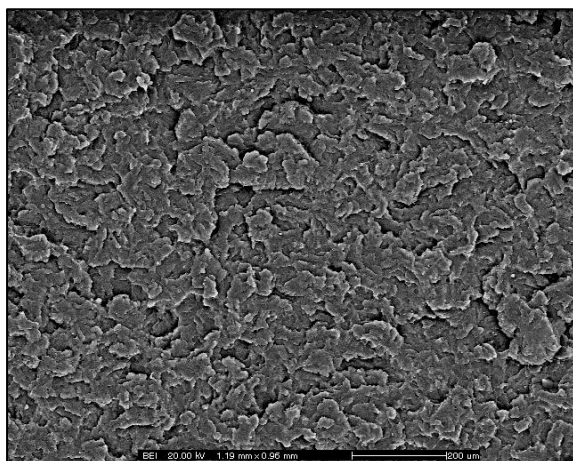
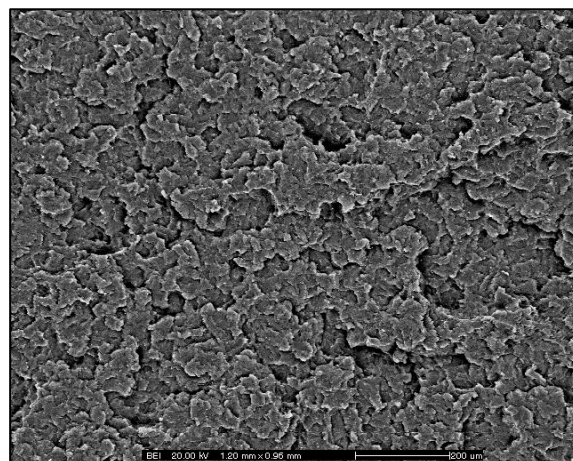


3.3.4 รูปแสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์คอมโพสิตซึ่งเติมอนุภาค ZnO ขนาด 250 nm โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์

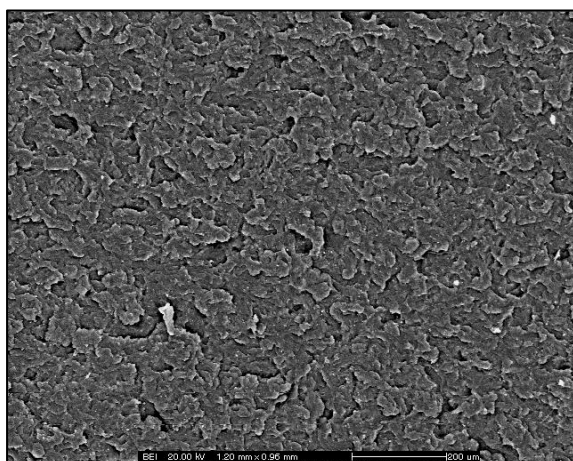
จากรูปที่ 3.18 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของ ZnO ขนาด 250 nm จะเกิดการรวมกลุ่มเป็นก้อนและฝังตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งกลุ่มก้อน ZnO จะมีจำนวนมากขึ้นตามปริมาณของอนุภาค ZnO ที่เติมลงไปเนื้อพอลิเมอร์



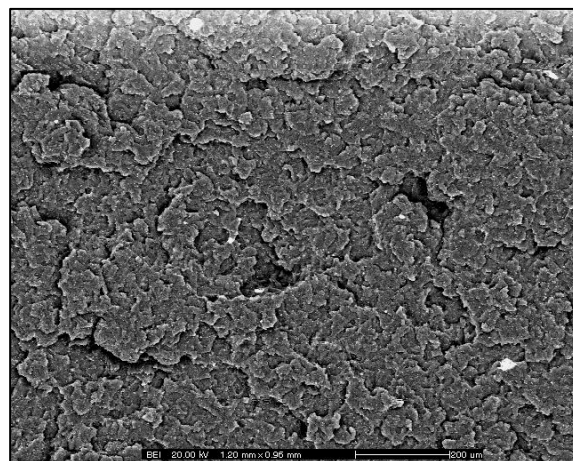
ก. 0%ZnO / POM



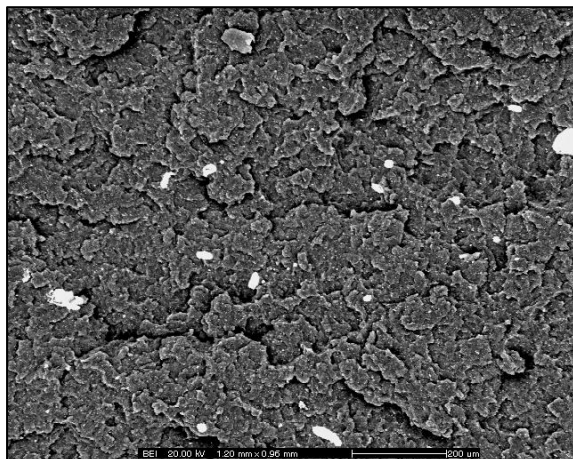
ข. 0.5%ZnO / POM



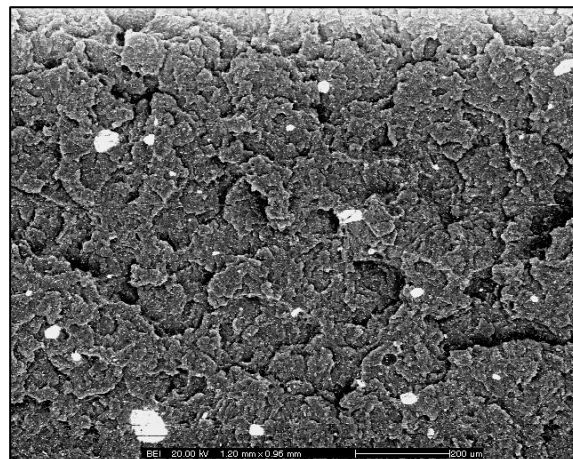
ค. 1%ZnO / POM



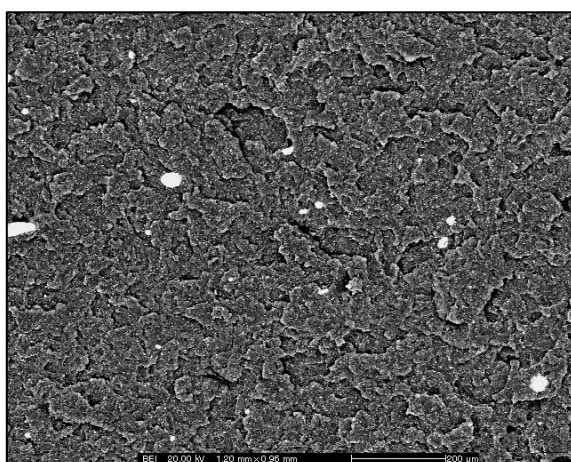
ง. 2%ZnO / POM



จ. 4%ZnO / POM



ฉ. 6%ZnO / POM



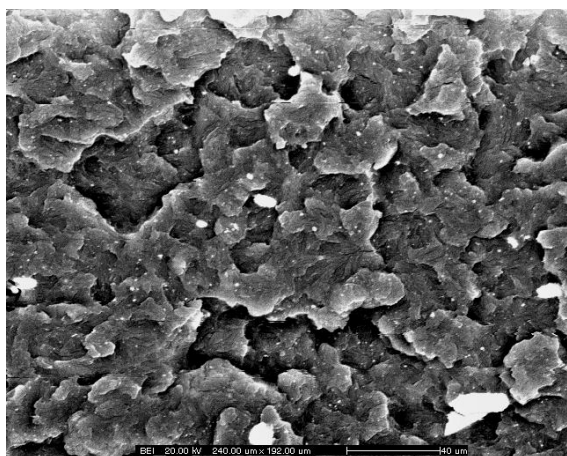
ช. 8%ZnO / POM

รูปที่ 3.18 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ขนาด 250 nm ภายในชั้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตซึ่งมีความเข้มข้นต่าง ๆ และขึ้นรูปโดยวิธีอัดเข้าแม่พิมพ์

