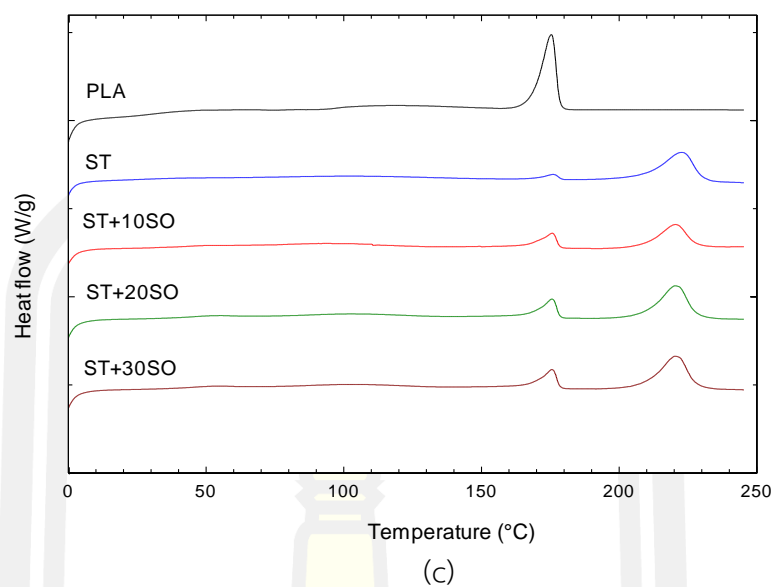
ภาพประกอบที่ 29 (C) แสดงผลของชิ้นงาน ST+%SO พบว่าค่า T_g ของชิ้นงานทุกอัตราส่วนใกล้เคียงกัน และชิ้นงานเมื่อเติม SO พบพีค 2 จุด คือที่ประมาณ 176 °C โดยค่าการดูดพลังงานที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 11.38-12.94 J/g ซึ่งค่าดูดพลังงานมากกว่าชิ้นงาน ST+%EWSO และ ST+%ESO แสดงให้เห็นถึงความไม่เข้ากัน และ พบพีคที่ 220 °C ซึ่งมีค่าการดูดพลังงานที่ใกล้เคียงกัน



(a)



(b)



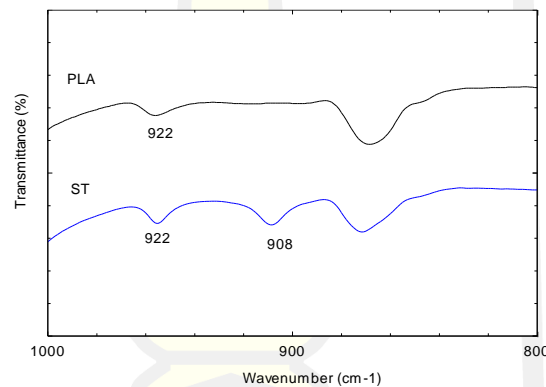
ภาพประกอบที่ 31 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนขึ้นงาน

ตาราง 3 แสดงค่าการทดสอบทางความร้อน

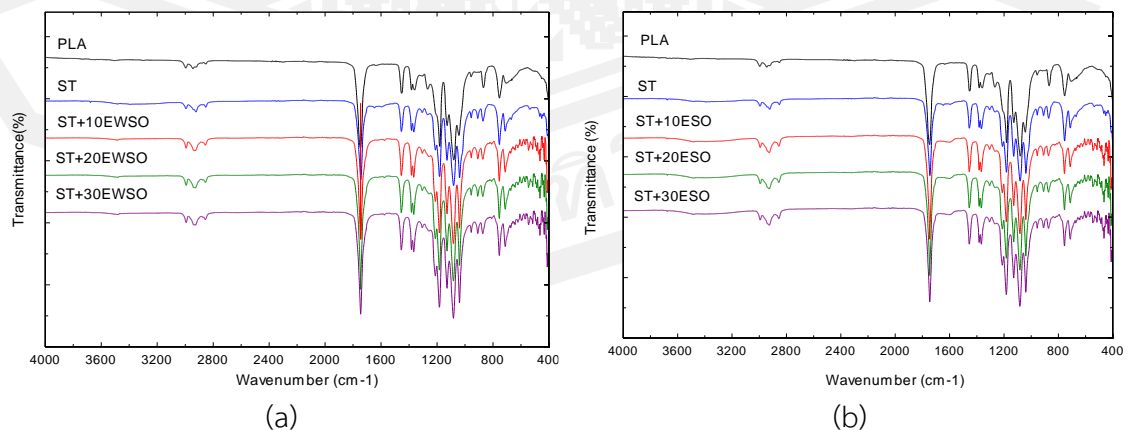
ขึ้นงาน	T _g (°C)	HC		SC	
		T _m (°C)	ΔH (J/g)	T _m (°C)	ΔH (J/g)
1 PLA	33.12	175.39	31.50	-	-
2 ST	36.06	176.16	3.43	222.80	40.33
3 ST+10EWSO	47.09	175.24	3.47	222.04	42.89
4 ST+20EWSO	42.18	175.27	3.37	221.90	46.81
5 ST+30EWSO	36.72	175.66	2.71	222.79	41.33
6 ST+10ESO	42.58	174.70	1.74	221.49	41.93
7 ST+20ESO	44.47	174.40	1.34	222.19	40.10
8 ST+30ESO	49.00	171.46	0.27	223.24	64.11
9 ST+10SO	40.57	175.75	11.38	220.41	26.29
10 ST+20SO	46.63	175.63	12.94	220.60	40.23
11 ST+30SO	40.46	175.63	12.72	220.60	39.20

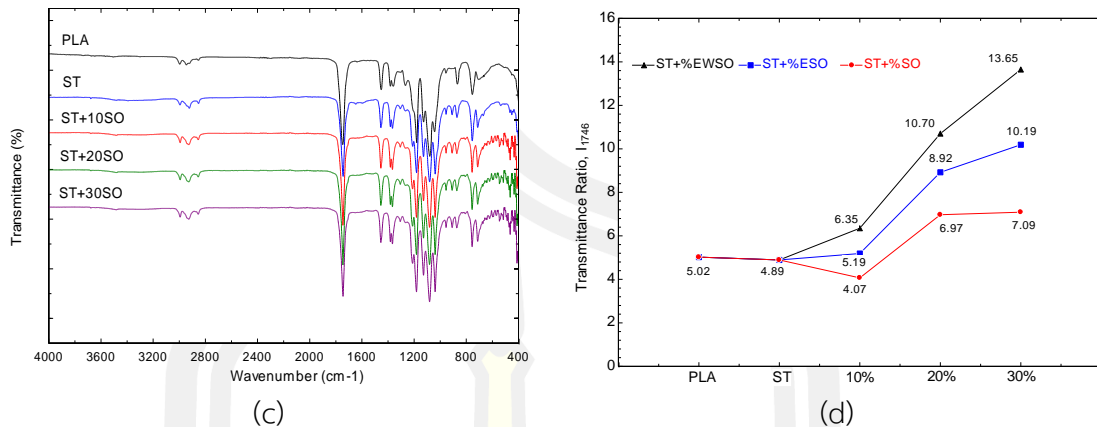
4.3.4. การทดสอบสมบัติโครงสร้างทางเคมี

ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีพบว่า มีพีค 908 เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ไอโคมเพล็กซ์ และ 922 cm^{-1} หมายถึงเฟสอสัณฐานและผลึกของ PLA ซึ่งพบในชิ้นงาน PLA และ ST (Dachanee and Yottha, 2016) และภาพขยายของโครงสร้างทางเคมีของชิ้นงานที่คลื่นความถี่ $800\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ แสดงดังภาพประกอบที่ 30 และพบพีค 1746 cm^{-1} บ่งบอกถึงหมู่เอสเทอร์ (อมรรัตน์, 2554) ซึ่งแสดงพบน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ชนิดต่างๆ เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองชนิดต่างๆ พบว่าพีคที่ 1746 cm^{-1} สูงขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองแต่ละชนิด เนื่องจากมีไขมันและน้ำมันจำนวนมากขึ้น เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นเอสเทอร์กรดไขมัน (Lixia B. et al, 2014) แสดงดังภาพประกอบที่ 31 (a) แสดงโครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%EWSO (b) แสดงโครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%ESO (c) แสดงโครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%SO และ (d) แสดงผล Transmittance (%) ที่พีค 1746 cm^{-1} ของชิ้นงาน ST+%Oil



