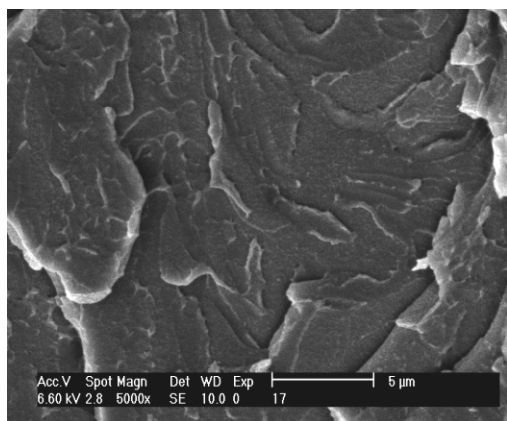
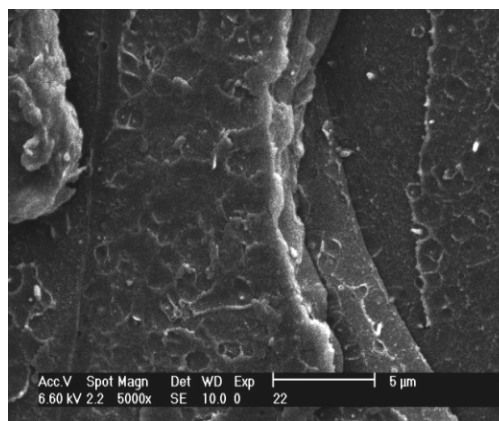
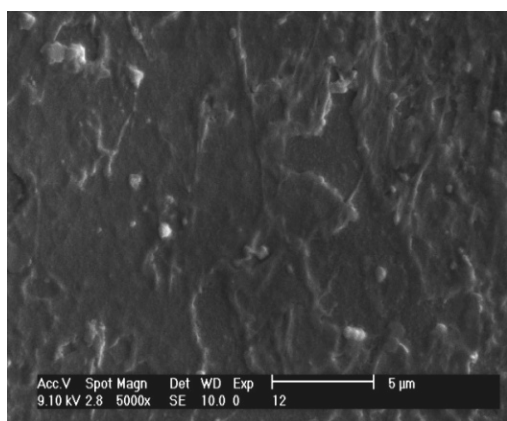




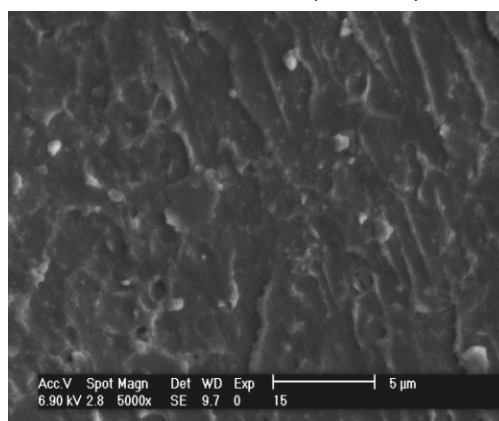
ก. PS



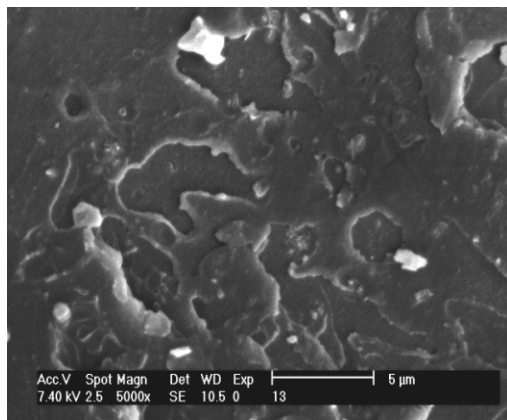
ข. PS/0.5%ZnO (250 nm)



ค. PS/1%ZnO (250 nm)



ง. PS/3%ZnO (250 nm)



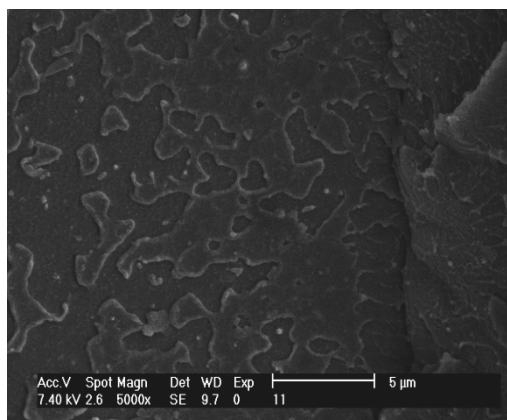
จ. PS/5%ZnO (250 nm)