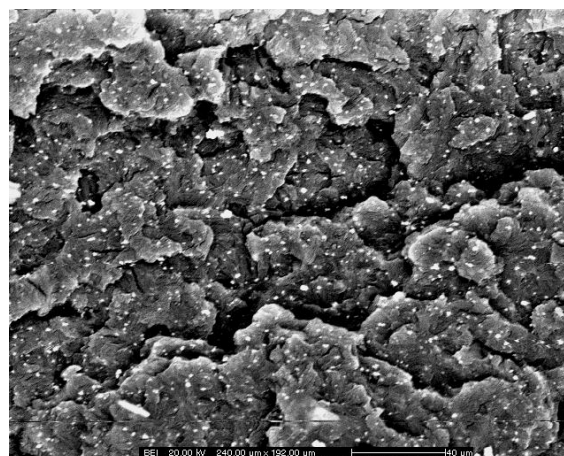
3.3.5 รูปแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิเมอร์คอมโพสิตซึ่งเติมอนุภาค ZnO

ขนาด 71 nm และ 250 nm โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ และกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์

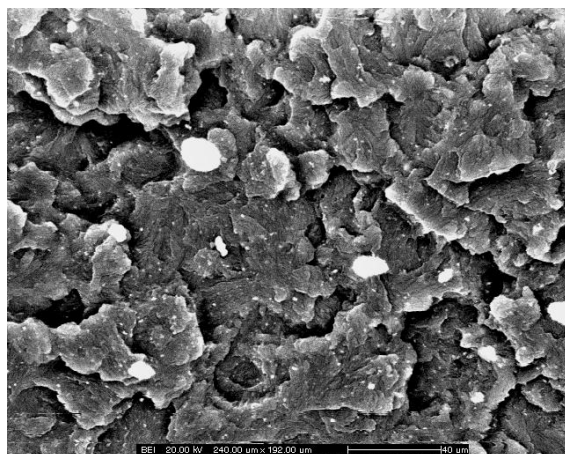
จากรูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของ ZnO ขนาด 250 nm ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ และกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์จะมีการกระจายตัวของอนุภาคได้ดีกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การกระจายตัวของอนุภาค ZnO ขนาด 71 nm ที่ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ และกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์ตามลำดับ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาค ZnO ขนาด 250 nm มีแรงดึงดูดกันระหว่างอนุภาคน้อย เพราะพื้นที่ต่อน้ำหนักของ ZnO มีค่าน้อยกว่า ส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ยากกว่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปพบว่า กระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์มีผลทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาค ZnO มากกว่าการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์



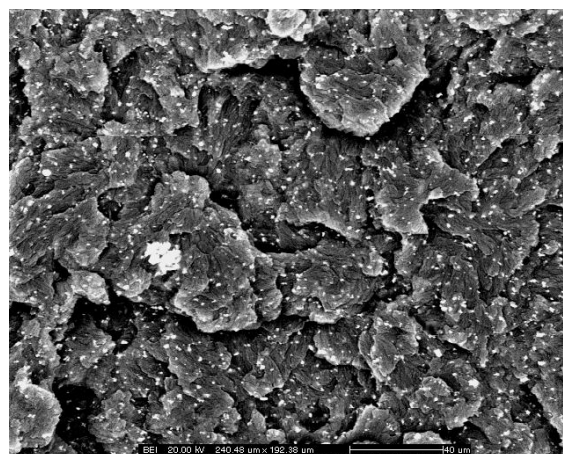
ก. 6%ZnO (71 nm) / POM [inj]



ข. 6%ZnO (250 nm) / POM [inj]



ค. 6%ZnO (71 nm) / POM [com]



ง. 6%ZnO (250 nm) / POM [com]

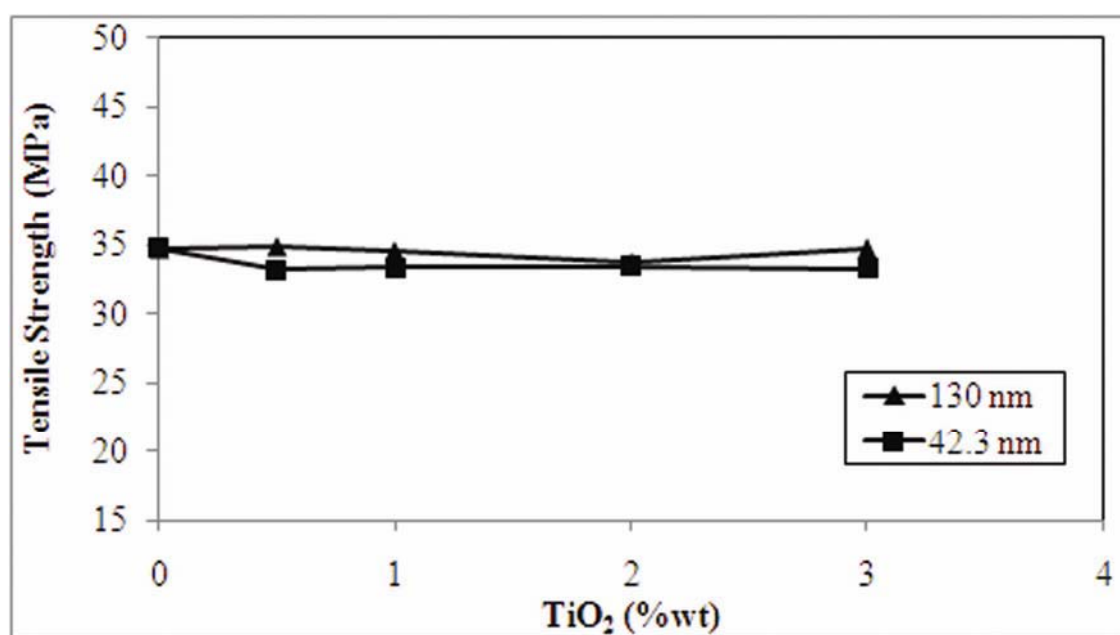
รูปที่ 3.19 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ขนาด 71 nm และ 250 nm ภายในชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้า และกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO_2

3.4 ผลของขนาดอนุภาค TiO_2 ที่มีต่อค่าสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO_2 ที่ขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูป (Compression molding)

3.4.1 สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile strength)