ภาพประกอบที่ 32 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงานคลื่นความถี่ $800\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$

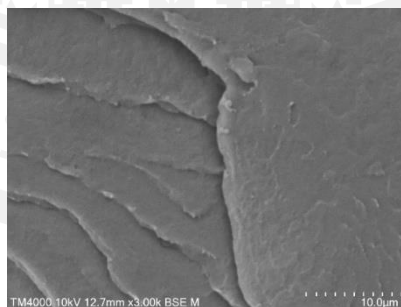




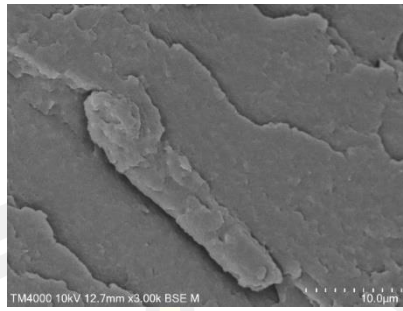
ภาพประกอบที่ 33 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%OIL

4.3.5. การทดสอบสัณฐานวิทยา

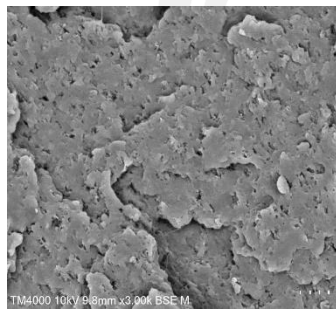
การทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ $\times 3000$ (10 ไมโครเมตร) โดยเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 32 พบว่าผิวของชิ้นงาน PLA และ ST เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ชิ้นงาน ST+%EWSO พบว่าชิ้นงานมีการแยกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไธซ์ สังเกตได้จากรูพรุนที่แทรกระหว่างผิวของชิ้นงาน โดยปริมาณของรูพรุนจะมากขึ้นเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชิ้นงาน ST+%ESO แต่ชิ้นงาน ST+%SO มีรูพรุนของน้ำมันถั่วเหลืองเข้าไปแทรก (Qiu-yu and GeQian Dou, 2022) ซึ่งเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ แสดงถึงการแยกตัวกันอย่างชัดเจนและปริมาณของรูพรุนจะมากขึ้นเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (Xiangtao M. et al., 2018)



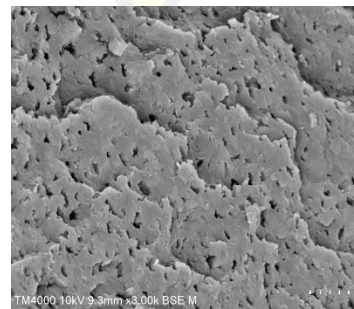
PLA



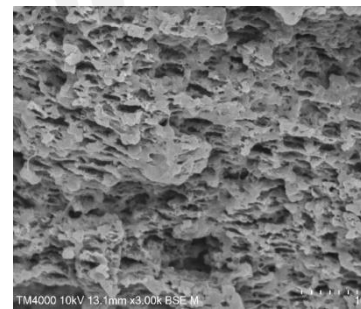
ST



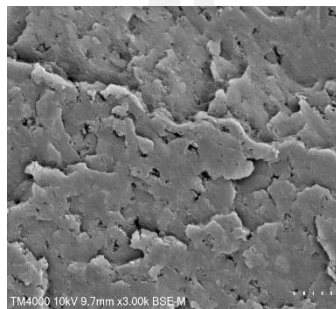
ST+10EWSO



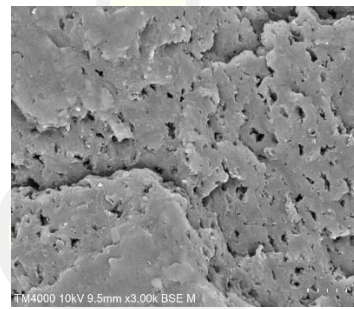
ST+20EWSO



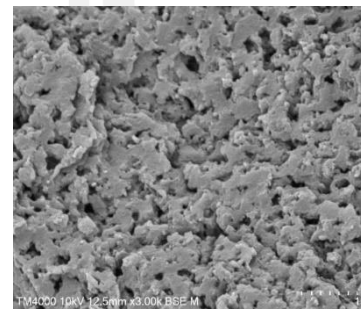
ST+30EWSO



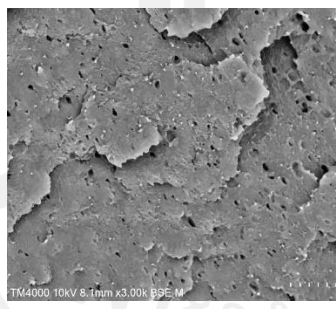
ST+30ESO



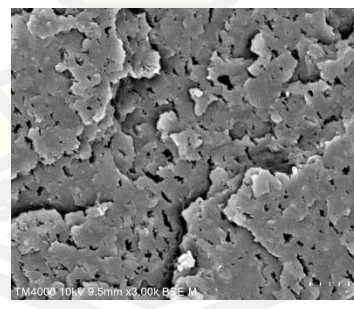
ST+20ESO



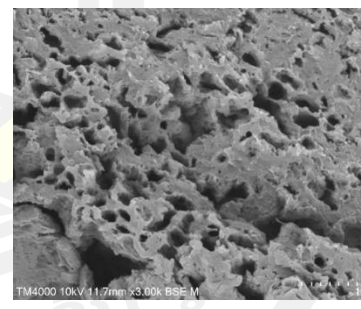
ST+30ESO



ST+10SO



ST+20SO



ST+30SO

ภาพประกอบที่ 34 การทดสอบสัณฐานวิทยา

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์และอีพ็อกซีเรซิน

จากการทำชิ้นงาน Epoxy+Oil โดย Oil แทนที่ด้วย น้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์ (EWSO) น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ที่ซื้อมา (ESO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SO) เมื่อทำชิ้นงานเสร็จพบว่าที่ชิ้นงาน Epoxy+30SO ชิ้นงานมีการแยกตัวระหว่างอีพ็อกซีและน้ำมันถั่วเหลืองอย่างชัดเจน จึงไม่นำชิ้นงาน Epoxy+SO ทุกอัตราส่วนมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

