ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

การศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้น

Production, Characterization and Chemical migration studies of PP/PP-Regrind Scrap Ratio for Concentrated

รัชพล อภิรติกร*

Rushapol Apiratikorn

สุรเชษฐ์ ตุ้มมี**

Surachet Toommee

ชิราวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

Received : May 29, 2023

Revised : December 6, 2024

Accepted : December 27, 2024

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดอัตราส่วน ของ PP และ PP-REGRAD เพื่อนำมาทำการวิจัยและทดสอบคุณสมบัติในการคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นในบรรจุภัณฑ์ PP นี้เตรียมได้โดยการผสมอัตราส่วนพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP : PP-REGRAD) ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 ตามลำดับโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างและสมบัติต่างๆ ของขวดพลาสติก วิเคราะห์โดยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FTIR), การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), tensile strength (TS), Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA), Oxygen Transmission Rate (OTR), High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), % Total soluble solid และ PH Meter พบว่า ผลการทดสอบ

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science Program Student Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University(Corresponding Author) e-mail: Chiravoot.p@gmail.com

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

ของสมบัติเชิงกล การทดสอบการรับแรงกระแทก และการรับแรงดึง ได้ผลสรุปว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ดังนั้นใช้ขวดพลาสติกที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทดสอบแล้วสามารถรักษาคุณภาพของน้ำมะขามเข้มข้นเนื่องจากการประเมินลักษณะทางกายภาพและเคมี เป็นทางเลือกที่มีแนวโน้มในการควบคุมการเกิดการเคลื่อนที่ผ่านของสารเคมีจากขวดพลาสติกไปยังตัวผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นขวดพลาสติกที่ได้จากพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน-รีไซเคิล มีความสามารถในการรักษาคุณภาพของน้ำมะขามเข้มข้นได้ตามระยะเวลาที่กำหนด และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ในอนาคต

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน / พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล / กระบวนการฉีดขึ้นรูป

ABSTRACT

In this research, the ratio of PP and PP-REGRAD was determined to be used for research and testing the quality preservation of concentrated tamarind juice products in PP packaging. Recycled polypropylene [PP: PP-REGRAD], including 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, and 60:40 respectively by injection molding process. Different mixing ratios cause changes in the internal structure and properties. of plastic bottles Analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction analysis (XRD), tensile strength (TS), Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA), Oxygen Transmission Rate (OTR), High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), % Total soluble solid, and PH Meter found that Results of tests on mechanical properties Resource capacity and tensile strength tests were performed using polyethylene. (PP-Regrind) is not allowed to work in the tensile plant of polyethylene (PP). Therefore, using plastic bottles with suitable ratios was tested to maintain the quality of concentrated tamarind juice due to physical and chemical evaluation. It is a promising alternative to controlling the migration of chemicals from plastic bottles to food products. Therefore, plastic bottles derived from polypropylene and recycled polypropylene has the ability to maintain the quality of concentrated tamarind juice for a specified period of time and can be used in the food industry in the future.