**รูปที่ 3.10** ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของ ZnO ในเนื้อของ PS

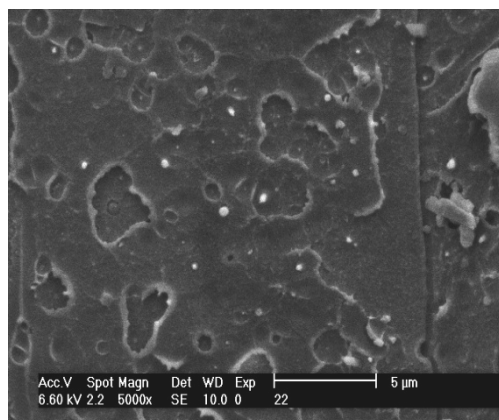
### 3.2.2.3 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร และปริมาณของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นถึงผลของการเติมสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อ PS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยกว่าเมื่อ

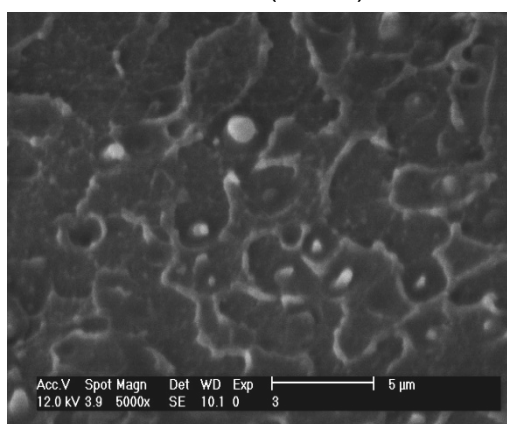
มีการเติมสารช่วยผสม SMA โดยอนุภาค ZnO จะกระจายตัวไปทั่วของเนื้อ PS ได้ดีและมีการผสมเข้ากันระหว่าง PS และอนุภาค ZnO ดีขึ้น ส่งผลต่อสมบัติทางกลให้มีสมบัติที่ดีขึ้น แต่อนุภาค ZnO ก็ยังมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนอยู่และมีจำนวนมากขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ ZnO เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณ ZnO มากขึ้น อนุภาคก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายขึ้น