การทดสอบความแข็ง พบว่าค่าความแข็งของชิ้นงาน Epoxy มีค่าเท่ากับ 97.2 HA และเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงาน Epoxy+EWSO และ Epoxy+ESO ซึ่งค่าความแข็งที่ไม่ต่างกันมาก

การทดสอบสมบัติทางกล พบว่าชิ้นงาน Epoxy มีความแข็งแรงดึงเท่ากับ 1223.5 N ค่าระยะยืดเท่ากับ 290 mm. เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน Epoxy+10Oil พบว่าค่าความแข็งแรงเหล่านี้ไม่ต่างกันมาก และชิ้นงานเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ EWSO และ ESO พบว่าชิ้นงานมีการยึดตัวได้ดีขึ้น แต่สามารถทนแรงดึงได้น้อยลง

จากการทดสอบความแข็งและการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าชิ้นงาน Epoxy+30oil เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาทดสอบสมบัติทางความร้อน โครงสร้างทางเคมี สันฐานวิทยา และการประยุกต์ใช้งาน

การทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนมีอุณหภูมิคายความร้อนที่ประมาณ 98.93 - 111.20 องศาเซลเซียส ที่ชิ้นงาน Epoxy มีการคายพลังงาน 264.5501 J/g ซึ่งไม่แตกต่างกับชิ้นงาน Epoxy+30EWSO

การทดสอบโครงสร้างทางเคมีของสารในสถานะของแข็ง พบสเปกตรัม 1740 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่เอสเทอร์ของชิ้นงานที่มีเฉพาะชิ้นงานที่ผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการอีพ็อกซีเดชัน และพบพีก 827 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่อีพ็อกซี

การทดสอบสันฐานวิทยา โดยชิ้นงาน Epoxy ชิ้นงานมีผิวที่ราบเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ชิ้นงาน Epoxy+30EWSO พบว่ามีรูพรุนของส่วนที่เป็น EWSO เข้าไปแทรกในเนื้อของ Epoxy เช่นเดียวกับ ESO แต่อนุภาครูพรุนของ EWSO มีขนาดที่ใหญ่กว่า แสดงว่าการผสมน้ำมันถั่วเหลือง

อีพ็อกซีไดซ์ ทำให้เกิดการแยกตัวเล็กน้อย ซึ่งต่างจากการผสมน้ำมันถั่วเหลืองแสดงให้เห็นการแยกตัวอย่างชัดเจน

5.2 การประยุกต์ใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองใช้แล้วอีพ็อกซีไดซ์และแลกไทด์

จากการทำชิ้นงาน ST+%Oil โดย Oil แทนที่ด้วย น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากน้ำมันที่ใช้แล้ว (EWSO) น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SO) เมื่อทำชิ้นงานเสร็จพบว่าที่ชิ้นงาน PLA มีสีใสผิวเรียบ ชิ้นงาน ST ชิ้นงานเกิดการงอตัวเล็กน้อย และชิ้นงาน ST เมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำมัน EWSO และ ESO เป็น 10% 20% และ 30% พบว่าสีของฟิล์มเป็นสีขุ่นขึ้น และชิ้นงาน ST+10SO มีการบิดงอเล็กน้อย ชิ้นงาน ST+20SO สังเกตได้ว่าการแยกตัวอย่างชัดเจน เนื่องจากมีบางส่วนมีสีขาวแทรกที่ผิวชิ้นงาน และชิ้นงาน ST+30SO พบว่าชิ้นงานมีผิวที่ไม่เรียบ และบางส่วนมีการแตกหัก

การทดสอบสมบัติทางกล พบว่าชิ้นงาน ST+%EWSO มีความแข็งแรงที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับชิ้นงาน ST ซึ่งหมายความว่าค่าความแข็งแรงเหล่านี้ไม่ต่างกันมาก และแนวโน้มของการยืดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมัน พบว่าชิ้นงาน ST+30EWSO มีการยืดตัวสูงสุด 30.73 mm. และชิ้นงาน ST+%SO เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ SO มีแนวโน้มในการหดแรงดึงได้น้อยลง

การทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าชิ้นงาน ST พบจุดหลอมเหลว 2 จุด ประมาณ 176.36 °C และ 222.80 °C สอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของโพลีไฮโมคริสตัลไลต์ (hc-PLA) และสเตอริโอคอมเพล็กซ์

การทดสอบโครงสร้างทางเคมีของสารในสถานะของแข็ง พบสเปกตรัม 1746 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่เอสเทอร์ของชิ้นงานที่มีเฉพาะชิ้นงานที่ผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ พีค 827 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่อีพ็อกซี และพบว่ามีพีค 908 เกิดการก่อตัวของผลึกสเตอริโอคอมเพล็กซ์ และ 950 cm^{-1} หมายถึงเฟสอสัณฐานและผลึกของ PLA ซึ่งพบในชิ้นงาน PLA และ ST

การทดสอบสัณฐานวิทยา พบว่าผิวของชิ้นงาน PLA และ ST เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ชิ้นงาน ST+%EWSO พบว่าชิ้นงานมีการแยกตัวของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์จากน้ำมันที่ใช้แล้ว สังเกตได้จากรูพรุนที่แทรกระหว่างผิวของชิ้นงาน โดยปริมาณของรูพรุนจะมากขึ้นเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงาน ST+%SO มีรูพรุนของน้ำมันถั่วเหลืองเข้าไปแทรก ซึ่งเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ แสดงถึงการแยกตัวกันอย่างชัดเจนและปริมาณของรูพรุนจะมากขึ้นเมื่อเติมสัดส่วนของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ชนิดต่างๆ ต่ออีพ็อกซีจากปิโตรเลียมเคมี ที่หลากหลายและครอบคลุมมากขึ้น
2. ควรมีการศึกษาชนิดของน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันปาล์มที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเช่นเดียวกับน้ำมันถั่วเหลือง คาดว่าสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นน้ำมันปาล์มอีพ็อกซิไดซ์ (EPO)
3. ควรมีปรับใช้ด้านการประยุกต์ใช้งานและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากอีพ็อกซี เพื่อลดต้นทุนให้กับอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมเคมี



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- พิมพ์ชนก ไส้ไทย, สุนันท์ จรเจนเกียรติ, วิชนิตา ชินผา และ วราภรณ์ ต้นรัตนกุล, 2550, การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ : วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 30, 4 ตุลาคม-ธันวาคม, หน้า 583-589
- สุทัศน์ เศรษฐบุญสร้าง และ ฐิติมา ทรงสกุล, 2556, อุตสาหกรรมน้ำมันพืช: Change Fusion อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. (2554). พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้. วิศวกรรมสาร มก., 24 (77) ,99-110
- Basturk E., Inan T. and Gungor A., 2013, Flame retardant UV-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating.: Progress in Organic Coatings, 76 (6), PP. 985-992
- Bomou M., Hui Z., Kaili W., Helan X., Yong H. and Xueli W., 2020, Influence of scPLA microsphere on the crystallization behavior of PLLA/PDLA composites: Composites Communications, PP. 1-19
- Dipen K. R., Pratiksha H. W., Hassan M. and Catalin I. P., 2021, Improving the tensile and flexural properties of reinforced epoxy composites by using cobalt filled and carbon/glass fiber: Forces in Mechanics 4, PP. 1-8
- Duchanee P. and Yottha S., 2016, Preparation of Bioplastics by Blending natural rubber and stereocomplex poly (lactic acid), Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, pp.1-34
- Gerbase, A.E.; Petzhold, C.L; Costa, A.P.O J., 2002, Properties of Biobased Epoxy Resins from Epoxidized Soybean Oil (ESBO) Cured with Maleic Anhydride (MA), 79 (8) PP. 797802
- Hua Z., Liangdong Y., Shanrong L., Ziwei L., Dongming C., Zuocai Z., Yuqi L., 2022, A bio-based compatibilizer (ESO-g-s-HPG) to improve the compatibility and mechanical properties of CaCO₃/HDPE composites: Composites Science and Technology 219, PP.1-10

