สารบัญเรื่อง

เรื่อง	เลขหน้า
กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	4
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	15
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.1 แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย	17
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 สารเคมี	22
3.2 การผสมพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งต่างๆ และการขึ้นรูปฟิล์ม	22
3.3 การเป่าขึ้นรูปฟิล์ม	24
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	25
3.5 การทดสอบสมบัติด้านความร้อน	25
3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	25

3.7 การทดสอบด้านการย้ายที่ของสารเคมีลงสู่อาหาร 26
3.8 การทดสอบด้านการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจน 27
3.9 การทดสอบสมบัติด้านการส่องผ่านแสง 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล 28
4.1 ผลของปริมาณสารนาโนเคลย์ Cloisite 20A และสภาวะในการผลิต 28
ผลของความเร็วรอบในการผสม 28
ผลของปริมาณสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A 31
4.2 ผลของชนิดของสารนาโนเคลย์ 36
สมบัติเชิงกล 36
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค XRD 37
ผลการทดสอบด้านการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจน 42
โครงสร้างสัณฐานวิทยา 43
ผลการทดสอบด้านการย้ายที่ของสารเคมีลงสู่อาหาร 47
สมบัติด้านความใสหรือการส่องผ่านแสง 48
4.3 สมบัติของฟิล์มที่เป่าขึ้นรูปโดยกระบวนการในโรงงาน 50
สมบัติเชิงกล 50
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค XRD 53
ผลการทดสอบด้านการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจน 54

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการทดลอง 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 56

เอกสารอ้างอิง 57

ภาคผนวก 59

ก. DSC thermograms ของฟิล์มพอลิเอธิลีนและฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิท

ข. สมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเอธิลีนชนิดต่างๆ

ค. รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่าง ในด้านของอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและในด้านการละลายของสารเคมีจากเนื้อพลาสติก

ง. รายงานผลการทดสอบสมบัติด้านการทนแรงดึง

จ. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548

ฉ. ภาพตัวอย่างการดำเนินการทดลอง

ช. ประวัตินักวิจัย

สารบัญตาราง

รายการตาราง	เลขหน้า
ตารางที่ 2.1 Specification ของนาโนเคลย์ชนิดต่างๆ	19
ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	22
ตารางที่ 3.2 สูตรการผสมพอลิเมอร์และสารเคมีต่างๆ สำหรับผลิตฟิล์มนาโนคอมโพสิท	23
ตารางที่ 3.3 แสดงสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป	23
ตารางที่ 4.1 สมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเอธิลีน (LLDPE/LDPE) ที่ผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 0-5 phr ที่สภาวะความเร็วรอบในการผสมต่างๆ	31
ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณสารนาโนเคลย์ต่อสมบัติด้านการส่องผ่านแสงของฟิล์มพอลิเอธิลีนชนิดต่างๆ	35
ตารางที่ 4.3 สมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเอธิลีนชนิดต่างๆ	37
ตารางที่ 4.4 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนในฟิล์มพอลิเอธิลีนประเภทต่างๆ	42
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารที่เหลือตกค้างที่เหลือจากการระเหยสารละลายหลังสกัดด้วยตัวแทนอาหาร (food simulant) ประเภทต่างๆ	47
ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดสารนาโนเคลย์ ต่อสมบัติด้านการส่องผ่านแสงของฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิทที่ผ่านกระบวนการการอัดรีดผ่านหัวดายแบบชีท	49
ตารางที่ 4.7 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน และไอน้ำในฟิล์มพอลิเอธิลีนและฟิล์มนาโนคอมโพสิทที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตต่างๆ	54