Keywords : polypropylene / recycled polypropylene / Injection Molding Process

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงอายุใดก็ตาม ล้วนแต่ต้องอาศัยปัจจัยสี่ทั้งนั้นแต่ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่มนุษย์นั้นไม่สามารถขาดได้ คือ อาหาร เนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็นที่เป็นพื้นฐานสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ผู้บริโภคในยุคปัจจุบันให้ความสำคัญกับสุขภาพ เครื่องปรุงรสเป็นส่วนหนึ่งในการประกอบอาหารของคนไทย เพื่อรสชาติอาหารให้มีความเอร็ดอร่อยกลมกล่อม ขณะที่ผู้ประกอบการได้พัฒนาเครื่องปรุงรสใหม่ๆ ออกมาอย่างสม่ำเสมอเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ในปัจจุบันเครื่องปรุงรสมีความหลากหลายมากขึ้น และเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้ตลาดในประเทศเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเป็นยุคที่ผู้บริโภคมีความเร่งรีบในชีวิตประจำวันควบคู่กับกระแสสุขภาพ แม่บ้านพ่อบ้านรุ่นใหม่จึงต้องการเครื่องปรุงที่มีคุณประโยชน์ใช้งานสะดวก ปราศจากการปนเปื้อนจากสารเคมี รวมถึงช่วยในการลดระยะเวลาในการประกอบอาหารให้สั้นลง ฉะนั้นผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องเร่งปรับตัวรองรับกับพฤติกรรมผู้บริโภคยุคใหม่ ด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เพราะคนส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปมากขึ้นอาหารสำเร็จรูปเป็นอาหารที่อำนวยความสะดวกอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ อาหารสำเร็จรูปประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาหารแปรรูปที่ใช้บริโภคเป็นอาหารมื้อหลัก จำพวกเนื้อสัตว์ หรืออาหารทะเลบรรจุภาชนะกระป๋องปิดสนิท หรือใช้บริโภคร่วมกับอาหารหลัก เช่น พืชผักดองกระป๋อง เครื่องดื่ม หรือบริโภคเป็นอาหารว่าง หรืออาหารขบเคี้ยวระหว่างมื้ออาหารหลัก เช่น ขนมปังกรอบ ถั่วอบ วุ้นสำเร็จรูป ขนมหวาน และขนมเจลลี่

อาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที หมายถึง อาหารที่ผลิตเรียบร้อยพร้อมบริโภคที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายได้ทันที อาหารแช่เยือกแข็ง (frozen food) จัดเป็นอาหารที่อำนวยความสะดวกชนิดใหม่ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย (งามทิพย์, 2550) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วในต่างประเทศ เพราะเป็นอาหารสำหรับผู้ที่ไม่มีเวลา แม้กระทั่งจะออกจากบ้าน จึงมีผู้คิดค้นพัฒนาอาหารจานด่วนให้เก็บรักษาได้นาน โดยการนำไปแช่เยือกแข็งเมื่อปรุงผสมเสร็จแล้ว นำกล่องกระดาษใส่อาหารที่ปรุงสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งไว้ เมื่อจะรับประทานจะนำมาใส่เตาไมโครเวฟเพียงเวลาไม่กี่วินาทีก็สามารถนำออกมารับประทานได้ทันที สำหรับภาชนะบรรจุของอาหารประเภทนี้ อาจเป็นแผ่นหรือถุงพลาสติก กล่องกระดาษ หรือโฟม หรือกระป๋องตามความเหมาะสมของสภาพอาหารและการจำหน่าย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคจึงมีผู้ประกอบการขนาดกลาง ขนาดเล็ก หรือระดับครัวเรือนรายย่อย ผลิตน้ำมะขามบรรจุขวดพลาสติกจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตคือการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งหากได้รับความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพ หรือทำให้เกิดโรค ขณะเดียวกันบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกที่ได้รับความร้อนสูงอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ (วิโรจน์, 2560) หรืออายุในการเก็บรักษาและสุขภาพของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน การศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารให้ป้องกันการเสื่อมสภาพหรือการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ ที่อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมเม็ดเรซินผสม (Compound resin)

นำเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน และเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่รีไซเคิลมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเม็ดเรซินโดยนำพอลิโพรพิลีน ผสมกับพอลิโพรพิลีนโคพอลิ-เมอร์ในอัตราส่วนต่างที่กำหนดดังตารางที่ 1 โดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ออกมาเป็นเม็ดเรซินผสม

2. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

2.1 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength)

การทดสอบคุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกนั้น สามารถใช้ค่าต่างๆ ต่อไปนี้ในการพิจารณา ได้แก่ ค่าโมดูลัส (Modulus) ค่าความเค้นคราก (yield strength) ค่าความเค้นดึง (tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation) (เสาวรจน์, ม.ป.ป.)