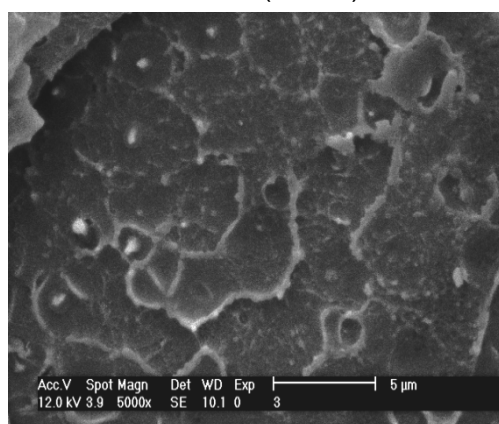
ก. PS/1%ZnO (71 nm)/3%SMA



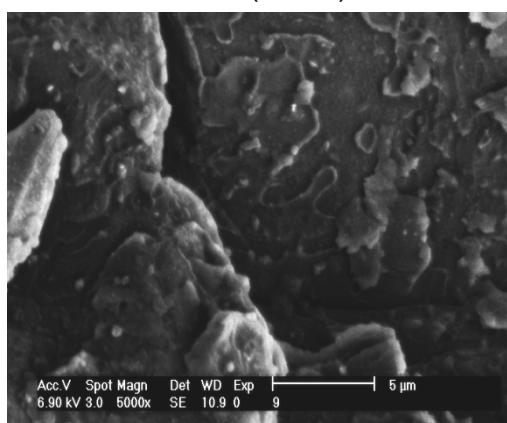
ข. PS/1%ZnO (71 nm)/5%SMA



ค. PS/3%ZnO (71 nm)/3%SMA



ง. PS/3%ZnO (71 nm)/5%SMA



จ. PS/5%ZnO (71 nm)/3%SMA

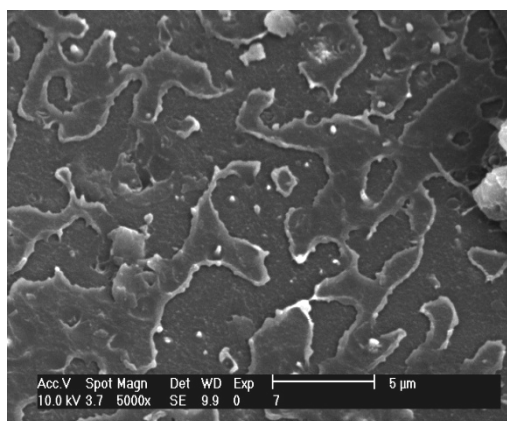


ฉ. PS/5%ZnO (71 nm)/5%SMA

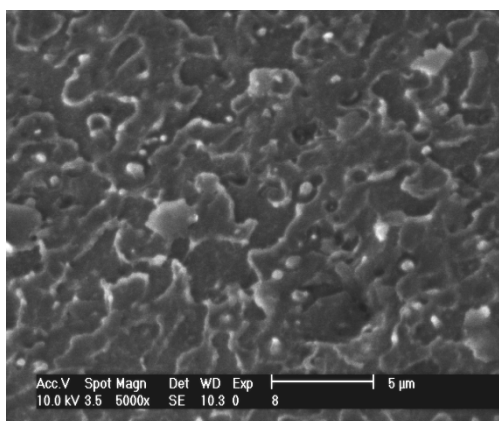
**รูปที่ 3.11** ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร และสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

### 3.2.2.4 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร และปริมาณของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

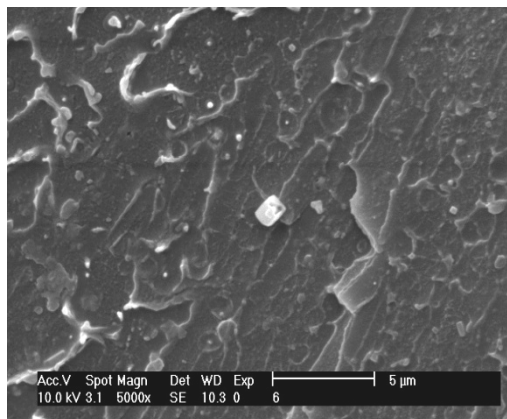
จากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงผลของการเติมสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อ PS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยลงกว่าเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม SMA โดยอนุภาค ZnO จะกระจายตัวไปทั่วของเนื้อ PS ได้ดีและมีการผสมเข้ากันระหว่าง PS และอนุภาค ZnO ดีขึ้น ส่งผลต่อสมบัติทางกลให้มีสมบัติที่ดีขึ้น แต่อนุภาค ZnO ก็ยังมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนอยู่และมีจำนวนมากขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ ZnO เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณ ZnO มากขึ้น อนุภาคก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายขึ้น



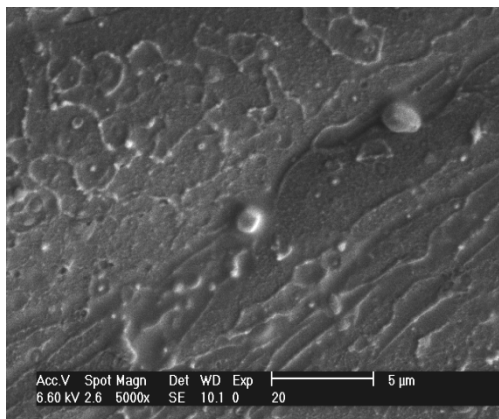
ก. PS/1%ZnO (250 nm)/3%SMA



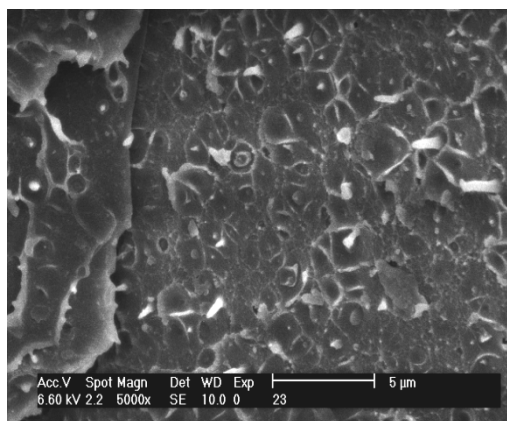
ข. PS/1%ZnO (250 nm)/5%SMA



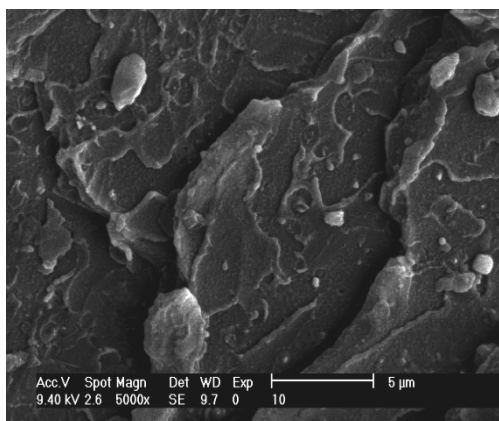
ค. PS/3%ZnO (250 nm)/3%SMA



ง. PS/3%ZnO (250 nm)/5%SMA



จ. PS/5%ZnO (250 nm)/3%SMA



ฉ. PS/5 %ZnO (250 nm)/5%SMA

**รูปที่ 3.12** ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร และสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