- Jianlei Y., Xiaotong D., Jiyi W., Yern C., Jing L., Chunhui L., Yiliyasi B., Zhen L., Naif M. and Shicai X., 2022, Synthesis and properties of bioplastics from corn starch and citric acid-epoxidized soybean oil oligomers: *Journal of Materials Research and Technology*, PP. 373-380
- Lixia B., Longchun B., Mimi Z., Jingxin L., and Jiliang W., 2014, Synthesis and self-assembly behavior of a biodegradable and sustainable soybean oil-based copolymer nanomicelle: *Nanoscale Research Letters*, PP. 1-6
- Petrie E., 2005, *Epoxy Adhesive Formulations*: Mc Graw-Hill Professional
- Przybytek M., Sienkiewicz J., Kucińska L. and Janik H., 2018, Preparation and characterization of biodegradable and compostable PLA/TPS/ESO compositions: *Industrial Crops & Products* 133, PP. 375-383
- Qiu-yu and GeQiang Dou, 2022, “In situ” compatibilization of poly(L-lactic acid)/epoxidized soybean oil bio-blends by reactive additives: *Industrial Crops & Products* 188, PP. 1-14
- Ricky H., Julie L.P., Frank E.P. and Michael R.K., 2013, Cure kinetics characterization and monitoring of an epoxy resin using DSC, Raman spectroscopy, and DEA: *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* Volume 49, PP. 100-108
- Rodrigo O., Lopez C. and Avalos B., 2021, Epoxidized sesame oil as a biobased coupling agent and plasticiser in polylactic acid/thermoplastic yam starch blends: *Heliyon* 7, PP. 1-8
- Received 25 July 2020; Received in revised form 8 October 2020; Accepted 29 January 2021
- Sudheer K., Sushanta K., Smita M. and Sanjay K., 2017, Recent Development of Biobased Epoxy Resins: A Review : *Polymer-Plastics Technology and Engineering* V. 57, PP. 133-155

- Soo-Jin P., Fan-Long J. and Jea-Rock L., 2004, Thermal and mechanical properties of tetra functional epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil: materials science and Engineering: A, Vol 374, pp. 109-114.
- Thiptida A. and Yottha S., 2019, Characterization of Poly(L-lactide) and Poly(D-lactide) blends by solution casting process, J Sci Technol MSU, Vol 38, pp. 535-538
- Wendi L., Jianhui Q., Longxiang Z., Ming-en F., Renhui Q., Eiichi S., Kazushi I., Guolin S., and Guoyi T., 2018, Tannic acid-induced crosslinking of epoxidized soybean oil for toughening poly (lactic acid) via dynamic vulcanization: Polymer 148, PP. 109-118
- Xia Y. and Larock R.C., 2010, Vegetable oil-based polymeric materials: synthesis, properties, and applications: Green Chemistry, 12(11), PP.1893-1909
- Xiangtao M., Vera B., Halil T., Shiwang C., Alexander K., Alexei P., Vlastimil K, William H. and Soydan O., 2018, Toughening of nanocellulose/PLA composites via bio-epoxy interaction: Mechanistic study: Materials and Design 139, PP. 188-197
- Xujuan H., Xinxin Y., He L., Shibin S., Zhaosheng C. and Kang W., 2019, Bio-based thermosetting epoxy foams from epoxidized soybean oil and rosin with enhanced properties: Industrial Crops & Products 139, PP. 1-9
- Xujuan H., Zhengqing D., Weiyun W., Xinyan Y., Yu Z. and Zhaosheng C., 2022, Synthesis and properties of porous materials from polymeric acrylated epoxidized soybean oil via an emulsion template: Industrial Crops & Products 188, PP. 1-9
- Xu Y, Odelius K, and Hakkarainen M., 2019, One-pot synthesis of lignin thermosets exhibiting widely tunable mechanical properties and shape memory behavior: ACS Sustainable Chem Eng.7(15), PP. 56-63

Yu-Yao L., Jia H., Yi-Dong L., Xiao-Li Z and Jian-Bing Z., 2020, Biobased, reprocessible and weldable epoxy vitrimers from epoxidized soybean oil: *Industrial Crops & Products* 153, PP. 1-9

Yun H., Puyou J., Qianqian S., Meng Z., Guodong F., Chengguo L. and Yonghong Z., 2019, Synthesis and Application of UV-curable Phosphorous-containing Acrylated Epoxidized Soybean Oil-based Resins: *Journal of Bioresources and Bioproducts*, V. 4(3), PP.183-191



ภาคผนวก (ก)
เครื่องมือและอุปกรณ์



ภาพประกอบที่ 11 เครื่อง Fourier transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy



ภาพประกอบที่ 12 เครื่องทดสอบความแข็ง Shore A



ภาพประกอบที่13 เครื่องทดสอบแรงดึง (tensile Testing)



ภาพประกอบที่ 14 เครื่อง Differential scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DSC-4000



ภาพประกอบที่ 15 เครื่อง Scanning Electron Microscopy) รุ่น HITACHI TM4000Plus

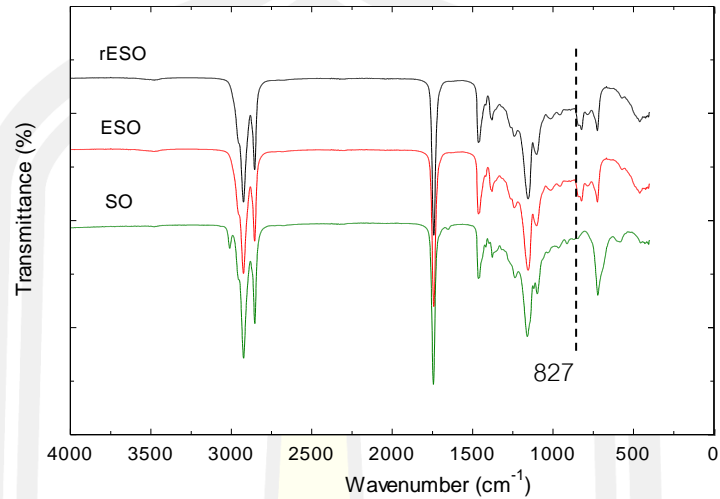


ภาพประกอบที่ 16 เครื่องทดสอบแรงตึง (texture analyzer)