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength)

คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ที่ใช้บ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ

3. การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

3.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการวัดปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุเมื่อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในการทดลองนี้จะวัด

- Nitrogen atmosphere
- sample = 6-10 mg
- Head = -10 to 280 °C
- Heating rate = 10 °C min^{-1}

อยู่ในสถานะหลอมเหลว (The molten state) = 3 min เพื่อ cooling ไปที่ 10 °C min^{-1}

- ตัวอย่างจะถูกทำให้ร้อนอีกครั้ง 280 °C ไปที่ 10° C min^{-1}

3.2 Thermogravimetric Analysis (TGA)

เป็นเครื่องที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุในการทดลองนี้จะวัด Td

4. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

4.1 X-ray Diffractometer (XRD)

ทำการศึกษาเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative)

- บดสารตัวอย่างให้เป็นผง จะต้องมีขนาดอนุภาคประมาณ 40-micron โดยปริมาณที่ต้อง

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

ใช้ในการ ทดสอบต่อครั้ง ประมาณ 1-2 กรัม

- ตักสารตัวอย่าง ลงใน sample holderแล้วใช้ glass plate กดอัดตัวอย่างให้ แน่นเพื่อให้มีผิวหน้าที่เรียบที่สุด

- สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือฟิล์มบางจะต้องมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ไม่เกิน 10 x 10 x 2 มิลลิเมตร และใช้ด้าน หน้าที่เรียบที่สุดใน การวิเคราะห์โดยใช้เทปใสยึดติดตัวอย่างเข้ากับ sample holder

4.2 Dynamic mechanical thermal analyzer (DMTA)

คุณสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องไดนามิกแมกคานิคอลเทอร์มอลอนาไลซิส กำหนดอุณหภูมิ 250-290 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะสร้าง TTS diagram ที่อุณหภูมิอ้างอิง 270 องศาเซลเซียส ได้ค่า Shift factor เพื่อนำไปสร้างเส้นโค้ง TTS

5. การทดสอบสมบัติเชิงเคมี (chemical properties)

5.1 Fourier transform infrared (FTIR)

วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม-อินฟาเรดสเปคโตรสโคปี

- The spectral range 4000 - 400 cm^{-1}
- วางเม็ด PP Mk II Golden Gate Dimond 45 ATR ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ
- บีบอัดเม็ดลง ATR Crystal
- 1410 cm-1 = CH ring, C-C stretching

5.2 Raman spectroscopy

6. Self-life 3 year

นำขวดแต่ละชนิดที่ทำการขึ้นรูปเสร็จแล้วไปทดสอบในกระบวนการ Self-Life (น้ำมะขามเข้มข้น) มีสารเคมีปนเปื้อนออกมามากน้อยแค่ไหนในบรรจุภัณฑ์

7. การทดสอบสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน (barrier properties)

7.1 วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของ บรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate: OTR)

7.2 วิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของสารโดยการเปรียบเทียบเลขมวลของสาร (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer: GC-MS)

7.3 วิเคราะห์ปริมาณสารไม่ระเหยของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเทคนิคสำหรับแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม โดยเปลี่ยนสารผสมให้เป็นไอที่ อุณหภูมิหนึ่ง (Gas Chromatograph: FID-ECD)

7.4 วิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังเครื่องดื่ม ด้วยเทคนิคการแยก

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

สารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC)

8. การประเมินคุณภาพอาหารทางประสาทสัมผัส (Food Sensory Evaluation) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ในการประเมินคุณภาพอาหารทางประสาทสัมผัสโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่

8.1 การมองเห็น เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการมองเห็น โดยพิจารณาสีความข่น

8.2 การได้กลิ่น เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการใช้จมูกดมกลิ่น

8.3 การรับรส เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการใช้ลิ้นในการรับรสและกลิ่นที่ได้จากการรับรส ได้แก่ รสเปรี้ยว หวาน เค็ม ขม