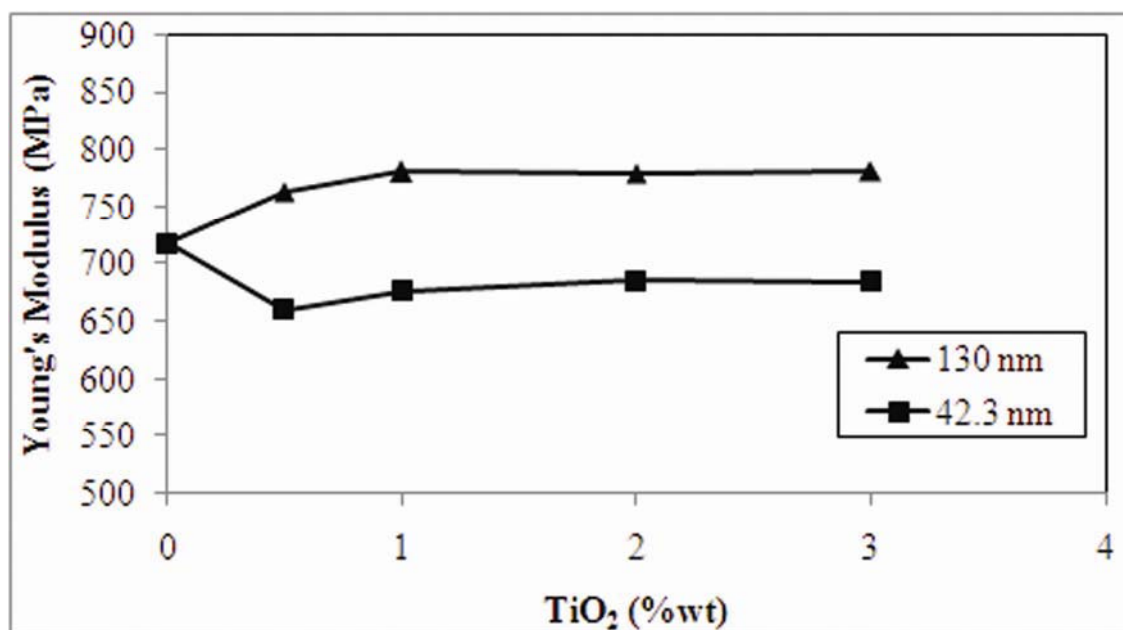
จากการเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค TiO_2 ที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าเมื่อเติม TiO_2 ขนาด 42.3 nm แล้วค่า Tensile strength จะลดลงมากกว่าเมื่อเติม TiO_2 ขนาด 130 nm ในทุกอัตราส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.20 ซึ่งเกิดเนื่องจาก TiO_2 ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะเกิดการจับกลุ่มกันเป็นก้อนได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เพราะ พื้นที่สัมผัสของอนุภาค 42.3 nm มีมากกว่าอนุภาค 130 nm และเนื่องจาก TiO_2 ขนาด 130 nm มีการกระจายที่ดีกว่า TiO_2 ขนาด 42.3 nm



รูปที่ 3.20 ค่า Tensile strength ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO_2 ที่มีขนาดอนุภาค 42.3 nm และ 130 nm ซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูป

3.4.2 สมบัติที่มีผลต่อ Young's modulus

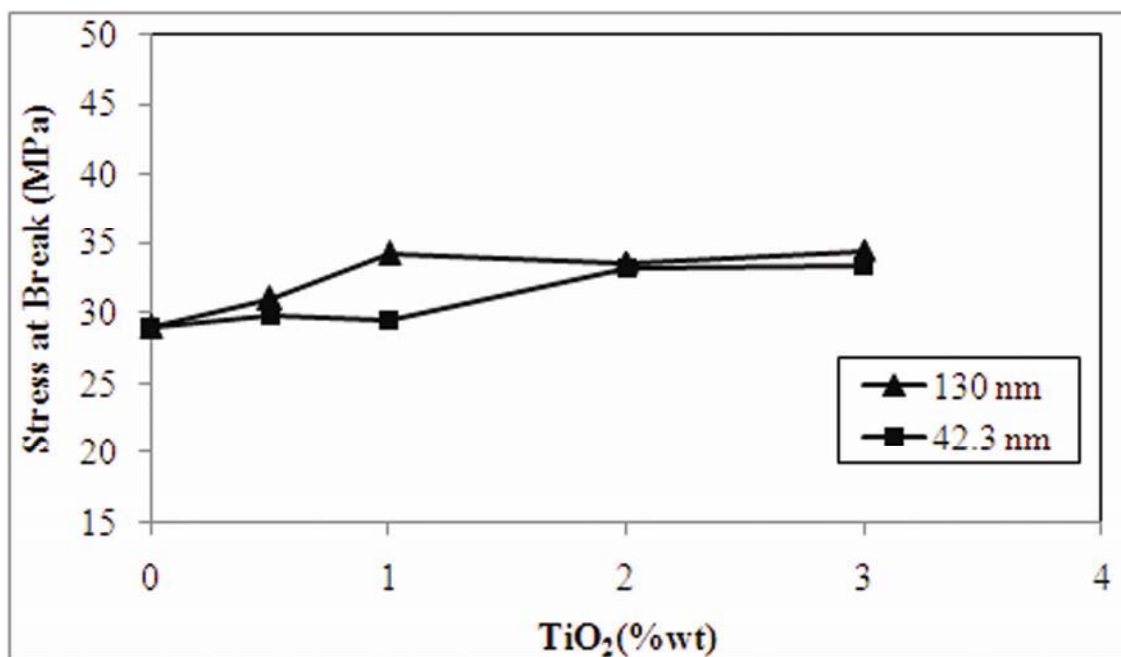
จากผลการทดสอบชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป พบว่าเมื่อเติมอนุภาค TiO_2 ทั้งที่มีขนาด 42.3 nm และ 130 nm ลงไปในปริมาณ 0.5-3.0 %โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบกับกันดังแสดงในรูปที่ 3.21 จะพบว่าค่า Young's modulus มีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับขนาด 130 nm แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของ TiO_2 ขนาด 42.3 nm จะทำให้มีแนวโน้มลดลง เพราะอนุภาค TiO_2 ขนาด 130 nm ที่ถูกเติมลงในเนื้อพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กว่า ไม่เกาะกลุ่มรวมกัน และสามารถกระจายตัวได้ดีกว่า ในขณะที่เดียวกันการเติมอนุภาค TiO_2 ขนาด 42.3 nm ที่เล็กกว่า ทำให้ค่า Young's modulus ลดลง เนื่องด้วยการกระจายตัวที่แย่กว่าเมื่ออนุภาคเล็กลง



รูปที่ 3.21 ค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO_2 ขนาด 42.3 nm และ 130 nm ซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูป

3.4.3 สมบัติที่มีผลต่อ Stress at break

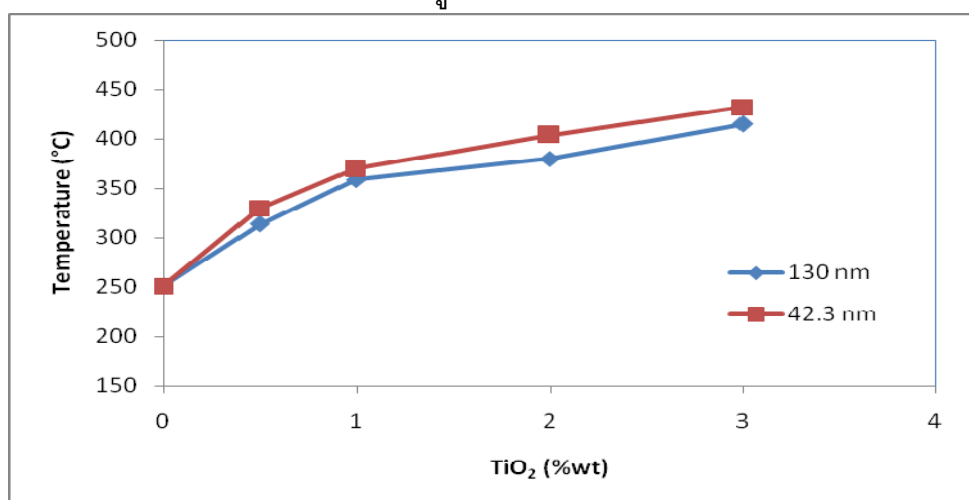
จากผลการทดสอบชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป พบว่าเมื่อเติมอนุภาค TiO_2 ทั้งที่มีขนาด 42.3 nm และ 130 nm จะส่งผลให้ค่า Stress at break มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 2 อนุภาค โดยอนุภาค TiO_2 ขนาด 130 nm จะมีค่า Stress at break ดีกว่าอนุภาค TiO_2 ขนาด 42.3 nm ดังแสดงในรูปที่ 3.22 เนื่องจากอนุภาค TiO_2 ขนาด 130 nm ที่ถูกเติมลงในเนื้อพอลิเมอร์นั้นสามารถกระจายตัวได้ดี เกิดการเกาะกลุ่มกันจำนวนน้อยกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่านั่นเอง