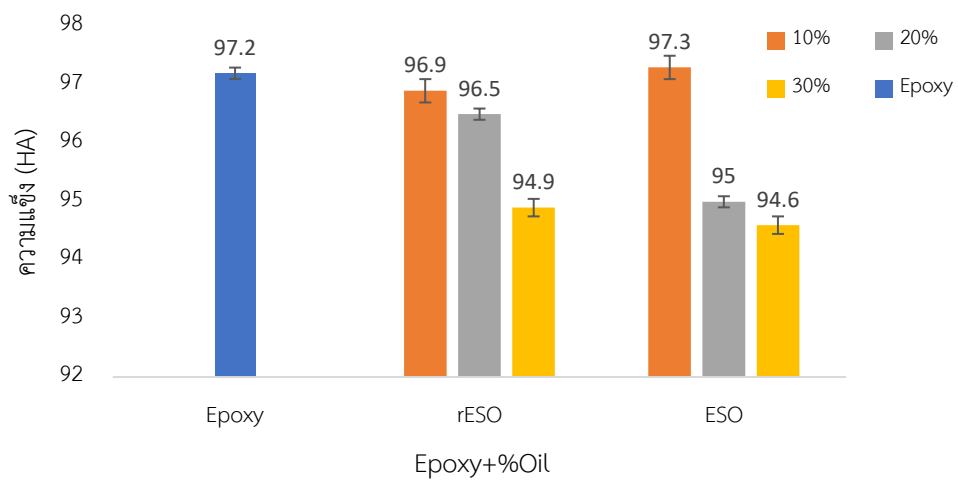
ภาคผนวก (ข)

ผลการทดลอง

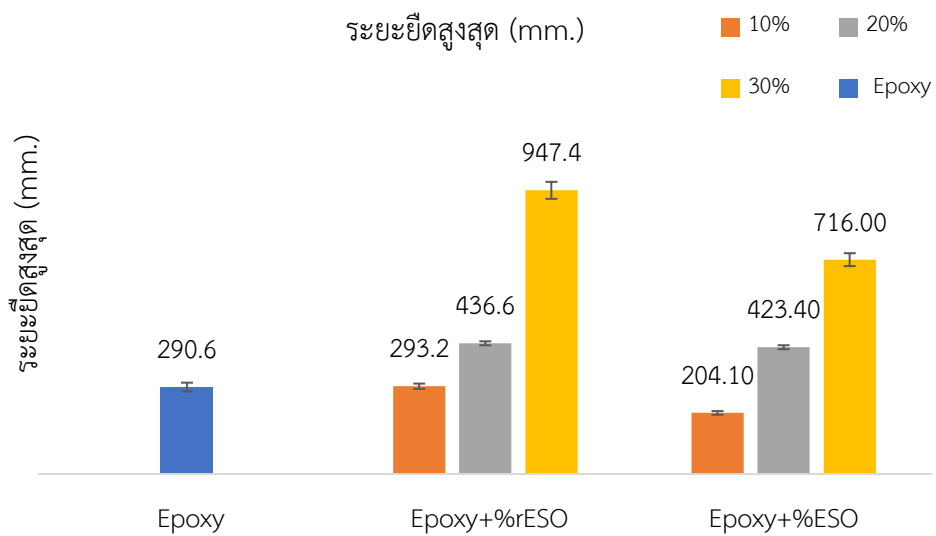
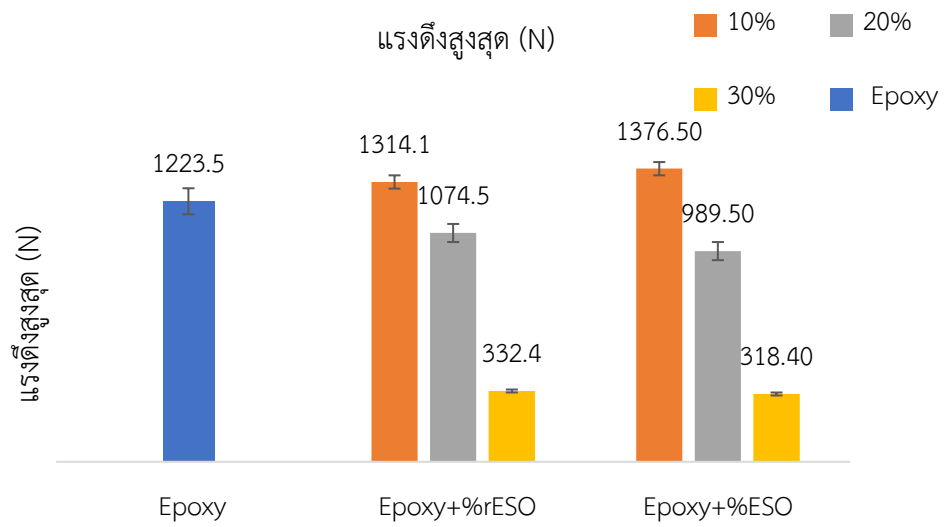


ภาพประกอบที่ 17 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองชนิดต่างๆ

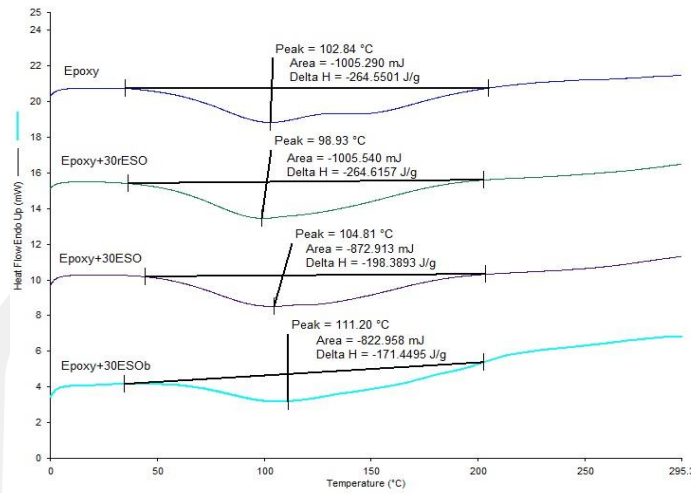
แผนภูมิเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นงาน



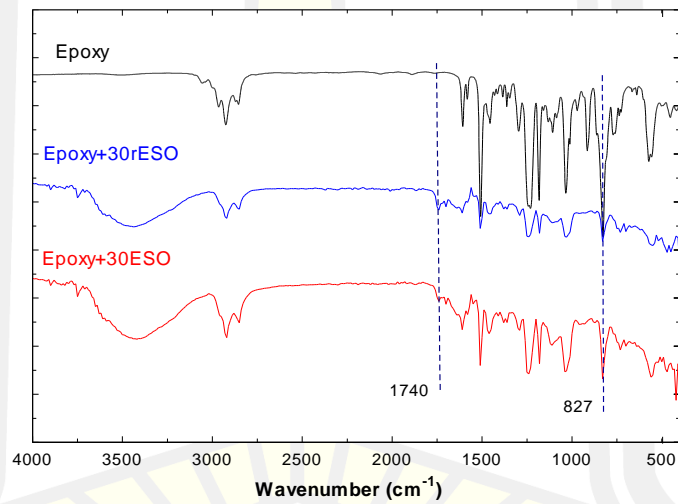
ภาพประกอบที่ 18 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน Epoxy+%ESO



