

ชื่อโครงการ การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA และ LDPE/EEA เพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสุภารัตน์ รักชลธิ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์)

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EMA) (LDPE/EMA) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเอทิลีนเอทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EEA) (LDPE/EEA) เพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด โดยศึกษาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA เป็น 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ทำการผสมสูตรพอลิเมอร์ โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด และขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ LDPE/EMA มีการกระจายตัวของ EMA ที่ดี โดยค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากและค่ายังมอดุลัสมีค่าน้อยกว่าฟิล์ม LDPE และมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ EMA ส่วนค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ EMA การศึกษาอิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันซึ่งโคพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ในการเปรียบเทียบคือ EMA, EEA และเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) พบว่าเมื่อควบคุมให้ปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วใกล้เคียงกัน สมบัติเชิงกลของฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน ฟิล์มสูตร L70E30 มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ (20% โดยน้ำหนัก) พบว่าซีโอไลต์เอกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของโคพอลิเมอร์ที่มีขั้ว โดยฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอนั้นมีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากไม่แตกต่างกัน ฟิล์มพอลิเมอร์สูตร L80M20Z20 มีค่า WVP มากกว่าฟิล์ม LDPE 180% และมีค่ามากกว่าฟิล์มสูตร L80M20 83% โดยฟิล์ม L80M20Z20 มีสมบัติความแข็งแรงดึงต่ำกว่าฟิล์ม LDPE แต่มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในงานบรรจุภัณฑ์

คำสำคัญ : ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เอทิลีนโคพอลิเมอร์, ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ, ซีโอไลต์เอ

Research Title: Investigation on properties of LDPE/EMA and LDPE/EEA blend films for fresh produces packaging

Researcher: Mrs. Suparat Rukchonlatee

Faculty: Science

Department: Chemistry

ABSTRACT

This research investigated on properties of low density polyethylene (LDPE)/ ethylene methyl acrylate copolymer (EMA) (LDPE/EMA) and LDPE/ ethylene ethyl acrylate copolymer (EEA) (LDPE/EEA) blend films for fresh produces packaging. The LDPE/EMA compounds were mixed for blend ratios of 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 and 60/40 using an internal mixer. The films were prepared using a compression molding process. It was found that EMA was well dispersed in LDPE matrix. Tensile strength at yield and Young's modulus were lower than those of parent LDPE film. In addition, those properties were decreased when EMA content increased. The WVP of LDPE/EMA blend films increased with increasing EMA content. The effect of copolymer functional groups was studied using EMA, EEA and ethylene vinyl acetate copolymer (EVA). It was found that mechanical properties of all LDPE/Copolymer films were in similar range. However, the WVP of L70E30 film was the highest. The effect of zeolite A (20% by weight) was also studied and it was found that zeolite A was well dispersed and virtually found in the polar copolymer phase. Accordingly, no significant effect of zeolite A addition on tensile strength at yield of the film was illustrated. However, the WVP of L80M20Z20 film was higher than that of LDPE film 180% and that of L80M20 film 83%. Although the tensile properties of L80M20Z20 film were lower than those of LDPE film, they were still in an acceptable range for packaging.

Keywords: LDPE/Ethylene copolymer film, Water vapor permeation, Zeolite A

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA และ LDPE/EEA เพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด (Investigation on properties of LDPE/EMA and LDPE/EEA blend films for fresh produces packaging) ดำเนินงานได้เป็นอย่างดี โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี งบประมาณ ๒๕๕๘ (สัญญาเลขที่ 2558 02050026 / เลขรหัสโครงการ 25580205026) ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายจิตินันท์ ศิริจันทร์นนท์ นักศึกษาปริญญาโท นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเคมีทุกท่านในการอำนวยความสะดวก และช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นางสุภารัตน์ รักชลธิ

หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว	5
2.1.1 การเปลี่ยนแปลงของพืชหลังการเก็บเกี่ยว	7
2.1.1.1 การหายใจ	7
2.1.1.2 การคายน้ำ	12
2.1.1.3 การสุก	13
2.2 การซีมผ่าน	15
2.2.1 สมการการแพร่และการดูดซับ	16
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการซีมผ่านฟิล์มพลาสติก	17
2.2.3 การตรวจวัดการซีมผ่าน	21
2.2.3.1 การตรวจวัดค่าอัตราการซีมผ่านของก๊าซ	22
2.2.3.2 การตรวจวัดค่าอัตราการซีมผ่านของไอน้ำ	24
2.3 บรรจุภัณฑ์สำหรับรักษาคุณภาพพืช	25
2.3.1 ความต้องการทางบรรจุภัณฑ์ของผักและผลไม้สด	26
2.3.2 การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค	29
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	31
2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ LDPE	31
2.4.2 สมบัติโดยทั่วไปของ LDPE	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การประยุกต์ใช้งาน	32
2.5 พอลิเมอร์ร่วมพอลิเอทิลีน (Ethylene copolymer)	32
2.5.1 เอทิลีนเอทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EEA)	32
2.5.1.1 ลักษณะทั่วไปของ EEA	32
2.5.1.2 สมบัติบางประการของ EEA	33
2.5.1.3 สมบัติในการใช้งานของ EEA เมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE	33
2.5.1.4 การประยุกต์ใช้งาน	33
2.5.2 เอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EMA)	34
2.5.2.1 ลักษณะทั่วไปของ EMA	34
2.5.2.2 สมบัติบางประการของ EMA	34
2.5.2.3 สมบัติในการใช้งานของ EMA เปรียบเทียบกับ LDPE	34
2.5.2.4 การประยุกต์ใช้งาน	35
2.5.3 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA)	35
2.5.3.1 ลักษณะทั่วไปของ EVA	35
2.5.3.2 สมบัติบางประการของ EVA	35
2.5.3.3 การประยุกต์ใช้งาน	36
2.6 ซีโอไลต์เอ	36
2.6.1 โครงสร้างของซีโอไลต์เอ	37
2.6.2 การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอ	37
2.6.3 สมบัติของซีโอไลต์เอ	38
2.6.4 การนำซีโอไลต์เอไปใช้งาน	38
2.7 พอลิเมอร์ผสม	39
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	47
3.1 สารเคมี	47
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	48
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	49
3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม	49
3.3.2 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยการผสมผ่านสูตรเข้มข้น	49
3.3.2.2 สูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอด้วยการผสมแบบครั้งเดียว.....	51
3.3.3 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการกดอัด	51
3.3.4 ความหนาของฟิล์ม	51
3.3.5 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	51
3.3.6 การศึกษาพฤติกรรมการไหลด้วย Capillary rheometer	52
3.3.7 การศึกษาพฤติกรรมการไหลด้วย Cone and plate rheometer	52
3.3.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อนแบบพลวัตด้วย DMA	52
3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณซีโอไลต์เอในฟิล์มตัวอย่าง	52
3.3.10 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึก	53
3.3.11 การศึกษาสัณฐานวิทยา	53
3.3.11.1 การกระจายตัวของเอทิลีนโคพอลิเมอร์	53
3.3.11.2 การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ	54
3.3.12 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง	54
3.3.13 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด	55
3.3.14 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ	55
3.3.15 การทดสอบมุมสัมผัส	55
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	56
4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA	56
4.1.1 การทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม	56
4.1.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของ EMA ในฟิล์ม LDPE/EMA	59
4.1.3 การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LDPE/EMA	60
4.1.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LDPE/EMA	61
4.1.5 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง	63
4.2 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน	64
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว	65
4.2.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของ Copolymer ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ...	67
4.2.3 การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	68
4.2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	68