8.4 การสัมผัส เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารจากการสัมผัส เช่น ดื่มและเนื้อสัมผัสของน้ำมะขามเข้มข้น

8.5 การได้ยิน เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารจากการเขย่าแล้ววัดการได้ยินเสียง เช่น ความเหลวหรือความหนืดของน้ำมะขามเข้มข้น

9. การทดสอบค่าพีเอชที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำผลไม้ที่อัตราส่วนต่างๆของสารเติมแต่ง (storage quality)

ทดสอบโดยการแบ่งเป็นเดือนตามการทดสอบ Self-Life ในแต่ละอัตราส่วนที่แตกต่างกันและ ทดสอบในกลุ่มของ Primary aromatic amines ด้วย

ผลการวิจัย

งานวิจัยศึกษาการศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้น โดยการทดสอบพลาสติกผสมโดยผ่านกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ และมีการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ การทดสอบสมบัติทางความร้อน การทดสอบการสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน และ Self-life ของพลาสติกผสม โดยได้ผลการทดสอบเป็นไปดังนี้

1. ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน (PP) กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

จากการทดสอบเมื่อได้พลาสติกผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน (PP) 5200 กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ตามอัตราส่วนที่ 1-8 ดังตารางที่ 1 และพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ตามอัตราส่วนที่ 1-8 ดังตารางที่ 2 โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่ามีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างจากเม็ดพลาสติกเดิมมากนัก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ (Injection molding) ลักษณะชิ้นงานที่ได้จะเป็นทรงกระบอกแบบขวดพลาสติก ชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปเตรียมก่อนทดสอบสมบัติเชิงกล

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

ตารางที่ 1 แสดงสูตรพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิล

สูตรที่	PP	R-PP
1	100	5
2	95	10
3	90	15
4	85	20
5	80	25
6	75	30
7	70	35
8	65	40

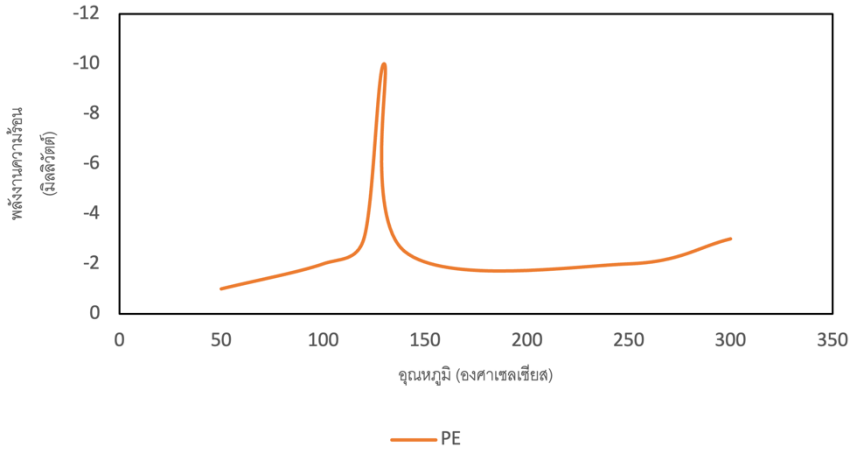
ตารางที่ 2 แสดงสูตรพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิล

สูตรที่	PP	R-PP
1	100	5
2	95	10
3	90	15
4	85	20
5	80	25
6	75	30
7	70	35
8	65	40

2. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

Differential Scanning Calorimetry (DSC) ค่า Tg และ Tm ของพอลิโพรพิลีน (PP) เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้จากการบันทึกในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชี่ยลสแกนนิ่ง คาลอริมิทรี่ (DSC) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานความร้อนจะได้กราฟดังรูปที่ 1 สำหรับพอลิโพรพิลีน ทำให้ทราบค่า Tm ของพอลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผลึกของพอลิโพรพิลีนหลอมเหลว จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)