ภาพประกอบที่ 20 แสดงค่าระยะยืดสูงสุดของชิ้นงาน

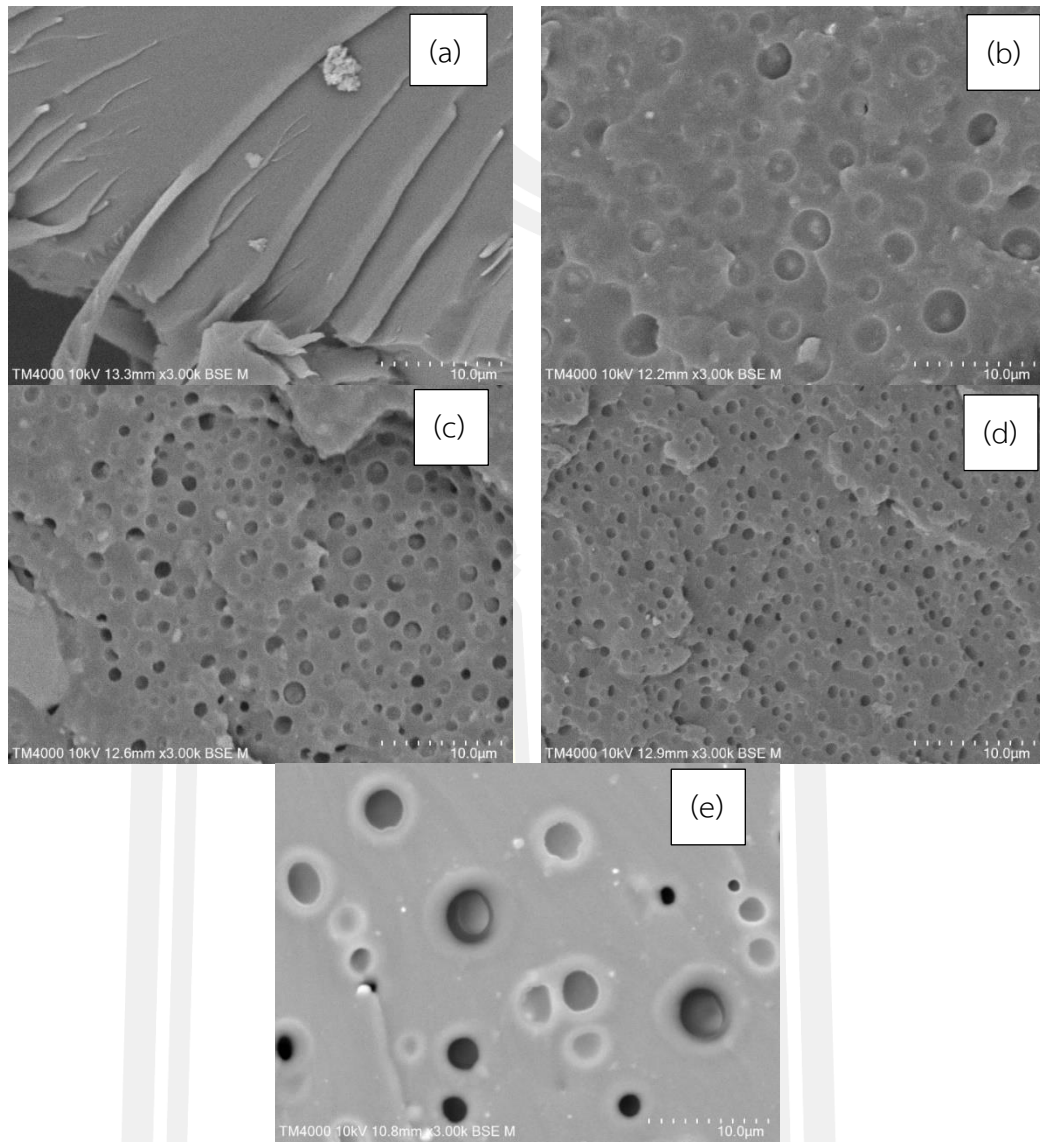


ภาพประกอบที่ 21 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน



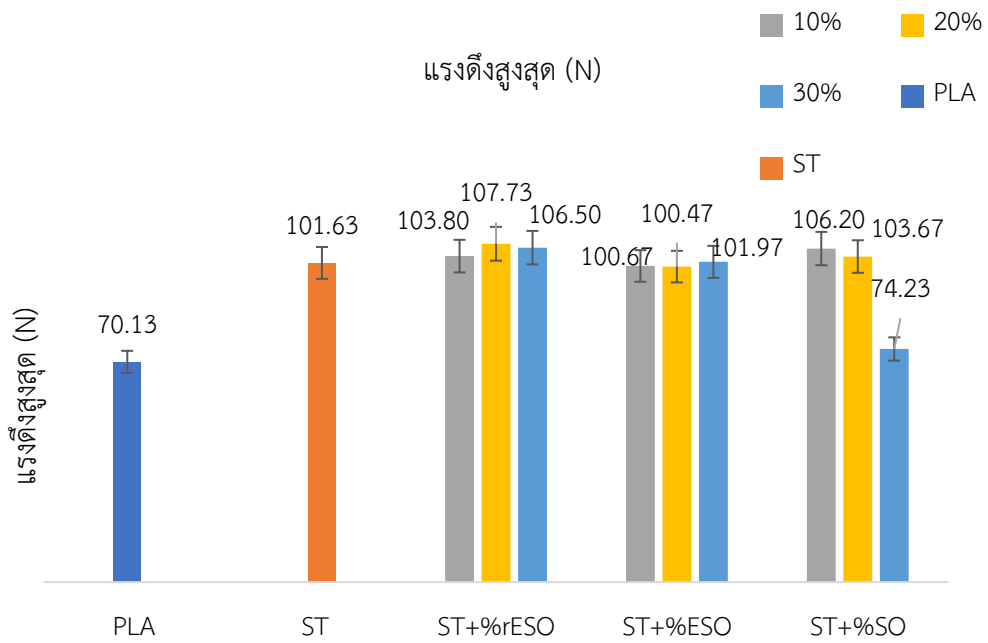
ภาพประกอบที่ 22 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมี

พหุบัณฑิต ชีวะ

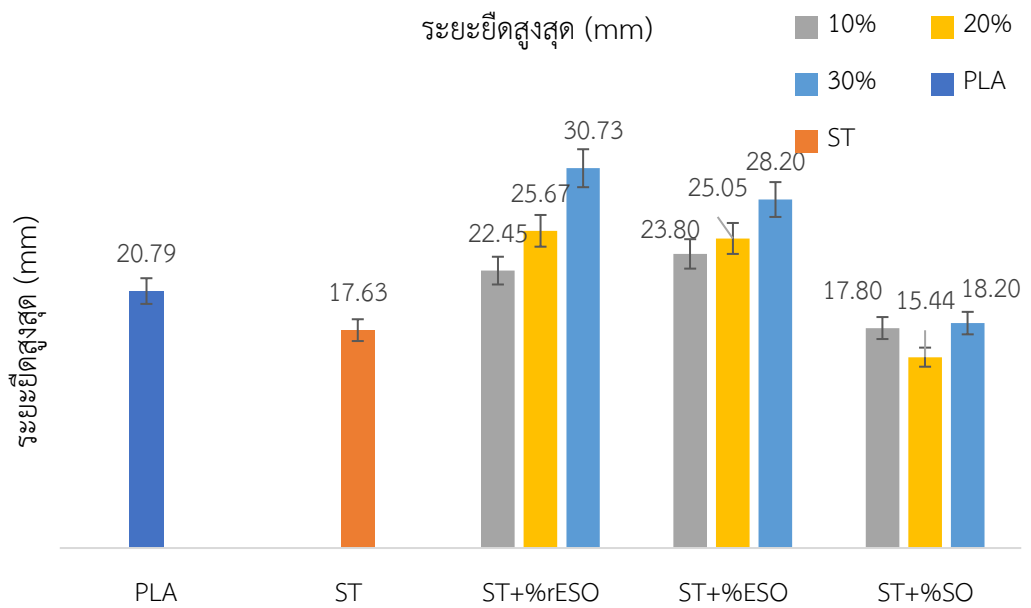


ภาพประกอบที่ 23 (a) Epoxy (b) Epoxy+30rESO (c) Epoxy+30ESO (d) Epoxy+30ESOb (e)