### 3.3 ผลของ $V_2O_5$ ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของ PVA/ $V_2O_5$ นาโนคอมโพสิต

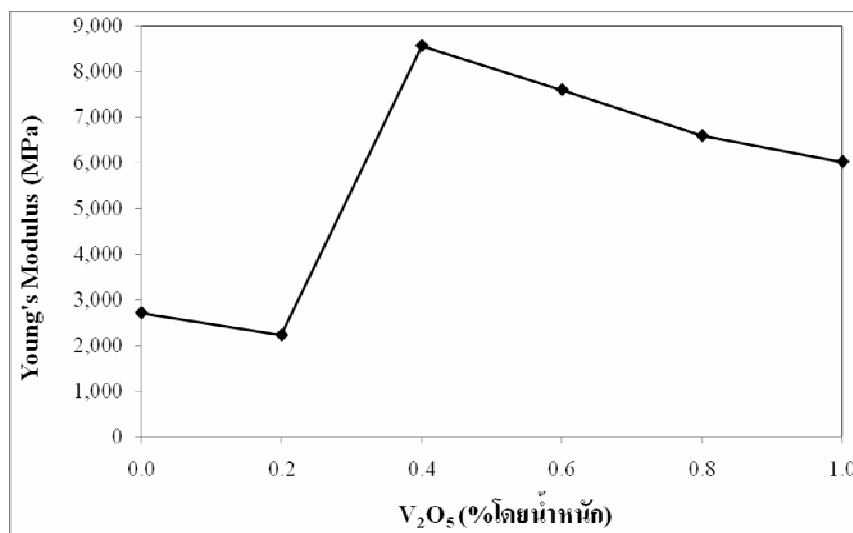
#### 3.3.1 สมบัติทางกลของ PVA/ $V_2O_5$ นาโนคอมโพสิต

##### 3.3.1.1 Young's modulus

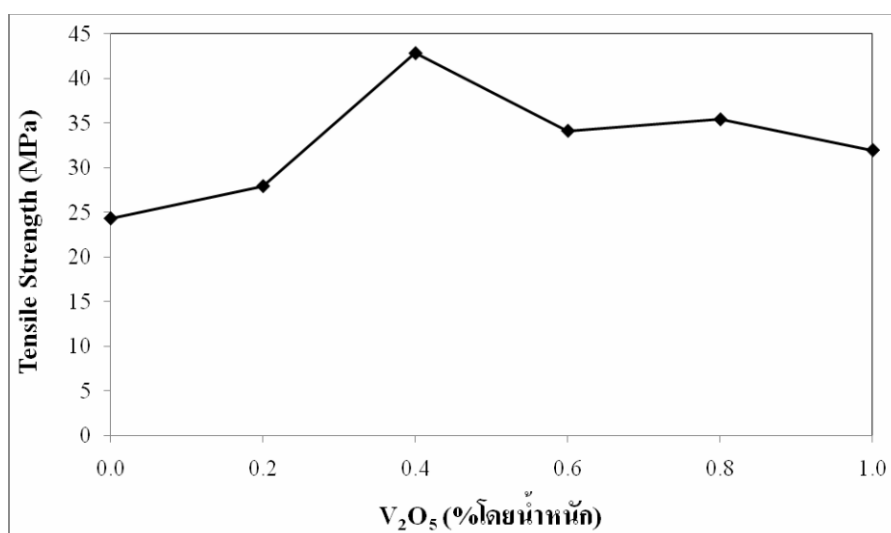
จากรูปที่ 3.13 แสดงค่า Young's modulus ของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิตที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  ต่างๆ แล้วพบว่าค่า Young's modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุดที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  เท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่า PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขี้ เมื่อทำการเติมอนุภาคโลหะ  $V_2O_5$  ลงไป ทำให้อนุภาคไปกระจายตัวอยู่ในเนื้อของ PVA ได้ดี เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวกับสายโซ่ของ PVA ทำให้มีสายโซ่มีความเสถียรมากขึ้น และสามารถรับแรงดึงได้เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  มากกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Young's modulus มีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคไม่ค่อยดี มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น

