

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



242995



## รายงานการวิจัย ฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การปรับปรุงสมบัติด้านการขวางกั้นแก๊สออกซิเจนในฟิล์มพอลิเอทิลีน  
ชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหาร  
Improvement of oxygen barrier of LLDPE film for food packaging film.

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทโครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติ

และพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ ประจำปีงบประมาณ 2553

จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

600247322

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



## รายงานการวิจัย ฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การปรับปรุงสมบัติด้านการขวางกั้นแก๊สออกซิเจนในฟิล์มพอลิเอทิลีน  
ชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหาร  
Improvement of oxygen barrier of LLDPE film for food packaging film.

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทโครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติ  
และพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ ประจำปีงบประมาณ 2553  
จากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

## กิตติกรรมประกาศ

ในนามของหัวหน้าโครงการวิจัย กระผมขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของโครงการวิจัยนี้ และได้ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านช่องทางของโครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

กระผมขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน อันประกอบด้วยศาสตราจารย์วิรุพห์ สายคณิต รองศาสตราจารย์สุธี อักษรกิตติ รองศาสตราจารย์ศุภชาติ จงไพบูลย์วัฒน์ และรองศาสตราจารย์สุวบุญ จิรชาญชัย ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยอย่างสร้างสรรค์ และขอขอบคุณบริษัทเฟลคโอเบิลพลาสติก จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนในการเข้าไปทดลองเป่าขึ้นรูปฟิล์มพอลิเอธิลีนและฟิล์มพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตโดยใช้กระบวนการ การอัดรีด blown film และโครงการวิจัยฯ นี้ คงจะไม่สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี หากปราศจากนักวิจัยผู้ร่วมโครงการฯ อันประกอบด้วยนายสุวิทย์ เหง้าแก้ว นางสาวนฤมล สีพลไกร และนายธนพงศ์ เชื้อฉุน สุดท้ายนี้กระผมขอขอบคุณคณะพนักงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในฐานะหน่วยงานต้นสังกัด ที่ได้เปิดโอกาสให้กระผมได้ทำงานวิจัยในครั้งนี้ และรวมไปถึงการใช้เครื่องมือและสาธารณูปโภคในการดำเนินงาน

กระผมหวังว่าผลจากการศึกษาครั้งนี้ จะมีประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้ที่เกี่ยวข้อง และกระผมหวังว่าคงได้เห็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปสู่ผู้ประกอบการและนำไปสู่การใช้ในเชิงพาณิชย์ในอนาคตอันใกล้

## บทคัดย่อ

# 242995

งานวิจัยนี้ เกี่ยวข้องกับการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหารจากพอลิเอธิลีน โดยการผสมกับสารนาโนเคลย์เพื่อลดการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน โดยวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย คือเพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณของสารนาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านการทนต่อการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน นอกจากนี้ในงานวิจัย นี้ ยังได้ทำการตรวจสอบปริมาณสารตกค้างที่เหลือหลังจากการระเหยสารเคมีที่เป็นตัวแทนอาหารที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตชนิดต่างๆ โดยในการดำเนินงานทดลองได้ทำการผสมพอลิเมอร์กับสารนาโนเคลย์และสารเติมแต่งอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องโดยใช้เครื่องผสมแบบอัตรัดผ่านซีทคาย ผลจากการทดลองพบว่าปริมาณสารตกค้างที่เหลือหลังจากทำการสกัดด้วยตัวแทนอาหาร ในฟิล์มนาโนคอมโพสิตทุกชนิดยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 ปี พ.ศ. 2548 สำหรับในด้านของสมบัติเชิงกลพบว่าฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เติมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite25A จะให้ค่าความเหนียวจากการทดสอบแรงดึงที่สูงที่สุด (13.7 จูล) แต่ยังคงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าความเหนียวของฟิล์มพอลิเอธิลีนแบบปกติที่ปราศจากการเติมสารนาโนเคลย์ใดๆ (16.6 จูล) และในส่วนของสมบัติด้านการทนต่อการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR) พบว่าการเติมสารนาโนเคลย์ Cloisite25A Cloisite93A และ CloisiteNa ให้ผลที่ดี มีค่า OTR เท่ากับ  $62,790 \text{ cc}\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ day atm}$ ,  $70,550 \text{ cc}\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ day atm}$ , และ  $73,920 \text{ cc}\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ day atm}$  ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าลดลง 94%, 93.8% และ 93.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่า OTR ของฟิล์มพอลิเอธิลีนแบบปกติ ( $1,145,376 \text{ cc}\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ day atm}$ ) อย่างไรก็ตาม ค่า OTR ของฟิล์มนาโนคอมโพสิตดังกล่าว ยังถือว่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ของบรรจุภัณฑ์แข็งที่ทำจากลามิเนตระหว่างพอลิเอธิลีนกับพอลิเอธิลีนเทเรฟทาเลต ซึ่งมีค่า OTR เท่ากับ  $11,000 \text{ cc}\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ day atm}$  และโดยสรุปแล้วพบว่าสารนาโนเคลย์ชนิดที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้ฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่มีสมบัติโดยรวมในด้านของสมบัติเชิงกลที่ดี ให้ค่าการทนต่อการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่ลดลงและสมบัติด้านปริมาณสารตกค้างหลังจากการสกัดด้วยสารเคมีที่เป็นตัวแทนอาหารที่ต่ำคือ Cloisite25A

