

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แบ่งงานวิจัยออกเป็นสามส่วน ส่วนแรกเป็นการเตรียมผงเปลือกไข่และการตัดแปรรูปเปลือกไข่ด้วยความร้อนและศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึก สมบัติทางความร้อน และการกระจายของขนาดอนุภาคและลักษณะรูปร่างของอนุภาค ส่วนที่สองเป็นการใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยศึกษาผลของปริมาณ ขนาดอนุภาค และการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา หัวข้อสุดท้ายเป็นการใช้ผงเปลือกไข่คัดแปรรูปเป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยศึกษาผลของปริมาณและการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาลักษณะของเปลือกไข่พบว่าผงเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกแคลไซต์ และสารอินทรีย์ ผงเปลือกไข่ที่ได้จากการบดมี D_{50} เท่ากับ $12.7 \mu\text{m}$ $D[4,3]$ เท่ากับ $23.6 \mu\text{m}$ และช่วงของขนาดอนุภาคเป็น $0.9 - 124 \mu\text{m}$ การบดทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกไข่ก่อนบด

การตัดแปรรูปด้วยความร้อนทำให้สารอินทรีย์หมดไปจากเปลือกไข่คัดแปรรูป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการตัดแปรรูป การตัดแปรรูปเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 650 และ 670°C แม้จะเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการเสื่อมสลายของแคลเซียมคาร์บอเนต อย่างไรก็ตามยังคงเกิด decarbonation ของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ เปลือกไข่คัดแปรรูปประกอบด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณน้อยมาก สภาวะที่เหมาะสมในการตัดแปรรูปเปลือกไข่คือ การตัดแปรรูปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ 800°C เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุดในการตัดแปรรูป

ในการใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพบว่า การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง แต่ทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น

การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่จะทำให้โมดูลัสของยังก์ ความแข็ง และ HDT เพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่จะทำให้ การยืดตัว ณ จุดขาด ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก และ ความต้านทานแรงกระแทก ลดลงตามปริมาณผงเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึง ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่จาก 10 เป็น 20% โดยน้ำหนัก แต่

เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 30% และ 40% ความต้านทานแรงดึง ณ จุดขาดจะคงที่ พฤติกรรมการแตกหัก ภายใต้แรงดึงของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เดิมผงเปลือกไข่จะเปลี่ยนจากการแตกหักแบบเปราะเป็นการแตกหักแบบเหนียวเมื่อปริมาณผงเปลือกไข่เป็น 20% โดยน้ำหนัก มอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้นในขณะที่ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่

สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการไหลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เดิมผงเปลือกไข่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เดิมผงแคลเซียมคาร์บอเนต

การลดขนาดอนุภาคของผงเปลือกไข่จาก D_{50} 17.1 μm และ $D[4,3]$ เท่ากับ 24.1 μm เป็น D_{50} เท่ากับ 14.4 μm และ $D[4,3]$ เท่ากับ 16.9 μm ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติการไหล สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อน การใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อปรับปรุงการยึดติดที่ผิวหน้าระหว่างผงเปลือกไข่และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความทนต่อการกระแทก

จากการใช้ผงเปลือกไข่ตัดแปรเป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพบว่า ความหนืดของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เดิมผงเปลือกไข่ตัดแปรเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปรที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปรไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปรทำให้มอดูลัสของยังก์ ความแข็ง และ HDT เพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้นการเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปรจะทำให้ การยึดตัว ณ จุดขาด ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก และ ความต้านทานแรงกระแทก ลดลงตามปริมาณผงเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึง ณ จุดขาดที่ปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปร 10 และ 20% โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปรเป็น 30% และ 40% พฤติกรรมการแตกหักภายใต้แรงดึงของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เดิมผงเปลือกไข่จะเปลี่ยนจากการแตกหักแบบเปราะเป็นการแตกหักแบบเหนียวเมื่อปริมาณผงเปลือกไข่เป็น 30% โดยน้ำหนัก มอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้นในขณะที่ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ตัดแปร การใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อปรับปรุงการยึดติดที่ผิวหน้าระหว่างผงเปลือกไข่และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความทนต่อการกระแทกและการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของความต้านทานแรงดึง ณ จุดขาด