##### 3.3.1.2 Tensile strength

จากรูปที่ 3.14 แสดงค่า tensile strength ของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิตที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  ต่างๆ แล้วพบว่าค่า tensile strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุดที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  เท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่า PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขี้ เมื่อทำการเติมอนุภาคโลหะ  $V_2O_5$  ลงไป ทำให้อนุภาคไปกระจายตัวอยู่ในเนื้อของ PVA ได้ดี เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวกับสายโซ่ของ PVA ทำให้มีสายโซ่มีความเสถียรมากขึ้น และสามารถรับแรงดึงได้เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  มากกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า tensile strength มีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคไม่ค่อยดี มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 3.13 แสดงค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

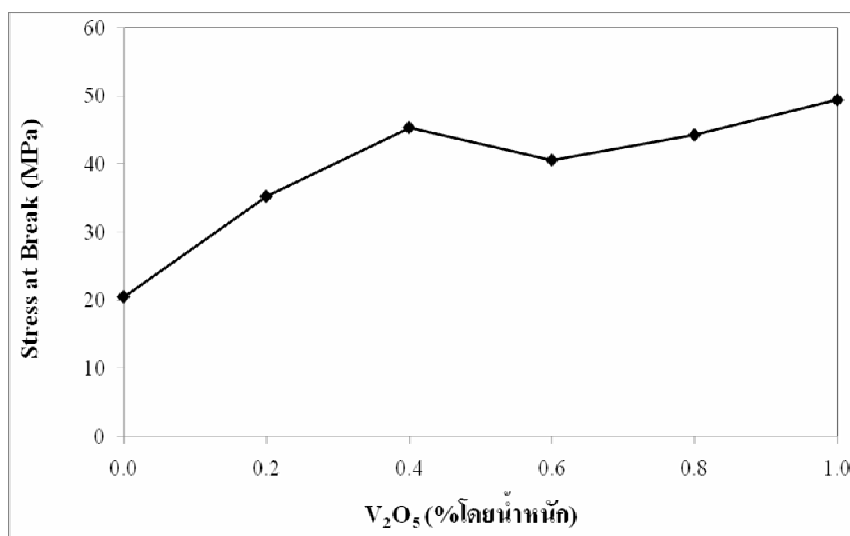


รูปที่ 3.14 แสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

### 3.3.1.3 Stress at break

จากรูปที่ 3.15 แสดงค่า stress at break ของ PVA/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> นาโนคอมโพสิตที่ความเข้มข้นของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ต่างๆ แล้วพบว่าค่า stress at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุดที่ความเข้มข้นของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> เท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่า PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว เมื่อทำการเติมอนุภาคโลหะ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ลงไป ทำให้อนุภาคไปกระจายตัวอยู่ในเนื้อของ PVA ได้ดี เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวกับสายโซ่ของ PVA ทำให้มีสายโซ่มีความเสถียรมากขึ้นและสามารถรับแรงดึงได้เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อที่ความเข้มข้น

ของ  $V_2O_5$  มากกว่า 0.4% พบว่าค่า stress at break มีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคไม่ค่อยดี มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 3.15 แสดงค่า stress at break ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

### 3.3.2 สมบัติทางความร้อนของ PVA/ $V_2O_5$ นาโนคอมโพสิต

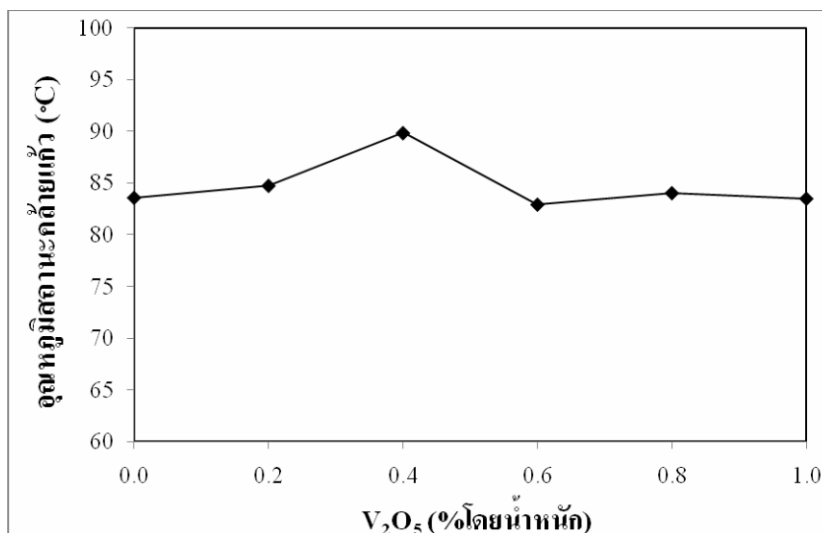
#### 3.3.2.1 สมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง DSC