รูปที่ 3.22 ค่า Stress at break ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO₂ ขนาด 42.3 nm และ 130 nm ซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูป

3.5 เปรียบเทียบขนาดของอนุภาค TiO₂ ที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO₂

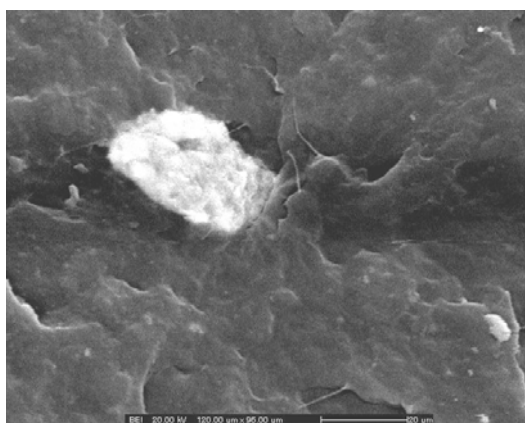
จากการทดลองเราจะพบว่าเมื่อขนาด TiO₂ 42.3 nm จะทำให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวมากกว่าขนาดอนุภาค 130 nm เป็นเพราะว่าขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจะทำให้มีพื้นที่ผิวรอบนอกในการดูดซับและมีสมบัติทนทานต่อความร้อนได้มากกว่า จึงทำให้อุณหภูมิการสลายตัวมีที่สูงกว่าอนุภาคขนาด 130 nm เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.23



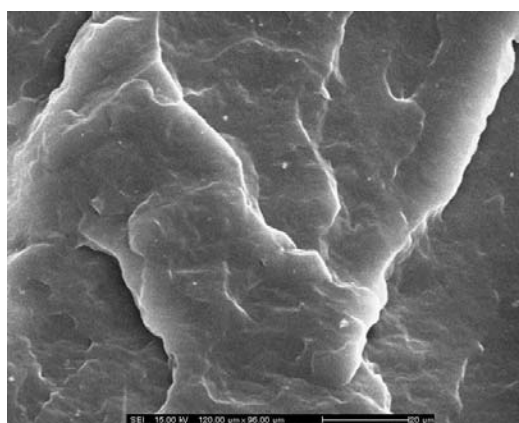
รูปที่ 3.23 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO₂ ที่มีขนาดอนุภาค 130 nm และ 42.3 nm ซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูป

3.6 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของ fractured surface ของชิ้นงานตัวอย่าง ด้วยเครื่อง SEM

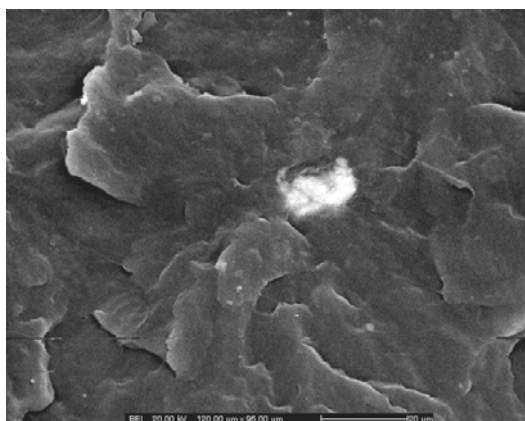
จากรูปที่ 3.24 แสดงลักษณะพื้นผิวที่แตกเนื่องแรงกระทำของ PP หลังการผสมกับ TiO_2 ที่มีขนาดอนุภาค 42.3 nm และ 130 nm ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 3 % โดย จะพบว่าการกระจายตัวของ TiO_2 ขนาด 130 nm จะกระจายตัวได้ดีกว่าขนาด 42.3 nm และการกระจายตัว TiO_2 ที่มีขนาดอนุภาค 42.3 nm จะเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนภายในเนื้อพอลิเมอร์มากกว่า TiO_2 ที่มีขนาดอนุภาค 130 nm ยิ่งกว่านั้นการเกาะกันเป็นก้อนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ TiO_2 ซึ่งการเกาะกันเป็นก้อนจะมีผลต่อสมบัติทางกล



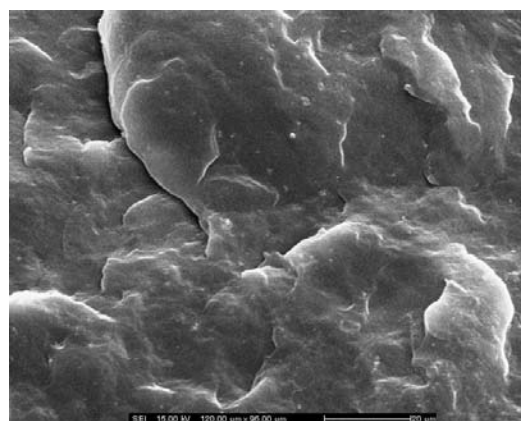
ก. PP ผสม 0.5% TiO_2 ขนาด 42.3 nm



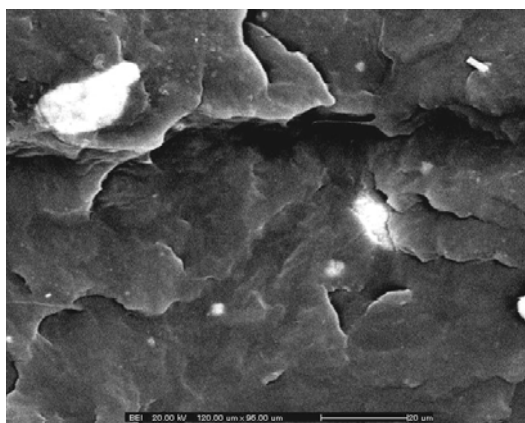
ข. PP ผสม 0.5% TiO_2 ขนาด 130 nm



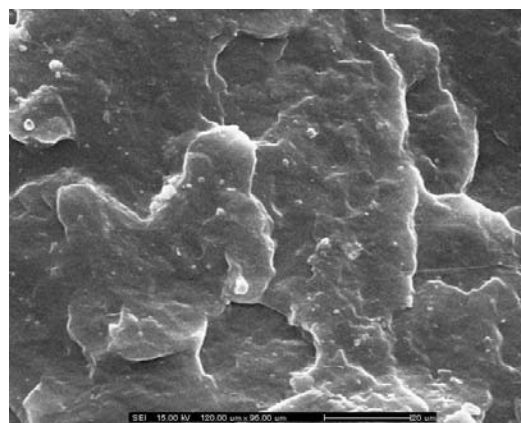
ค. PP ผสม 1% TiO_2 ขนาด 42.3 nm



ง. PP ผสม 1% TiO_2 ขนาด 130 nm



จ. PP ผสม 3% TiO_2 ขนาด 42.3 nm



ฉ. PP ผสม 3% TiO_2 ขนาด 130 nm

รูปที่ 3.24 แสดงการเปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาค TiO_2 ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค TiO_2 ที่มีขนาดอนุภาค 130 nm และ 42.3 nm