Abstract

This research project comprised three main parts. The first part concentrated on eggshell powder preparation, eggshell heat treatment and characterization of eggshell powder and the treated eggshell powder. The second focused on the preparation and characterization of eggshell powder filled high density polyethylene (HDPE) as well as the effect of eggshell content, size and addition of a compatibilizer on physical properties of the filled HDPE. The third was the study of effect of heat-treated eggshell powder content and addition of a compatibilizer on physical properties of heat treated eggshell powder filled high density polyethylene.

From the first study, it was confirmed that chicken eggshell consisted of 97 wt% calcium carbonate in calcite crystal form and 2 wt% organic substances. Eggshell, after grinding, had a particle size (D_{50}) of 12.7 μm and $D[4,3]$ of 23.6 μm with a particle size range of 0.9 – 124 μm . The eggshell matrix protein, shell membranes, and organic substances were removed by the heat treatment. The removal efficiency of those depended on treatment temperature and time. When the treatment temperatures were 650°C and 670°C, it took more than 24 h and 16 h, respectively, for removing all organic substances. At higher treatment temperatures, 770°C and 800°C, it took 4 h and 3 h to entirely remove the substances, respectively. However, with increasing temperature and time of treatment, calcium carbonate was transformed to calcium oxide. In addition, if calcium oxide was exposed to atmosphere it was turned to calcium hydroxide. Therefore, the heat-treated eggshell prepared at 800°C for 3 h was employed for preparing HDPE composites. The main component of heat-treated eggshell powder (HT-ESP) for preparing the composites was calcium hydroxide.

For the study of eggshell powder (ESP) filled HDPE composites, the shear viscosity of the composites was increased with increasing ESP content. The addition of ESP at various contents did not affect thermal stability of HDPE. In addition, yield strength, tensile stress at break, elongation at break, flexural strength, impact strength, and hardness of the composites were not significantly enhanced by increasing ESP content. However, Young's modulus, flexural modulus, and heat distortion temperature of composites were increased by increasing ESP content. The ductile-brittle transition of the composites occurred at 20 wt% ESP. The rheological, thermal, and mechanical properties of the HDPE composites prepared with ESP were comparable to those of the composites prepared with CaCO_3 .

In addition, when the particle size (D_{50}) of ESP was reduced from 17.1 μm to 14.4 μm , the apparent shear viscosity, melt flow index, thermal stability, and mechanical properties of the HDPE composites prepared with 40 wt% ESP were not significantly different. Furthermore, the 40 wt% ESP/HDPE composites compatibilized with 2 wt% HDPE-g-MAH did not show significant improvement in rheological, thermal, and some mechanical properties such as Young's modulus, and flexural modulus. However, it was found some improvements in these properties, yield strength, tensile stress at break, flexural strength, impact strength, and heat distortion temperature, of the composites.

For HT-ESP/HDPE composites, the apparent shear viscosity of the HDPE composites increased with increasing HT-ESP content. The thermal stability of HDPE composites was slightly improved by increasing HT-ESP content. Young's modulus, yield strength, tensile stress at break, flexural modulus, flexural strength, hardness, and heat distortion temperature of the composites were increased with increasing HT-ESP content. However, elongation at break and impact strength of the composites were decreased with increasing HT-ESP content. In addition, failure behavior of the composite was changed from ductile to brittle at 30 wt% HT-ESP.

Furthermore, the 40 wt% HT-ESP/HDPE composites compatibilized with 2 wt% HDPE-g-MAH had the same rheological, thermal, tensile, flexural, hardness, and heat distortion properties to those of the uncompatibilized HT-ESP/HDPE composites. However, impact strength of the composites was improved by the compatibilization. In addition, the composites at 40 wt% HT-ESP with and without compatibilization were ruptured before yielding under the tensile test.