(1) ผลของการเติม  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร ที่มีต่อค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature,  $T_g$ ) ของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิต

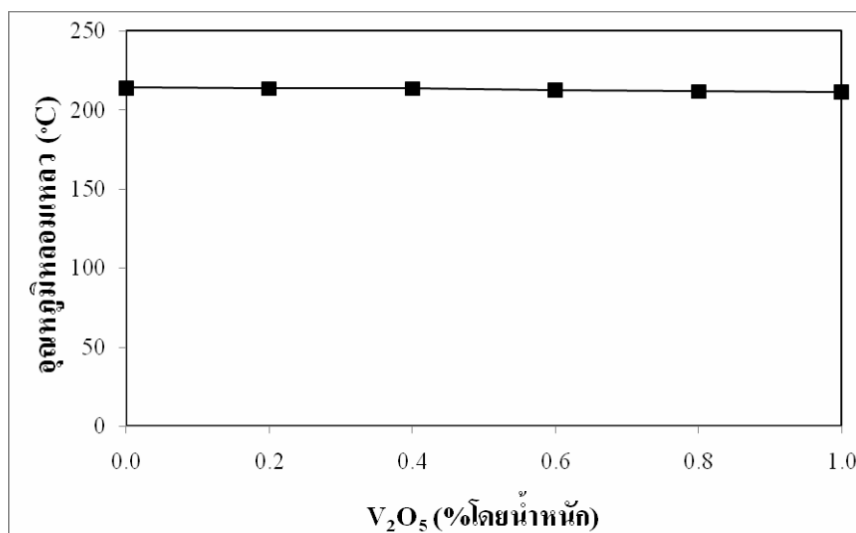
จากการทดสอบชิ้นงานพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง DSC ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาค่าของอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของระหว่าง PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิตดังแสดงในรูปที่ 3.16 พบว่าค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของ PVA บริสุทธิ์คือ  $83.59^\circ\text{C}$  เมื่อได้ทำการเติมอนุภาค  $V_2O_5$  ลงไปใน PVA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุดที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  เท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก ค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ  $89.86^\circ\text{C}$  ซึ่งการเพิ่มของอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วนั้น มีผลมาจากการกระจายตัวที่ดีของอนุภาค  $V_2O_5$  ในเนื้อของ PVA เพราะอนุภาคนาโนของ  $V_2O_5$  สามารถยึดเกาะพื้นผิวและสายโซ่ของ PVA ได้ดีส่งผลให้โครงสร้างอสังฐานภายในสายโซ่มีความเสถียรมากขึ้น จากนั้นที่ความเข้มข้นของ  $V_2O_5$  มากกว่า 0.4 %โดยน้ำหนัก ค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค  $V_2O_5$

(2) ผลของการเติม  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร ที่มีต่อค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature,  $T_m$ ) ของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิต

จากการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิหลอมเหลวของ PVA/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> นาโนคอมโพสิต ดังแสดงในรูปที่ 3.17 แล้วพบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลวคงที่ที่ประมาณ 212.9 °C ซึ่งเป็นเช่นนี้เพราะว่าอนุภาค V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ที่เติมลงไปใน PVA นั้นมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูงมากถึง 690 °C เมื่อพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตได้รับความร้อนจะมีแต่เนื้อของพอลิเมอร์เท่านั้นที่เกิดการหลอมเหลวด้วยเหตุนี้เองจึงส่งผลให้อุณหภูมิหลอมของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตคงที่



รูปที่ 3.16 แสดงค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร



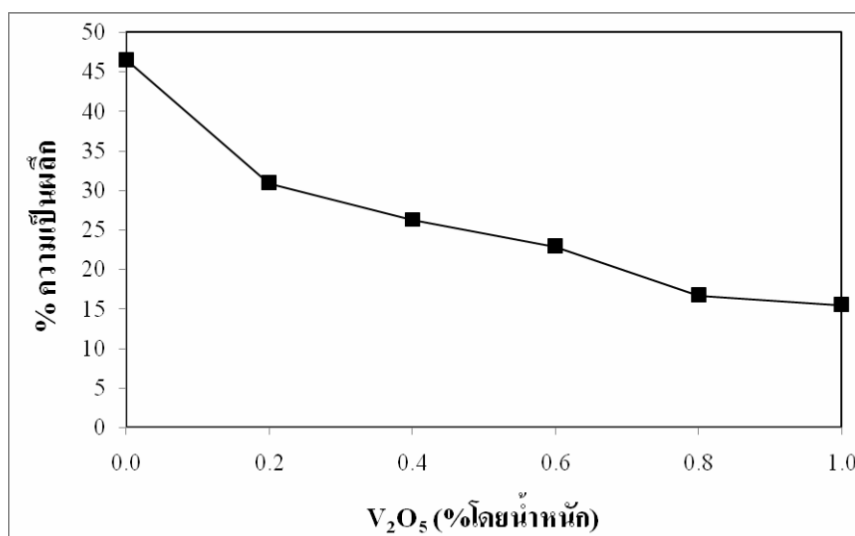
รูปที่ 3.17 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