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง POM และ ZnO

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ POM ที่มีการใช้ ZnO ขนาด 71 nm และ 250 nm เป็นสารเติมแต่ง พบว่า การเติมอนุภาค ZnO ทั้งที่มีขนาด 71 nm และ 250 nm ลงในเนื้อพอลิเมอร์ จะส่งผลให้ค่า Tensile strength มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า Young's modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมอนุภาค ZnO ในปริมาณมาก และเมื่อเติมอนุภาค ZnO ทั้งที่มีขนาด 71 nm และ 250 nm ลงในเนื้อพอลิเมอร์ในปริมาณเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้ค่า impact strength มีค่าสูงขึ้น และค่า impact strength จะมีค่าลดลงเมื่อเติมอนุภาค ZnO ในปริมาณมากขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการขึ้นรูปพบว่า การขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีอัดขึ้นรูปจะส่งผลให้แนวโน้มของค่าสมบัติเชิงกลมีค่าสูงกว่าการขึ้นรูปแบบฉีดเข้าแม่พิมพ์

การเติมอนุภาค ZnO ทั้งที่มีขนาด 71 nm และ 250 nm ลงในเนื้อของพอลิเมอร์ จะไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพสิตให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่จะส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของอนุภาค ZnO ที่เติมลงไป และเมื่อเติมอนุภาค ZnO ทั้งที่มีขนาด 71 nm และ 250 nm ลงในเนื้อพอลิเมอร์ จะส่งผลให้เกิดเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ZnO มากขึ้นตามปริมาณการเติมอนุภาค ZnO

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO₂

ในการทดสอบแรงดึงเราจะพบว่าขนาดอนุภาค TiO₂ ขนาดอนุภาค 130 nm ส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าสูงกว่า TiO₂ ขนาด 130 nm ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า TiO₂ ขนาดอนุภาค 130 nm สามารถใช้ปรับปรุงสมบัติทางกลได้ เนื่องจากอนุภาคของ TiO₂ ที่เล็กกว่าเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ดีกว่า ไม่สามารถกระจายตัวได้ทั่วถึงใน PP ทำให้ชิ้นงานรับแรงได้ไม่ดี

บทที่ 5

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เนื่องจากการเติมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP และ TiO_2 ไม่สามารถทำให้อนุภาค TiO_2 ทั้งสองขนาดกระจายตัวได้ดี และเกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อนของอนุภาค TiO_2 เมื่อเติมอนุภาค TiO_2 ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการทดลองในภายภาคหน้า ควรมีการเคลือบหรือปรับแต่งพื้นผิวของสารเติมแต่งด้วยสารประสาน [14] ซึ่งจะทำให้ตัวอนุภาคสารเติมแต่งกระจายตัวในเนื้อของพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้ค่าสมบัติในด้านต่างๆของพอลิเมอร์เสริมคอมโพสิตมีค่าที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Onuma_Santawitee/Chapter3.pdf.
2. http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/terminology_5.htm.
3. http://www.em-roup.co.th/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=31.
4. <http://bsid.dip.go.th/ipmd/HTML/UTM.asp>.
5. http://angsila.compsci.buu.ac.th/~sc443183/Polymer_Chemistry/image_files/chapter5_2.html.
6. <http://202.151.43.196/learn/courses/5513101/termwork/sem/pong/1.html>.
7. N. Uthaman, A. Majeed, Pandurangan, "Impact modification of polyoxymethylene", **e - Polymers** 2006; 034.
8. S. Bose, P. A. Mahanwar, "Effect of particle size of filler on properties of nylon-6", **Journal of Mineral & Engineering** 2004; 3(1): 23- 31.
9. X. Wang, X. Cui, "Effect of ionomers on mechanical properties, morphology, and rheology of polyoxymethylene and its blends with methyl methacrylate – styrene – butadiene", **European Polymer Journal** 2005; 41: 871-880.
10. J. Mohanraj, M. J. Bonner, D. C. Barton, I. M. Ward, "Physical and mechanical characterization of oriented polyoxymethylene produced by die-drawing and hydrostatic extrusion", **Polymer** 2006; 47: 5897-5908.
11. K. Yang, Q. Yang, G. Li, Y. Sun, D. Feng, "Mechanical properties and morphologies of polypropylene with different size of calcium carbonate particles", **Polymer Composites** 2006; 27: 443- 450.
12. C. Wu, M. Q. Zhang, M. Z. Rong, K. Friedrich, "Tensile performance improvement of low nanoparticles filled – polypropylene composites", **Composites Science and Technology** 2002; 62: 1327- 1340.
13. C. C. M. Ma, Y. J. Chen, H. C. Kuan, "Polystyrene nanocomposite materials : preparation, morphology, and mechanical, electrical, and thermal Properties", **Journal of Applied Polymer Science** 2005; 98: 2266-2273.
14. M. Modesti, A. Lorenzetti, D. Bon, S. Besco, "Effect of processing conditions on morphology and Mechanical properties of compatibilized polypropylene nanocomposites", **Polymer** 2005; 46: 10237-10245.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติที่มีค่า Impact factor

- 1) **Sirirat Wacharawichanant**, Supakanok Thongyai, Akaraphol Phutthaphan, Chaturong Eiamsam-ang, “Effect of Particle Sizes of Zinc Oxide on Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Polyoxymethylene/Zinc Oxide Nanocomposites”, *Polymer Testing*, 27 (2008) 971–976.
Impact factor 2007 = 1.357

การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

- 1) **Sirirat Wacharawichanant**, Supakanok Thongyai, Tanakorn Siripattanasak, Tunya Tipsri, “Effect of Particle Sizes of Titanium Dioxide on Mechanical Properties of Polypropylene/Titanium Dioxide Nanocomposites”, 5th Thailand Materials Science and Technology Conference, Bangkok, September 16-19, 2008.