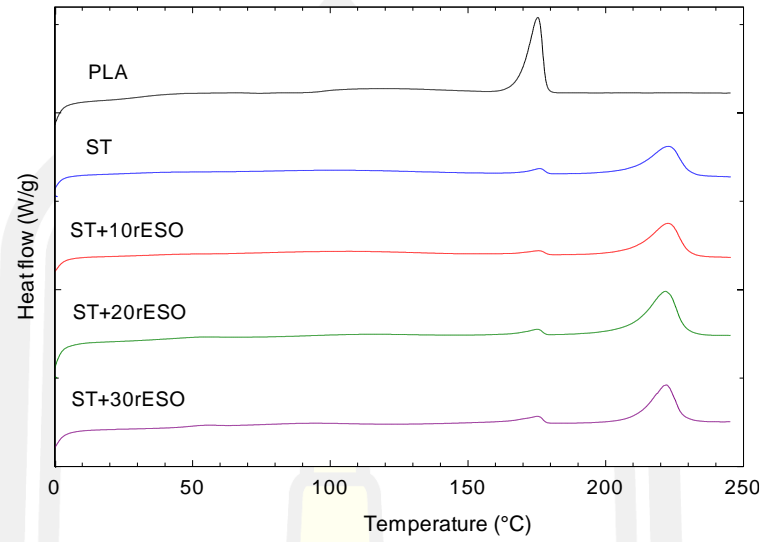
พหุบัณฑิต ชีวะ



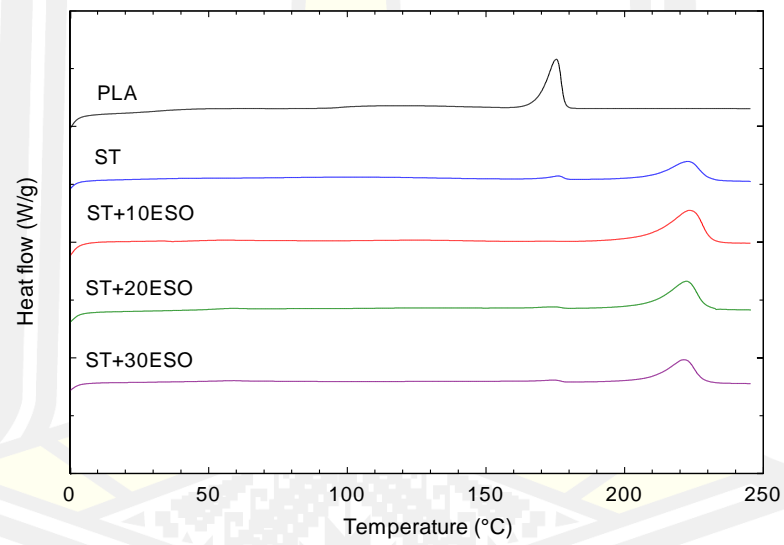
ภาพประกอบที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุด



ภาพประกอบที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงสูงสุด

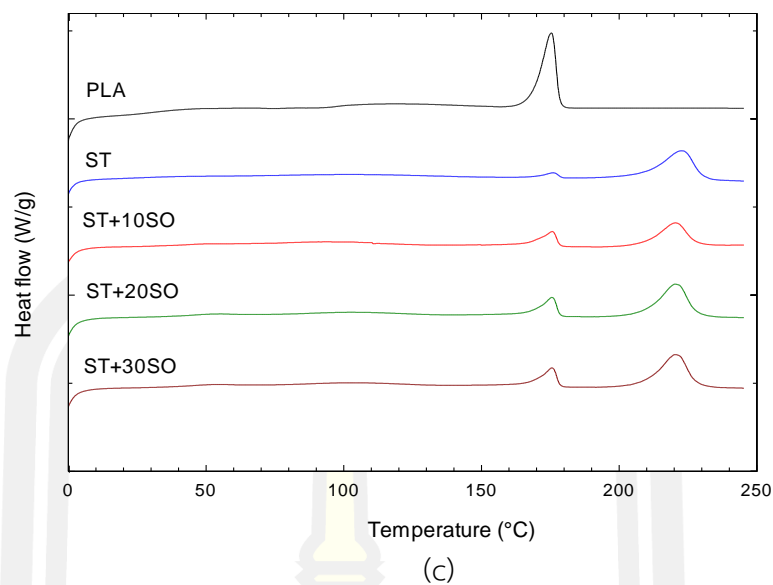


(a)



(b)

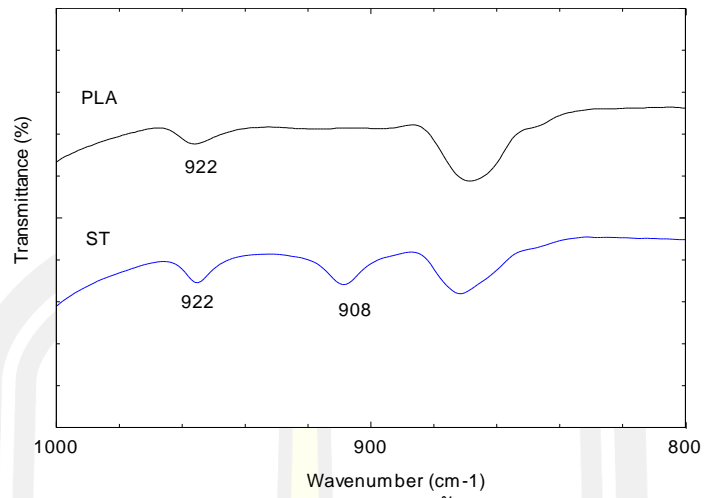
พหุบัณฑิต ชีวะ



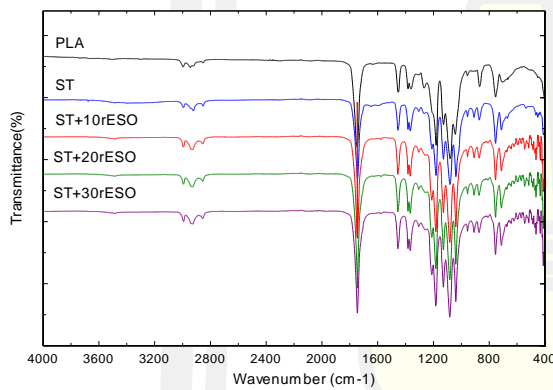
ภาพประกอบที่ 26 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนขึ้นงาน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Tg และ Tm