ภาพที่ 1 จะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอลิโพรพิลีนหลอมเหลว (Tm) ก็คืออุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength)

คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้บ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิพอพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จากการทดสอบการรับแรงกระแทก เมื่อได้ค่าแรงกระแทกที่พอลิเมอร์ได้รับแล้ว ก็นำค่าที่ได้ไปหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่แตก ก็จะได้ค่าแรงกระแทกต่อพื้นที่หรือเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงกระแทก ที่พอลิเมอร์รับได้ มีหน่วยเป็นกิโลจูนต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 3 โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการรับแรงกระแทก} = \frac{\text{แรงกระแทกที่พอลิเมอร์รับได้}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่แตกเนื่องจากแรงกระแทก}}$$

จากนั้นนำข้อมูลไปหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสุดท้ายก็นำค่าดังกล่าวของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต้องการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยการสร้างเป็นกราฟดังภาพที่ 2

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

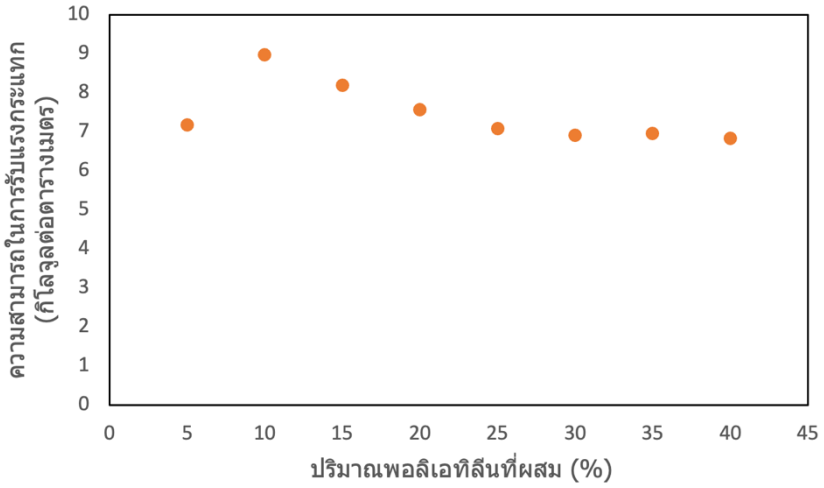
ตารางที่ 3 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบตามสูตร	ความสามารถในการรับแรงกระแทก (กิโลจูลต่อตารางเมตร)										ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1	6.66	7.26	7.15	7.30	7.25	7.20	7.22	7.13	7.29	7.25	7.17
2	8.18	8.14	9.16	9.15	9.17	9.19	9.12	9.24	9.11	9.17	8.96
3	8.22	8.50	7.23	7.23	8.20	8.27	9.23	8.33	8.26	8.35	8.18
4	7.58	7.60	7.52	6.95	7.35	8.46	7.48	8.28	6.77	7.57	7.55
5	6.23	6.37	7.0	6.42	6.87	7.23	7.37	8.00	7.42	7.87	7.07
6	6.77	6.79	6.90	7.45	7.09	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.90
7	6.23	6.56	7.34	6.76	6.89	7.23	7.56	7.34	6.76	6.89	6.95
8	7.23	7.00	6.77	6.68	6.45	7.23	7.10	6.77	6.68	6.45	6.83