**Abstract****242995**

This research work has concerned a development of food packaging film from polyethylene with improved gas barrier properties by mixing the polymer with nanoclay. The aim of this work is to investigate the effects of types and content of the nanoclay on mechanical properties, physical properties, and oxygen transmission rate (OTR) of the various polyethylene nanocomposite films. In addition, results from migration test of the various nanocomposite films are also of interested. Experimentally, polyethylene was blended with various Cloisite nanoclays and a compatibilizer in a twinscrew extruder, equipped with a sheet die. Results from migration test revealed that level of residue remained after the extraction of various films with food stimulants are below the maximum limits of food packaging standard and regulation (No.295) issued by the Minister of Public Health, Thailand. It was also found that the highest tensile toughness value of the nanocomposite film containing 3 phr of Cloisite25A is 13.7 J. This value is, however, lower than that of the normal polyethylene film (16.6 J). In terms of oxygen transmission rate, it was found that OTR values of the nanocomposite films containing Cloisite25A Cloisite93A and CloisiteNa are 62,790 cc $\mu$ m/m<sup>2</sup> day atm, 70,550 cc $\mu$ m/m<sup>2</sup> day atm, and 73,920 cc $\mu$ m/m<sup>2</sup> day atm, respectively, whereas that of the normal polyethylene film is 1,145,376 cc $\mu$ m/m<sup>2</sup> day atm. These correspond to OTR reduction of 94%, 93.8% and 93.5%, respectively. However, the above OTR value of the nanocomposite film are still higher than that of the commercial food packaging product made from PET/PE laminate, which is 11,000 cc $\mu$ m/m<sup>2</sup> day atm. In summary, it might be concluded that the most suitable nanoclay for producing the nanocomposite polyethylene film with optimized mechanical properties, OTR and migration level is the Cloisite 25A.

## สารบัญเรื่อง

เรื่อง	เลขหน้า
กิติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	4
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	13
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	15
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	17
2.1 แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย	17
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	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
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล</b>	28
4.1 ผลของปริมาณสารนาโนเคลย์ Cloisite 20A และสภาวะในการผลิต	28
ผลของความเร็วยรอบในการผสม	28
ผลของปริมาณสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A	31
4.2 ผลของชนิดของสารนาโนเคลย์	36
สมบัติเชิงกล	36
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค XRD	37
ผลการทดสอบด้านการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจน	42
โครงสร้างฐานวิทยา	43
ผลการทดสอบด้านการย้ายที่ของสารเคมีลงสู่อาหาร	47
สมบัติด้านความใสหรือการส่องผ่านแสง	48
4.3 สมบัติของฟิล์มที่เป่าขึ้นรูปโดยกระบวนการในโรงงาน	50
สมบัติเชิงกล	50
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค XRD	53
ผลการทดสอบด้านการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจน	54
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	57

## ภาคผนวก

59

- ก. DSC thermograms ของฟิล์มพอลิเอธิลีนและฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิต
- ข. สมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเอธิลีนชนิดต่างๆ
- ค. รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่าง ในด้านของอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและ  
ในการละลายของสารเคมีจากเนื้อพลาสติก
- 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 สำหรับผลิตฟิล์มนาโนคอมโพสิต	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 ต่อสมบัติด้านการส่องผ่านแสงของฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่ผ่านกระบวนการการอัดรีดผ่านหัวค้ายแบบซีท	49
ตารางที่ 4.7 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน และไอน้ำในฟิล์มพอลิเอธิลีนและฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตต่างๆ	54

## สารบัญรูป

รายการรูป	เลขหน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทกึ่งแข็งที่ทำจาก PE/PET ลามิเนต	14
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงฟิล์มพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารแพร่แบบคดเคี้ยว	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 คอมโพสิต (ปริมาณ cloisite 20A = 3 phr) ที่ความเร็วรอบต่างๆ	30
รูปที่ 4.3 ค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	32
รูปที่ 4.4 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์ม พอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	33
รูปที่ 4.5 ค่ามอดูลัสของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่เติมสาร Cloisite20A ในปริมาณต่างๆ และเติมสาร PE-g-MA (Fusabond) ในปริมาณ 6 phr	34
รูปที่ 4.6 ค่าความเหนียวของแผ่นฟิล์มพอลิเอธิลีนนาโนคอมโพสิตที่เติมสาร 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 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มชนิดต่างๆ 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 สเปกตรัม 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	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
LLDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
PE-g-MA	พอลิเอทิลีนกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์
OTR	ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน
WVTR	ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ
XRD	เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน หรือการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
DSC	เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี
TEM	เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
phr	ปริมาณสารเทียบกับพอลิเมอร์ 100 ส่วน
rpm	รอบต่อนาที
mm	มิลลิเมตร
$\mu\text{m}$	ไมโครเมตร
nm	นาโนเมตร
Å	อังสตรอม (มีค่าเท่ากับ $10^{-10}$ เมตร)
phr	สัดส่วนต่อพอลิเมอร์หนึ่งร้อยส่วน
MD	สมบัติที่ทดสอบในทิศทางเดียวกับแนวการผลิต
$\text{mg}/\text{dm}^3$	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
PE3CNa	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด CloisiteNa ในปริมาณ 3 phr
PE3C10A	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite10A ในปริมาณ 3 phr
PE3C25A	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite25A ในปริมาณ 3 phr
PE3C20A	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite20A ในปริมาณ 3 phr
PE3C30B	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด Cloisite30B ในปริมาณ 3 phr
PE3C93A	ฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมสารนาโนเคลย์ชนิด 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