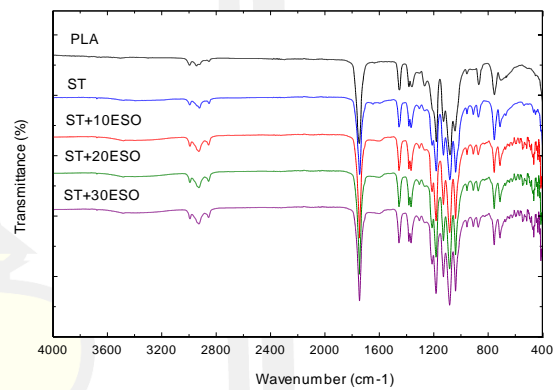
ขึ้นงาน	Tg (°C)	HC		SC	
		Tm (°C)	ΔH (J/g)	Tm (°C)	ΔH (J/g)
1 PLA	33.12	175.39	3.50	-	-
2 ST	36.06	176.16	3.43	222.80	40.33
3 ST+10rESO	47.09	175.24	3.47	222.04	42.89
4 ST+20rESO	42.18	175.27	3.37	221.90	46.81
5 ST+30rESO	36.72	175.66	2.71	222.79	41.33
6 ST+10ESO	42.58	174.70	1.74	221.49	41.93
7 ST+20ESO	44.47	174.40	1.34	222.19	40.10
8 ST+30ESO	49.00	171.46	0.27	223.24	64.11
9 ST+10SO	40.57	175.75	11.38	220.41	26.29
10 ST+20SO	46.63	175.63	12.94	220.60	40.23
11 ST+30SO	40.46	175.63	12.72	220.60	39.20



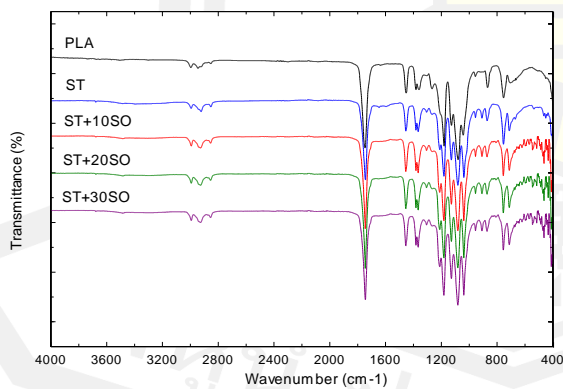
ภาพประกอบที่ 27 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงานคลื่นความถี่ 800-1000 cm⁻¹



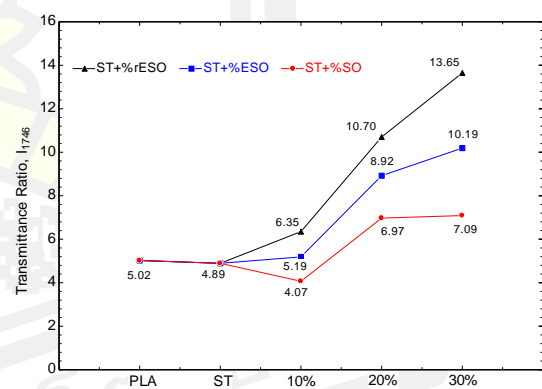
(a)



(b)

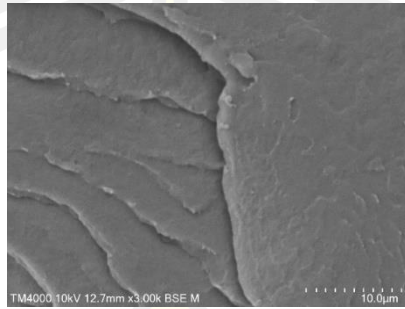


(c)

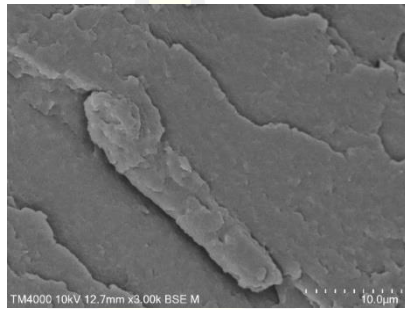


(d)

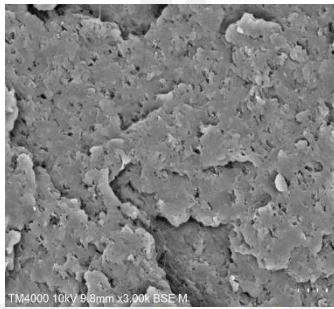
ภาพประกอบที่ 28 โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ST+%Oil



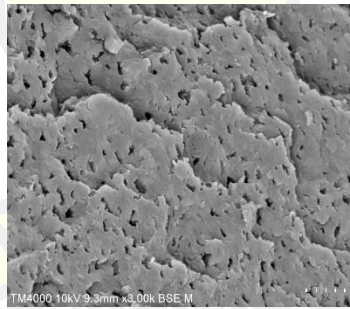
PLA



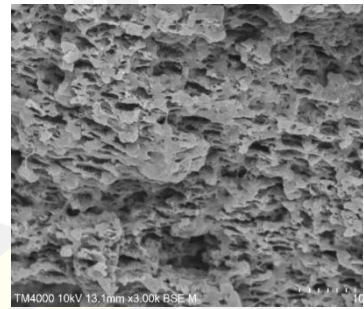
ST



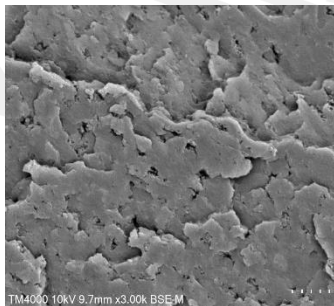
ST+10rESO



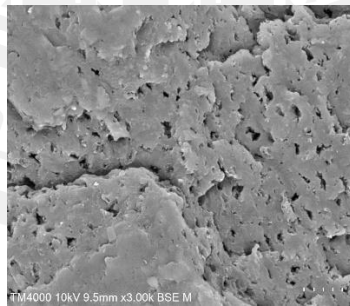
ST+20rESO



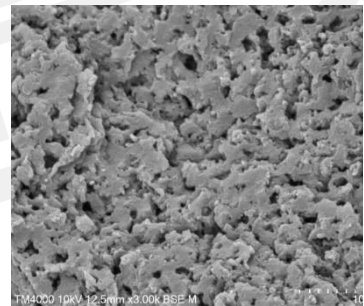
ST+30rESO



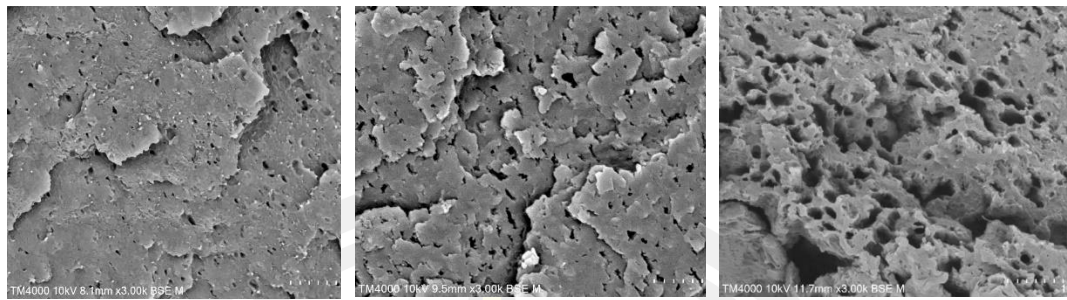
ST+30ESO



ST+20ESO



ST+30ESO



ST+10SO

ST+20SO

ST+30SO

ภาพประกอบที่ 29 การทดสอบสัณฐานวิทยาที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ณัฐมล ขอกกลาง
วันเกิด	02/10/1996
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	50 หมู่ 7 ต.เจาทอง อ.ภักดีชุมพล จ.ชัยภูมิ 36260
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นิสิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนภักดีชุมพลวิทยา พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม การผลิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2565 ปัจจุบันกำลังศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	-
ผลงานวิจัย	-

พหุบัณฑิต ชีวะ