ภาคผนวก



Contents lists available at ScienceDirect

Polymer Testing

journal homepage: www.elsevier.com/locate/polytestPOLYMER
TESTING

ROGER BROWN

Material Properties

Effect of particle sizes of zinc oxide on mechanical, thermal and morphological properties of polyoxymethylene/zinc oxide nanocomposites

Sirirat Wacharawichanant^{a,*}, Supakanok Thongyai^b, Akaraphol Phutthaphan^a, Chaturong Eiamsam-ang^a^a Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakorn Pathom 73000, Thailand^b Center of Excellence on Catalysis and Catalytic Reaction Engineering, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 June 2008

Accepted 21 August 2008

Keywords:

Polymer nanocomposites

Polyoxymethylene

Zinc oxide

Mechanical properties

ABSTRACT

The effects of particle size of zinc oxide (ZnO) on mechanical, thermal and morphological properties of pure polyoxymethylene (POM) and POM/ZnO nanocomposites were investigated. POM/ZnO nanocomposites with varying concentration of ZnO were prepared by a melt mixing technique in a twin screw extruder. The dispersion of ZnO particles in POM composites was studied by scanning electron microscopy (SEM). The agglomeration of ZnO71 (71 nm) particles in the polymer matrix increased with increasing ZnO content. The POM/ZnO71 and POM/ZnO250 (250 nm) nanocomposites showed decrease in tensile strength with increasing filler content. Young's modulus and stress at break of POM/ZnO71 and POM/ZnO250 nanocomposites increased with increasing filler contents. The impact strength of POM nanocomposites increased up to a ZnO content of 1.0 wt%. However, the POM/ZnO71 nanocomposites had higher mechanical properties than the POM/ZnO250 nanocomposites. The degradation temperature of POM/ZnO71 nanocomposites was higher than that of POM/ZnO250 nanocomposites.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Developing nanocomposites based on polymers and nanoscale fillers has been an attractive approach to achieving good properties [1]. Various nanoscale fillers, including montmorillonite [2,3], silica [4–6], calcium carbonate [1,7–9], aluminum oxide [10] and titanium dioxide [11,12], have been reported to enhance mechanical and thermal properties of polymers, such as toughness, stiffness and heat resistance [9,13–15]. The properties of particulate filled polymer composites

depend on the particle size, shape and loading, together with distribution of filler particles in the matrix polymer and good adhesion at the interface surface [16–18]. POM is one of the major engineering thermoplastics because of its high strength, stiffness and excellent chemical resistance. However, its poor impact resistance limits its range of applications [19]. Ma et al. [20] investigated the effects of nanoscale zinc oxide (ZnO) on the electrical and physical characteristics of the polystyrene (PS) nanocomposites. It was reported that the addition of ZnO nanopowder increased the flexural modulus and reduced the flexural strength. The glass-transition temperatures and thermal degradation temperatures of the ZnO/PS nanocomposites increased with ZnO content. Tang et al. [21] studied the effects of

* Corresponding author. Tel./fax: +66 034 219 368.

E-mail address: iamsirirat@yahoo.com (S. Wacharawichanant).

organic nucleating agents and ZnO nanoparticles on isotactic polypropylene (iPP). It was found that the nonisothermal crystallization temperature of isotactic polypropylene increases by 7 °C when an aliphatic triamine was distributed efficiently within the polymeric matrix by coating this nucleating agent onto ZnO nanoparticles. Chae and Kim [22] prepared PS/ZnO nanocomposites by solution mixing and investigated the effects of ZnO nanoparticles on the physical properties of PS. They found that the thermal stability of PS was enhanced with increasing ZnO content. Liufu et al. [23] investigated the thermal degradation behaviour of polyacrylate and its zinc oxide composites by differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetry (TG) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Filler-free polyacrylate exhibited one DSC peak, indicating that the polymer was degraded with only one stage of weight loss. Polyacrylate/ZnO composites underwent two minor weight losses as well as the major weight loss. ZnO stabilized or destabilized the polymer molecules according to the temperature region.

This work studied the influence of particle sizes of ZnO on morphology, mechanical and thermal properties of POM/ZnO nanocomposites. POM/ZnO nanocomposites with varying concentration of ZnO were prepared by a melt mixing technique in a twin screw extruder.

2. Experimental

2.1. Materials

Polyoxymethylene (POM) was supplied with the trade name of “DURACON” by Polyplastics Co., Ltd. The melting temperature of the POM was around 165 °C. ZnO in the form of a white powder with average particle sizes of 71 nm (ZnO71) and 250 nm (ZnO250) was purchased from Aldrich and S.R. LAB Co., Ltd, respectively.

2.2. Sample preparation

POM pellets and ZnO particles were dried in an oven at 70 °C for 3 h before melt extrusion. The POM/ZnO nanocomposites were melt-compounded in the desired compositions in a twin screw extruder at temperatures in the range of 170–200 °C and a screw speed of 50 rpm. After compounding, the nanocomposites were injection-molded into standard dumb-bell tensile bars and rectangular bars.

2.3. Sample characterization

Tensile tests were conducted according to ASTM D 638 (ISO 527) with a universal tensile testing machine LR 50k from Lloyd instruments. The tensile tests were performed at a crosshead speed of 50 mm/min. Charpy impact strength tests were performed according to D 6110-06 (ISO 179) at room temperature. Each value reported represents the average of five samples.

Thermal properties were studied by thermogravimetric analysis (TGA) with a Perkin Elmer instrument, TGA 7. The samples were cut into small pieces and then heated from room temperature to 400 °C at a heating rate of 10 °C/min under a nitrogen atmosphere.

Scanning electron microscopy (SEM) was used to study the morphology of the impact fracture surfaces of the POM/ZnO nanocomposites and to evaluate the dispersion quality of the ZnO particles. All specimens were coated with gold before SEM study.

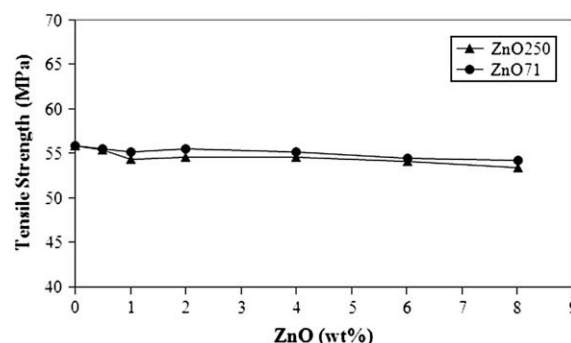


Fig. 1. Tensile strength of pure POM and POM/ZnO nanocomposites at various particle sizes of ZnO.

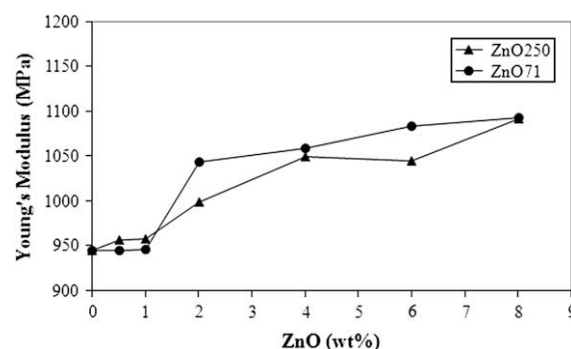


Fig. 2. Young's modulus of pure POM and POM/ZnO nanocomposites at various particle sizes of ZnO.

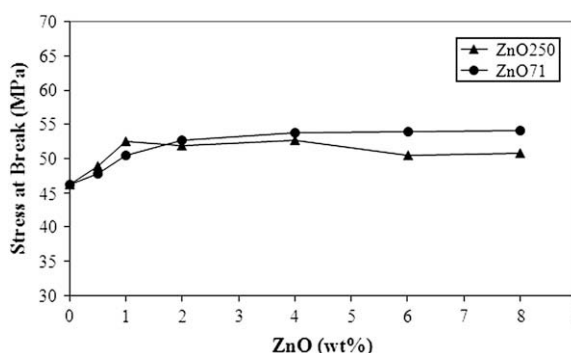


Fig. 3. Stress at break of pure POM and POM/ZnO nanocomposites at various particle sizes of ZnO.