สารบัญรูป

รายการรูป	เลขหน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทกุ้งแช่แข็ง ที่ทำจาก PE/PET ลามิเนต	14
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงฟิล์มพอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารแพร่แบบคดเคี้ยว	17
รูปที่ 3.1 กระบวนการผสมและขึ้นรูปฟิล์มแบบอัดรีด	23
รูปที่ 3.2 การทดลองเป่าขึ้นรูปฟิล์มโดยกระบวนการการอัดรีดเป่าฟิล์ม ในโรงงาน	24
รูปที่ 3.3 เครื่อง X-ray diffractometer	25
รูปที่ 3.4 การทดลอง migration test	26
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน	27
รูปที่ 3.6 เครื่อง UV-visible spectrometer	27
รูปที่ 4.1 XRD pattern ของสาร Cloisite20A, ฟิล์มพอลิเอธิลีนแบบปกติและฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโน	29
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวของชิ้นงานฟิล์มพอลิเอธิลีนชนิดต่างๆ คอมโพสิท (ปริมาณ cloisite 20A = 3 phr) ที่ความเร็วรอบต่างๆ	30
รูปที่ 4.3 ค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิทที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	32
รูปที่ 4.4 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์ม พอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิทที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	33
รูปที่ 4.5 ค่ามอดุลัสของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิทที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	34
รูปที่ 4.6 ค่าความเหนียวของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิทที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	34
รูปที่ 4.7 XRD pattern ของ Cloisite 10A และฟิล์ม PE3C10A	38
รูปที่ 4.8 XRD pattern ของ Cloisite 20A และฟิล์ม PE3C20A	39
รูปที่ 4.9 XRD pattern ของ Cloisite 25A และฟิล์ม PE3C25A	39
รูปที่ 4.10 XRD pattern ของ Cloisite 30B และฟิล์ม PE3C30B	40

สารบัญรูปต่อ

รายการรูป	เลขหน้า
รูปที่ 4.11 XRD pattern ของ Cloisite 93A และฟิล์ม PE3C93A	40
รูปที่ 4.12 XRD pattern ของ Cloisite Na และฟิล์ม PE3CNa	41
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มชนิดต่างๆ ภาพ (ก) ฟิล์ม PE3C20A, ภาพ (ข) ฟิล์ม PE3C10A, ภาพ (ค) ฟิล์ม PE3C25A, ภาพ (ง) ฟิล์ม PE3C130B, ภาพ (จ) ฟิล์ม PE3C93A, ภาพ (ฉ) ฟิล์ม PE3CNa	43
รูปที่ 4.14 สเปคตรัม UV-Visible ของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3CNa	48
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะการยืดตัวของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าในโรงงาน	50
รูปที่ 4.16 ค่าการทนแรงดึงของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าในโรงงาน	51
รูปที่ 4.17 ค่าการยืดตัวของ ฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าในโรงงาน	51
รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัสของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A	52
รูปที่ 4.19 ค่าความเหนียวของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าในโรงงาน	52
รูปที่ 4.20 XRD pattern ของฟิล์ม PE และฟิล์ม PE3C20A ที่ได้จากกระบวนการเป่าขึ้นรูปในโรงงาน	53

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
HDPE	พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
LDPE	พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
LLDPE	พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
PE-g-MA	พอลิเอธิลีนกราฟมาเลอิคแอนไฮไดรด์
OTR	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน
WVTR	ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ
XRD	เทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน หรือการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
DSC	เทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลแสกนนิงคาลอริเมทรี
TEM	เทคนิคจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องผ่าน
phr	ปริมาณสารเทียบกับพอลิเมอร์ 100 ส่วน
rpm	รอบต่อนาที
mm	มิลลิเมตร
μm	ไมโครเมตร
nm	นาโนเมตร
Å	อังสตรอม (มีค่าเท่ากับ 10^{-10} เมตร)
phr	สัดส่วนต่อพอลิเมอร์หนึ่งร้อยส่วน
MD	สมบัติที่ทดสอบในทิศทางเดียวกับแนวการผลิต
mg/dm^3	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
PE3CNa	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด CloisiteNa ในปริมาณ 3 phr
PE3C10A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite10A ในปริมาณ 3 phr
PE3C25A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite25A ในปริมาณ 3 phr
PE3C20A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr
PE3C30B	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite30B ในปริมาณ 3 phr
PE3C93A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite93A ในปริมาณ 3 phr

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
PE-100r	ฟิล์มพอลิเอธิลีนที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
PE3C20A-80r	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr ที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที
PE3C20A-100r	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr ที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
PE3C20A-120r	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr ที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที
PE1C20A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 1 phr
PE3C20A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr
PE5C20A	ฟิล์มพอลิเอธิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 5 phr