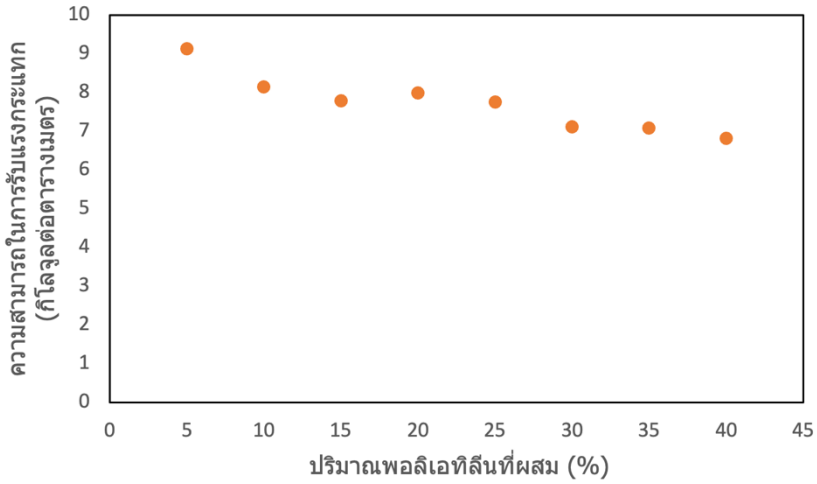
ตารางที่ 4 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบตามสูตร	ความสามารถในการรับแรงกระแทก (กิโลจูลต่อตารางเมตร)										ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1	9.14	9.16	9.15	9.30	9.25	9.20	9.22	9.13	8.98	8.75	9.12
2	8.18	8.14	8.16	8.15	8.17	7.89	8.12	8.24	8.11	8.17	8.13
3	8.22	7.50	7.66	7.75	8.20	8.27	8.23	7.33	7.26	7.35	7.77
4	7.58	7.60	7.52	8.25	8.35	8.46	8.48	8.28	7.77	7.57	7.98
5	7.22	7.50	7.23	7.23	6.80	8.27	8.23	8.33	8.26	8.35	7.74
6	7.23	6.37	7.10	7.42	6.87	7.23	7.37	7.30	7.42	6.87	7.11
7	6.58	6.60	7.52	7.25	7.35	6.46	7.48	7.28	6.77	7.57	7.08
8	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.8

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ

1.1 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากรูปที่ 2 จะพบว่า การรับแรงกระแทกของโพลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%) และ

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

พอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีค่า 7.17, 8.96, 8.18, 7.55, 7.07, 6.90, 6.95 และ 6.83 กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามสำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ จึงสามารถจะสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีน (PP) กับ พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 0-40% จะทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของโพลิโพรพิลีน (PP) ลดลง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กันตามอัตราส่วนที่กำหนด และสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จะแปรผันตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) เมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ในอัตราส่วนที่กำหนด

1.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากรูปที่ 3 จะพบว่า การรับแรงกระแทกของโพลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%) และพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีค่า 9.12, 8.13, 7.77, 7.98, 7.74, 7.11, 7.08 และ 6.8 กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามสำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ จึงสามารถจะสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีน (PP) กับ พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 0-40% จะทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของโพลิโพรพิลีน (PP) ลดลง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กันตามอัตราส่วนที่กำหนด และสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จะแปรผันตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) เมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ในอัตราส่วนที่กำหนด

2. คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength)

ในการทดสอบคุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกนั้น สามารถใช้ค่าต่างๆ ต่อไปนี้ในการพิจารณา ได้แก่ ค่าโมดูลัส (Modulus) ค่ำความเค้นคราก (yield strength) ค่าความเค้นดึง (tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation) เนื่องจากค่าแรงสูงสุด (maximum load) ของเครื่องทดสอบใช้ 100 กิโลนิวตัน ในขณะที่พอลิโพรพิลีน และโพลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) มีค่าความเค้นดึงแค่ประมาณ 30 นิวตัน เท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงที่ใช้ทดสอบมาก จึงไม่สามารถนำค่าทั้ง 3 คือ ค่าโมดูลัส ค่าความเค้นคราก และ ค่าความเค้นดึง มาทำการศึกษาได้เนื่องจากมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงสูงสุดของเครื่องทดสอบ ในที่นี้จึงใช้เพียงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในการศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพลาสติกเท่านั้น