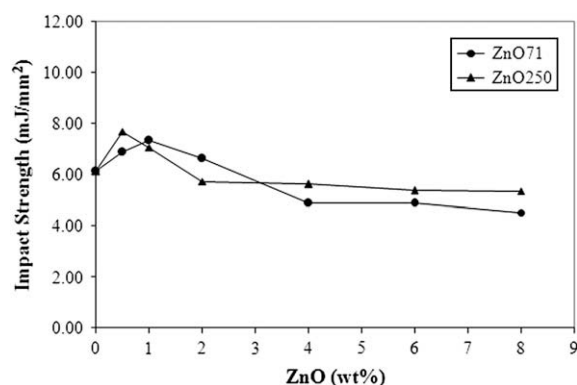


Fig. 4. Impact strength of pure POM and POM/ZnO nanocomposites at various particle sizes of ZnO.

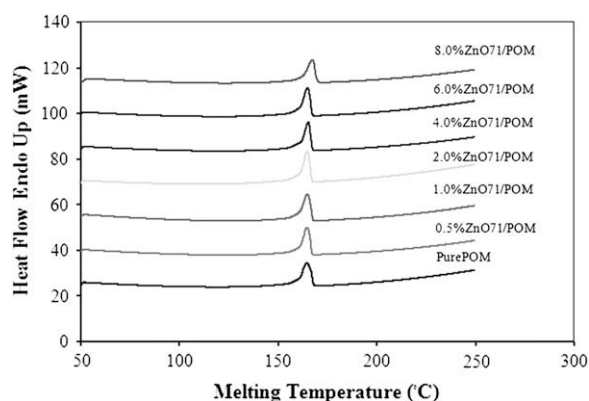


Fig. 5. Melting temperatures of pure POM and POM/ZnO71 nanocomposites.

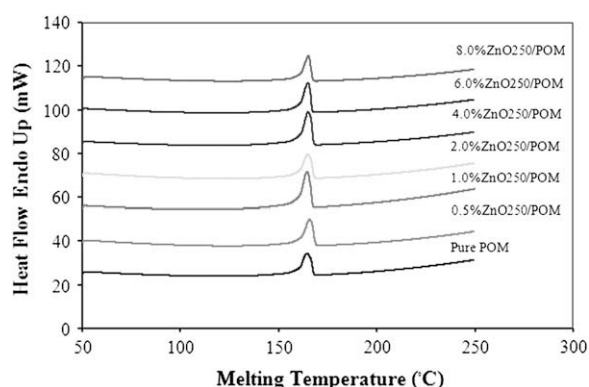


Fig. 6. Melting temperatures of pure POM and POM/ZnO250 nanocomposites.

3. Results and discussion

3.1. Effect of particle size of ZnO on mechanical properties

The tensile strength and stress at break for the nanocomposites of POM/ZnO250 and POM/ZnO71 as a function

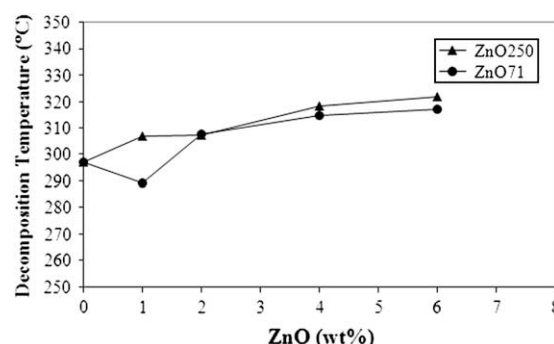


Fig. 7. Decomposition temperatures of pure POM and POM/ZnO nanocomposites at various particle sizes of ZnO.

of composite composition are represented in Figs. 1–3. The trend in variation of the tensile strength of POM/ZnO composites at various particle sizes of ZnO is presented in Fig. 1. The values of tensile strength decreased with increasing ZnO content and, hence, ZnO does not improve the tensile strength of POM specimens prepared by injection molding. This is due to the decrease in the degree of crystallinity with increasing ZnO content.

Young's modulus of POM/ZnO nanocomposites is presented in Fig. 2. It can be seen that Young's modulus of POM/ZnO increased with increasing filler content. This may be due to the increased interfacial area in the nanocomposite with filler. The POM/ZnO71 nanocomposites had higher Young's modulus than POM/ZnO250 nanocomposites.

Fig. 3 presents the variation in the stress at break with varying concentrations of ZnO. It is observed that in POM/ZnO nanocomposites the stress at break increased with increasing ZnO content. The POM/ZnO71 nanocomposites had higher stress at break than POM/ZnO250 nanocomposites. A significant increase in Young's modulus and stress at break has been observed in nanocomposites containing ZnO due to the polar nature of the filler and the polymer promoting good interaction and dispersion between them.

The Charpy impact strength for the composites of POM/ZnO is shown in Fig. 4. It is seen that the impact strength increases up to a ZnO content of 1.0 wt% for POM/ZnO composites, the improvement being due to increased energy absorption during the impact process [24]. Addition of ZnO beyond this level drastically decreases the impact strength.

3.2. Effect of particle size of ZnO on thermal properties

Figs. 5 and 6 show melting temperature of pure POM, POM/ZnO71 and POM/ZnO250 nanocomposites at various filler contents. The results showed that the melting temperatures were not significantly changed when ZnO71 or ZnO250 was incorporated into the polymer matrix.

The effect of ZnO71 and ZnO250 on the degradation temperature of all nanocomposites is shown in Fig. 7. The degradation temperature was measured by TGA