(3) ผลของการเติม  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิต

จากการนำผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง DSC มาวิเคราะห์ในด้านเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตสามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยค่าของการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ( $\Delta H$ ) ของพื้นที่ใต้กราฟในช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวเทียบกับค่าเอนทาลปีของ PVA ที่มีความเป็นผลึก 100% ( $\Delta H_c$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 138.6 J/g ดังสูตรนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H}{\Delta H_c} \times 100\%$$

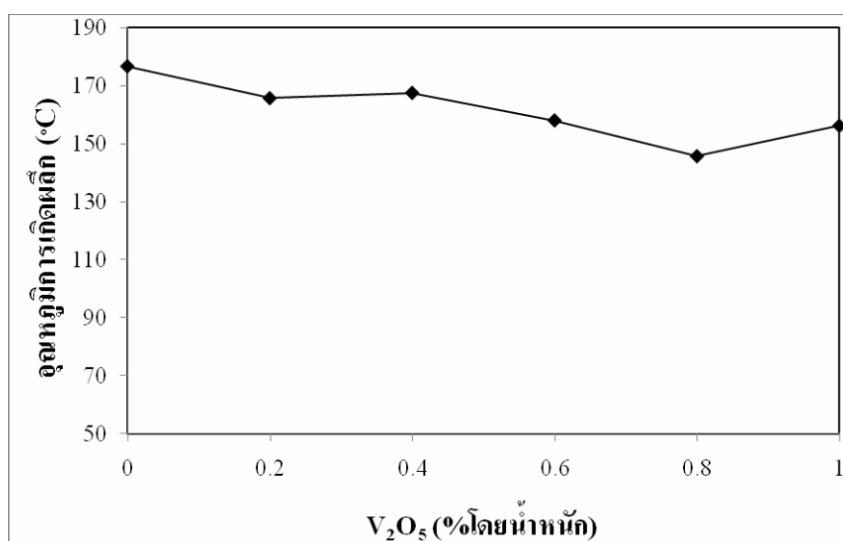
จากรูปที่ 3.18 แสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่ทำการศึกษาจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเป็น PVA บริสุทธิ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46.55 % และหลังจากการเติมอนุภาค  $V_2O_5$  ขนาด 42 นาโนเมตรที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตลดลง เนื่องจากอนุภาคของ  $V_2O_5$  ที่เติมลงไปกระจายตัวแทรกอยู่ตามโครงสร้างของสายโซ่ของ PVA ทำให้ความเป็นระเบียบของสายโซ่หลักลดลง ซึ่งสาเหตุนี้เองทำให้พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้เติมลงไป



รูปที่ 3.18 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

(4) ผลของการเติม  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร ที่มีต่อค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิต

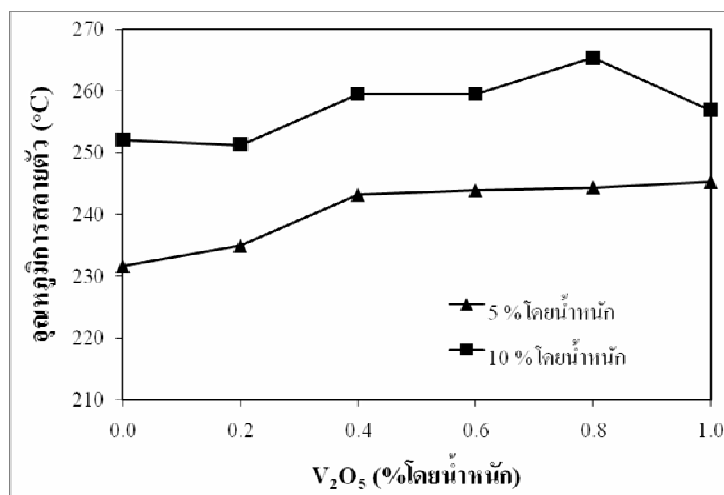
จากรูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นถึงค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตพบว่า แนวน้อมมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณผลึกของ PVA มีปริมาณลดลง เพราะอนุภาคของ  $V_2O_5$  ไปกระจายตัวแทรกอยู่ตามโครงสร้างของ PVA ทำให้ความเป็นระเบียบของสายโซ่ PVA ลดลง ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการเกิดผลึกของ PVA ลดลง ซึ่งส่งผลต่อค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก ทำให้มีแนวน้อมลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้เติมลงไปเช่นกัน