4.2.5 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาผลของลำดับการผสมและผลของการเติมซีโอไลต์เอ	72
4.3.1 การศึกษาผลของลำดับในการผสม	72
4.3.1.1 การตรวจสอบปริมาณของซีโอไลต์เอใน L80M20Z20 ที่มีลำดับ การผสมต่างกัน	73
4.3.1.2 สันฐานวิทยาของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับการ ผสมต่างกัน	74
4.3.1.3 สมบัติทางความร้อนของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับผสมต่างกัน	75
4.3.1.4 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับผสมต่างกัน	75
4.3.1.5 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับการผสมต่างกัน	77
4.3.2 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ	78
4.3.2.1 การตรวจสอบปริมาณของซีโอไลต์เอในพอลิเมอร์ผสม	78
4.3.2.2 การศึกษาสมบัติการไหลที่สภาวะแรงเฉือนสูง	79
4.3.2.3 พฤติกรรมทางความร้อนแบบพลวัตของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเมอร์ ผสม	80
4.3.2.4 การศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ...	83
4.3.2.5 ผลของการเติมซีโอไลต์เอที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม พอลิเมอร์	85
4.3.2.6 ผลของการเติมซีโอไลต์เอที่มีต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม.	86
4.3.2.7 ผลของการเติมซีโอไลต์เอต่อความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของ ฟิล์มพอลิเมอร์	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการวิจัย	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบสมบัติบางประการของ EVA และ EMA	3
2.1 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และระยะเวลาในการเก็บรักษาผัก	6
2.2 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Climacteric	9
2.3 อัตราการหายใจของผลไม้แต่ละชนิดประเภท Non-climacteric	10
2.4 ผลของโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกต่อค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน	17
2.5 ผลของการจัดระเบียบโมเลกุลต่อค่า $P_m(O_2)$ ของพลาสติก	18
2.6 ผลของระดับของความเป็นผลึกต่อค่า $P_m(O_2)$ ของพลาสติก	19
2.7 ขนาดโมเลกุลและสัดส่วนของค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจนและการ์บอนไดออกไซด์	20
2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ การละลายและค่าอัตราการซึมผ่านของ การ์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจน ของ LDPE ที่ 25°C	20
2.9 ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและการ์บอนไดออกไซด์ในฟิล์ม พลาสติกชนิดต่างๆ	27
2.10 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ	27
2.11 สมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ไม่มีเจาะรู และฟิล์มพลาสติกที่มีการเจาะรูขนาดเล็ก ..	30
2.12 สมบัติทั่วไปของ LDPE	31
3.1 สมบัติบางประการของ LDPE	47
3.2 สมบัติบางประการของเอทิลีน โคพอลิเมอร์	48
3.3 สมบัติบางประการของ Zeolite A	48
3.4 พอลิเมอร์ผสมสูตรทั้งหมดโดยน้ำหนัก	50
3.5 องค์ประกอบและปริมาณสารที่ใส่ในเครื่องผสมของพอลิเมอร์สูตร L80M20Z20	50
3.6 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์ (โดยน้ำหนัก)	51
4.1 สูตรพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA และความหนาของฟิล์ม	56
4.2 T_m และ T_c ของ LDPE และ EMA และความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมในฟิล์ม LDPE/EMA	61
4.3 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์	64
4.4 สูตรพอลิเมอร์ผสม LDPE/Copolymer และความหนาของฟิล์ม	65
4.5 ค่าดัชนีการบดขยี้ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	67
4.6 T_m และ T_c ของ LDPE และความเป็นผลึกรวมของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	68
4.7 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิวภาคตัดขวางของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 องค์ประกอบของ L80M20Z20 โดยน้ำหนักและความหนาของฟิล์มตัวอย่าง	73
4.9 ปริมาณซีโอไลต์เอใน L80M20Z20 ที่มีลำดับการผสมต่างกัน	73
4.10 พฤติกรรมทางความร้อนและความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ในฟิล์ม L80M20Z20	75
4.11 ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมซีโอไลต์เอและความหนาความหนาเฉลี่ย	78
4.12 ปริมาณซีโอไลต์เอในพอลิเมอร์ผสม	79
4.13 ค่า T_g ของพอลิเมอร์	83
4.14 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	85
4.15 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมซีโอไลต์เอและไม่มีการเติม ซีโอไลต์เอ	90