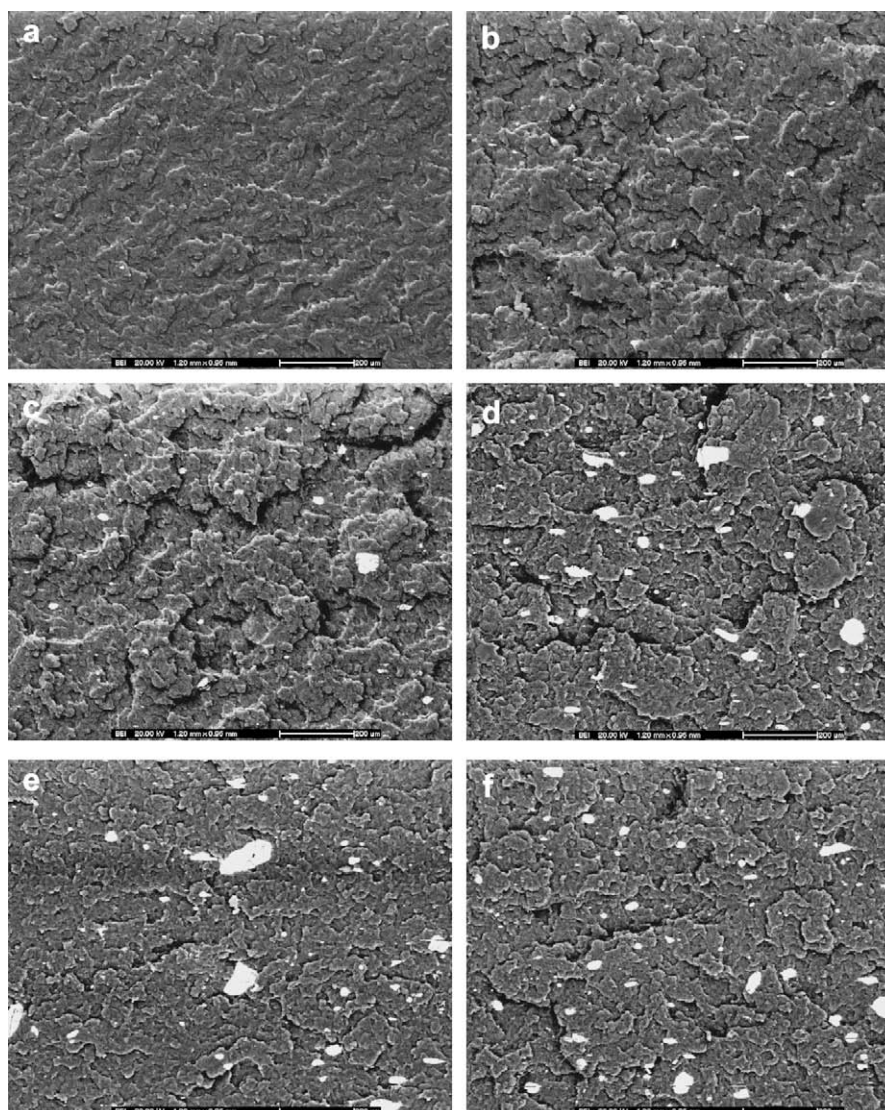


Fig. 8. SEM micrographs (a) pure POM, (b) POM after adding 1.0 wt% of ZnO71, (c) POM after adding 2.0 wt% of ZnO71, (d) POM after adding 4.0 wt% of ZnO71, (e) POM after adding 6.0 wt% of ZnO71 and (f) POM after adding 8.0 wt% of ZnO71.

and was calculated at 5% weight loss of the nanocomposites. It can be seen that the degradation temperature of the ZnO nanocomposites increased with increasing filler content and was higher than the degradation temperature of pure POM, which showed lower thermal stability than the nanocomposites. In comparison between the POM/ZnO71 and POM/ZnO250 degradation temperatures, the degradation temperatures did not show great differences.

3.3. Effect of particle sizes of ZnO on morphology

The morphology of fracture surfaces of impact specimens of the nanocomposites was examined by SEM. Fig. 8(a) shows the micrographs of the impact fracture surface of pure POM while Fig. 8(b–f) show the

micrographs of the impact fracture surfaces of POM nanocomposites filled with 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0 wt% of ZnO71, respectively. It is observed that the dispersion of the ZnO71 on the polymer surface was non-uniform. This non-uniform dispersion led to local agglomeration of ZnO71 within the polymer. Fracture surfaces and the surface roughness of POM/ZnO71 nanocomposites and pure POM were similar. Moreover, the aggregation of ZnO71 particles in the polymer matrix increased with increasing ZnO71 content, and the dispersion of ZnO71 particles could have an influence on the mechanical properties of POM composites.

The SEM micrographs of the impact-fractured surfaces of POM/ZnO250 nanocomposites at various filler contents together with pure POM are represented in Fig. 9. The SEM micrographs show that the

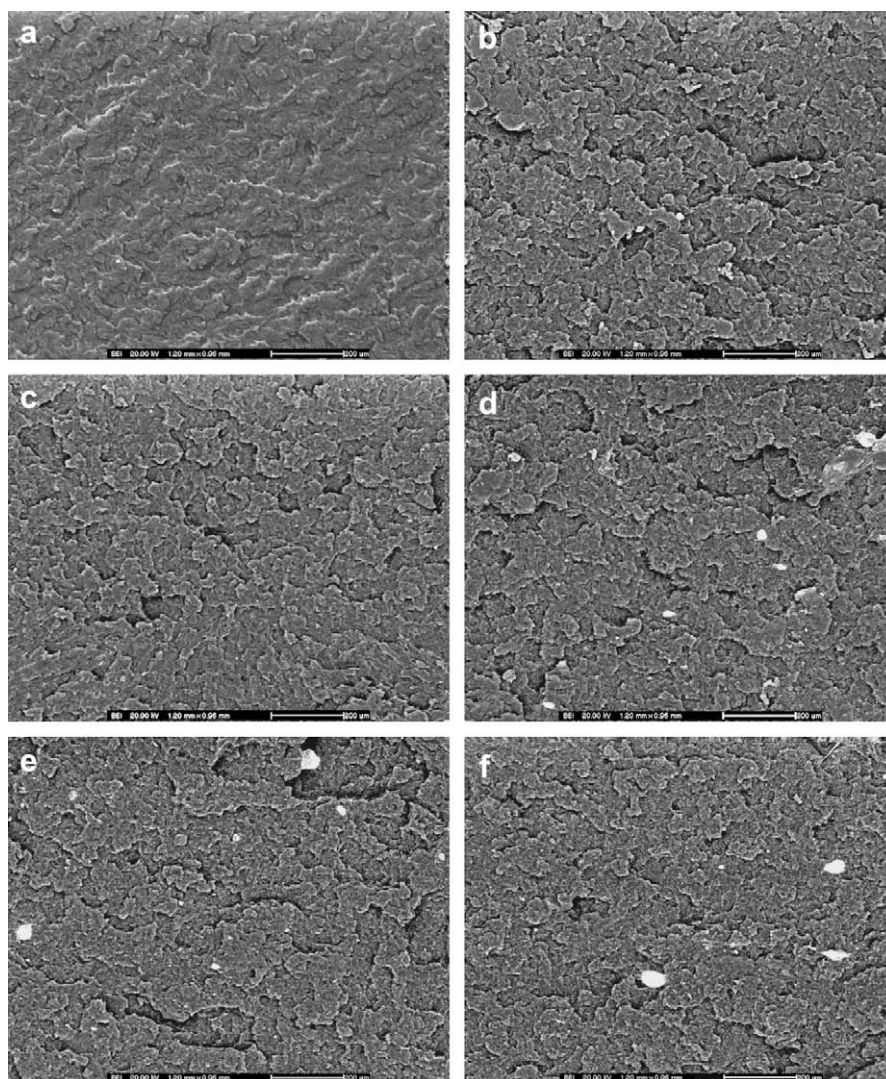


Fig. 9. SEM micrographs (a) pure POM, (b) POM after adding 1.0 wt% of ZnO250, (c) POM after adding 2.0 wt% of ZnO250, (d) POM after adding 4.0 wt% of ZnO250, (e) POM after adding 6.0 wt% of ZnO250 and (f) POM after adding 8.0 wt% of ZnO250.

dispersion of the ZnO250 particles was relatively good, only few aggregations exist as shown in Fig. 9(b–f). It can be seen that, there was good adhesion inside POM/ZnO250 nanocomposites. These observations support the results of the tensile tests where the POM/ZnO250 nanocomposites displayed higher Young's modulus than the pure POM.

Fig. 10 shows a comparison of the micrographs of the impact-fractured surfaces of POM/ZnO250 and POM/ZnO71 nanocomposites at various filler content. It can be seen that the POM/ZnO71 nanocomposites had more agglomeration than POM/ZnO250 nanocomposites.

4. Conclusions

POM/ZnO nanocomposites were prepared by melt compounding in a twin screw extruder. The POM/ZnO71

and POM/ZnO250 nanocomposites showed a decrease in tensile strength with increasing filler content. Young's modulus of POM/ZnO71 nanocomposite and POM/ZnO250 nanocomposites increased with increasing filler content. The impact strength of POM nanocomposites increased up to a ZnO content of 1.0 wt%. The degradation temperature of POM/ZnO71 and POM/ZnO250 nanocomposites increased with increasing filler contents. In addition, the degradation temperatures of POM/ZnO71 nanocomposites were slightly higher than that of POM/ZnO250 nanocomposites.

Acknowledgements

The authors thank the Thailand Research Fund (TRF) and Commission on Higher Education for the financial support of this project.