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบ	เปอร์เซ็นการยืดตัว					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	1832.23	1973.37	2040.00	1990.42	1885.87	1944.378
2	1332.43	1473.65	1240.48	1190.32	1185.77	1284.53
3	1002.72	812.79	778.90	708.45	834.09	827.39
4	504.23	750.56	887.34	843.76	867.89	770.756
5	507.23	798.00	772.77	786.68	808.45	734.626
6	573.50	612.50	568.00	608.80	637.55	600.07
7	489.89	543.34	576.67	554.98	582.07	549.39
8	473.56	489.99	521.21	510.22	499.98	498.992

ตารางที่ 6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

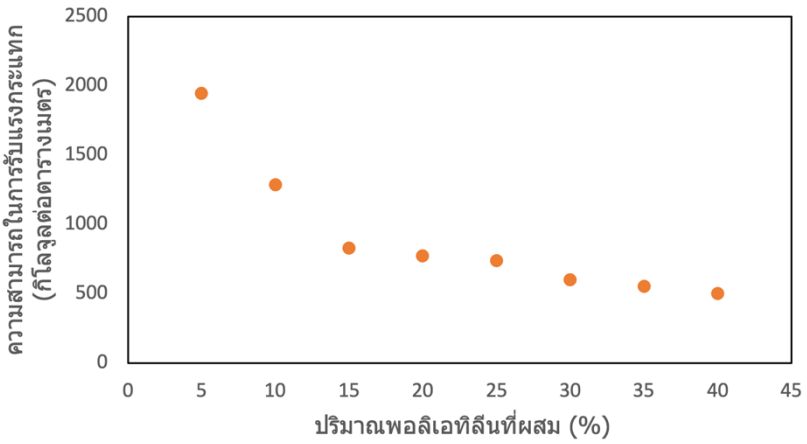
ชนิดของสารที่ทดสอบ	เปอร์เซ็นการยืดตัว					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	1777.58	1789.60	1879.52	1787.95	1747.35	1796.4
2	1466.26	1386.87	1407.45	1368.42	1406.87	1407.174
3	987.58	1007.60	997.52	1106.95	1007.35	1021.4
4	507.22	797.50	897.93	847.83	886.80	787.456
5	606.58	768.60	847.52	823.25	807.35	770.66
6	502.72	612.79	578.90	608.45	534.09	567.39
7	504.23	550.56	587.34	543.76	567.89	550.756
8	532.43	473.65	540.48	490.32	485.77	504.53

2.1 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

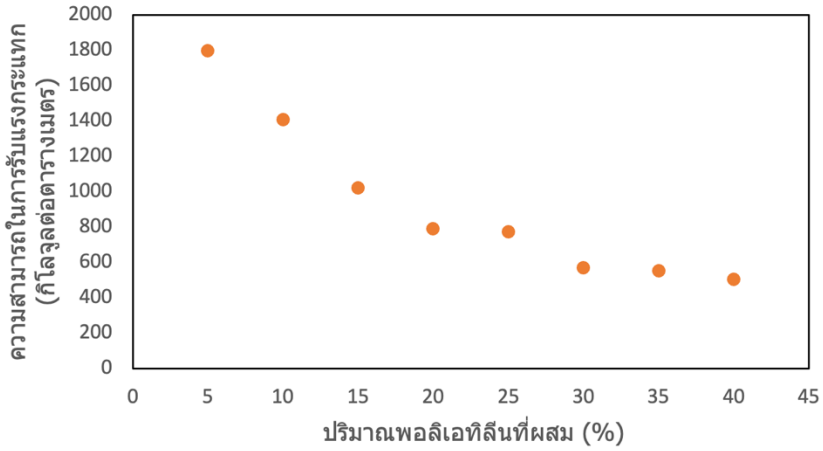
จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5 นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยืดตัวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาแสดงความสัมพันธ์และเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งจากความสัมพันธ์ จะพบว่าเมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณ

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไป โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณการผสมโพลิเอทิลีน (PE) 20% เป็นต้นไป นั่นหมายถึง คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) จะลดลง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1 แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวจะต่ำกว่ามาก แสดงว่าการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึง ตรงกันข้ามกลับยิ่งทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 6 นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยืดตัวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาแสดงความสัมพันธ์และเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งจากความสัมพันธ์ จะพบว่าเมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไป โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณการผสมโพลิเอทิลีน (PE) 20% เป็นต้นไป นั่นหมายถึง คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) จะลดลง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1 แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวจะต่ำกว่ามาก แสดงว่าการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึง ตรงกันข้ามกลับยิ่งทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) กระจายตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีน (PP) ดังนั้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำจะทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ขาดก่อน แต่เนื่องจากพันธะนี้ไม่แข็งแรงจึงทำให้รับแรงดึงได้น้อยกว่าพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%)

อภิปรายผล

ในการวิเคราะห์การปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ โดยการทดสอบพลาสติกผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ผ่านกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ และมีการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ การทดสอบสมบัติทางความร้อน การทดสอบการสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน และ Self-life ของพลาสติกผสม โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้จากการบันทึกในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชี่ยลสแกนนิ่งคาลอริมิทรี่ (DSC) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานความร้อนจะได้กราฟดังภาพที่ 1 สำหรับพอลิโพรพิลีน ทำให้ทราบค่า Tm ของพอลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผลึกของพอลิโพรพิลีนหลอมเหลว จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

2. การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.1 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ได้รับการรีไซเคิลมาแล้วทำให้มีค่าการรับแรงกระแทกลดลง โดยอัตราการลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดน้อยลงที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรง

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

กระแทกลดลงเฉลี่ย 7.17 และปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดมากที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 40% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดลงเฉลี่ย 6.83

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ได้รับการรีไซเคิลมาแล้วทำให้มีค่าการรับแรงกระแทกลดลง โดยอัตราการลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดน้อยลงที่สุด คือ ผสมพอลิโพร-พิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดลงเฉลี่ย 9.12 และปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดมากที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีน-รีไซเคิล (PP-Regrind) 40% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดลงเฉลี่ย 6.8

2.3 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

โดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติในการรับแรงดึงสามารถพิจารณาจากค่าโมดูลัส ค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation) แต่เนื่องจากเครื่องตรวจสอบที่ใช้มีค่าแรงสูงสุด (max load) จึงไม่สามารถนำค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) มาเปรียบเทียบกันได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะค่าการยืดตัวเท่านั้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) จะทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด แสดงว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ตรงกันข้ามกลับทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

2.4 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

โดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติในการรับแรงดึงสามารถพิจารณาจากค่าโมดูลัส ค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation) แต่เนื่องจากเครื่องตรวจสอบที่ใช้มีค่าแรงสูงสุด (max load) จึงไม่สามารถนำค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) มาเปรียบเทียบกันได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะค่าการยืดตัวเท่านั้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) จะทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด แสดงว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติใน

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

การรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ตรงกันข้ามกลับทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัย เรื่อง การศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขาม ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิราวุฒิ เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณผู้เชียวชาญทุกท่าที่กรุณาตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษาและคณะครูของโรงเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง และ ขอขอบคุณนักเรียนทุกคนที่ให้ความร่วมมือ ในการเก็บข้อมูลครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้ รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ทุนอุดหนุนในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือประสานงานให้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษาและเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา พี่ๆ และน้องๆ ผู้เป็นกำลังและให้การสนับสนุน ช่วยเหลือในทุกด้านจนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้ ขอขอบพระคุณที่ท่านให้การอบรมสั่งสอนและสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาตลอด

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

เอกสารอ้างอิง

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). **งานฉีดพลาสติก**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). **การบรรจุอาหาร (Food Packaging)**. กรุงเทพฯ : เอส พี เอ็ม.

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. (ม.ป.ป.). **วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1 (Polymer Science I)**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.