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน	8
2.2 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขป ทั้งแบบใช้ก๊าซ O ₂ และไม่ใช้ก๊าซ O ₂	8
2.3 กระบวนการซึมผ่านพลาสติกของก๊าซหรือไอ	16
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน สำหรับพลาสติก PE	18
2.5 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน สำหรับฟิล์มพลาสติก ชนิดต่างๆ	21
2.6 การตรวจวัดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านพลาสติกด้วยวิธี Manometric method	22
2.7 แผนภูมิการตรวจวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D3985 ..	23
2.8 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัด WVTR	25
2.9 โครงสร้างของ LDPE	31
2.10 โครงสร้างของ EEA	33
2.11 โครงสร้างของ EMA	34
2.12 โครงสร้างของ EVA	36
2.13 Frame work ของซีโอไลต์เอ	37
2.14 โครงผลึกของซีโอไลต์เอ	37
2.15 ภาพขยายของซีโอไลต์เอ จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด	38
2.16 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีผสมเข้ากันได้ (Miscible)	39
2.17 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีไม่ผสมเข้ากันได้ (Immiscible)	40
3.1 ลักษณะของชิ้นงานตัวอย่าง	54
4.1 สมบัติการไหลที่สภาวะแรงเฉือนต่ำของพอลิเมอร์หลอมเหลว LDPE/EMA ที่ 130°C	57
4.2 สมบัติการไหลที่สภาวะแรงเฉือนสูงของพอลิเมอร์หลอมเหลว LDPE/EMA ที่ 190°C	58
4.3 ภาพ SEM ของพื้นที่ตัดขวางของฟิล์ม LDPE/EMA ที่มีการสกัดวัฏภาคของ EMA ออก (กำลังขยาย 3500 เท่า)	59
4.4 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EMA	62
4.5 สมบัติความแข็งแรงทนทานของฟิล์ม LDPE/EMA	62
4.6 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE/EMA	63
4.7 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง FT-IR	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 ภาพ SEM ของพื้นที่ตัดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการสกัดวัฏภาคกระจายออก (กำลังขยาย 3500 เท่า)	67
4.9 อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันที่มีต่อสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	69
4.10 อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันที่มีต่อสมบัติความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	70
4.11 อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันที่มีต่อความสามารถในซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	71
4.12 แบบจำลองสัณฐานวิทยาของฟิล์ม LDPE/Copolymer ที่มีอัตราส่วนต่างกัน	71
4.13 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับการผสมต่างกัน ก่อนสกัดวัฏภาคกระจายออก (กำลังขยาย 5000 เท่า)	74
4.14 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับการผสมต่างกัน หลังสกัดวัฏภาคกระจายออก (กำลังขยาย 5000 เท่า)	75
4.15 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับการผสมแตกต่างกัน	77
4.16 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม L80M20Z20 ที่มีลำดับในการผสมที่ต่างกัน	77
4.17 สมบัติการไหลที่สภาวะแรงเฉือนสูงของพอลิเมอร์ที่มีซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก	79
4.18 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม, มอดุลัสสูญเสีย และ $\tan \delta$ กับอุณหภูมิ ของพอลิเมอร์ที่มีการเติมและไม่เติมซีโอไลต์เอ	82
4.19 พื้นผิวภาคตัดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมซีโอไลต์เอ 20% (กำลังขยาย 5000 เท่า)	84
4.20 พื้นผิวที่แตกหักของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมซีโอไลต์เอหลังสกัด (กำลังขยาย 5000 เท่า)	85
4.21 สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	88
4.22 สมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีการเติมซีโอไลต์เอเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	89