รูปที่ 3.19 แสดงค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ  $V_2O_5$  ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

### 3.3.2.2 สมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง TGA

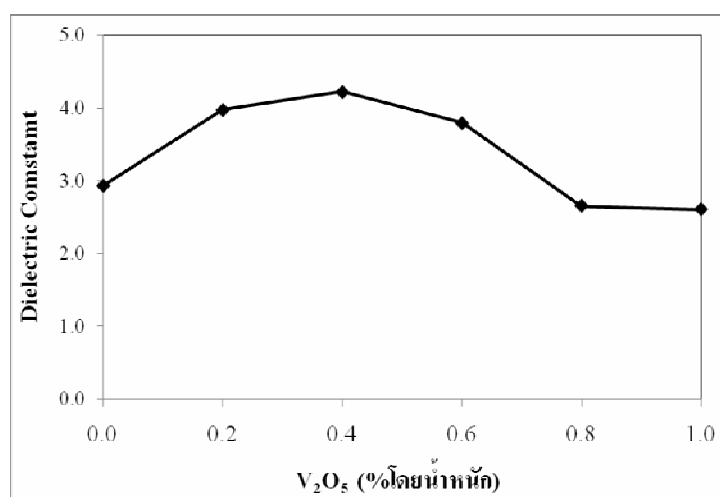
จากผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของ PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิตโดยเครื่อง TGA และแสดงผลเป็นอุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature) ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยวัดที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตหายไป 5 และ 10 % โดยน้ำหนัก พบว่าค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อได้ทำการเติมอนุภาค  $V_2O_5$  ลงไปในปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อได้ทำการให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต อนุภาคของ  $V_2O_5$  จะทำการดูดซับความร้อนที่ให้กับพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตไว้ ทำให้จะต้องให้ความร้อนในการทำให้พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตสลายตัวมากขึ้น สาเหตุนี้เองจึงทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตสูงขึ้นตามปริมาณของอนุภาค  $V_2O_5$  ที่เติมลงไป



รูปที่ 3.20 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

### 3.3.3 สมบัติทางไฟฟ้าของ PVA/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> นาโนคอมโพสิต

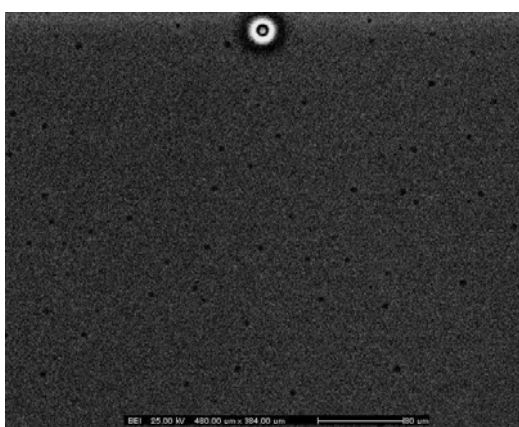
จากการทดลองดังรูปที่ 3.21 พบว่าค่า dielectric constant ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงที่ความเข้มข้นของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> เท่ากับ 0.4% โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่าสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของอนุภาค V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ที่เติมลงไป จากการศึกษารายละเอียดของอนุภาค V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> จาก SEM ดังแสดงในรูปที่ 3.22 พบว่าการกระจายตัวที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก มีการกระจายตัวดีที่สุดส่งผลให้การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีค่ามากที่สุด และที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไม่ดี



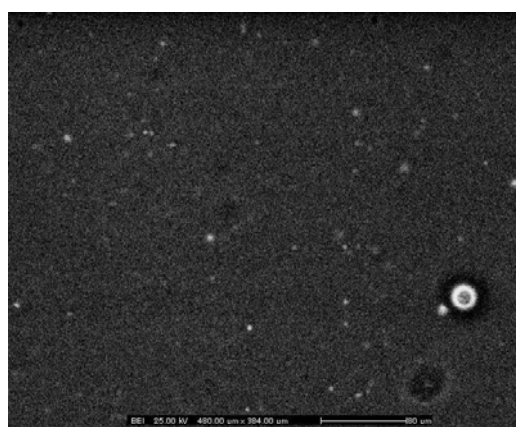
รูปที่ 3.21 ค่า dielectric constant ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร

### 3.3.4 การกระจายตัวของอนุภาค $V_2O_5$ ในเนื้อ PVA ด้วย SEM

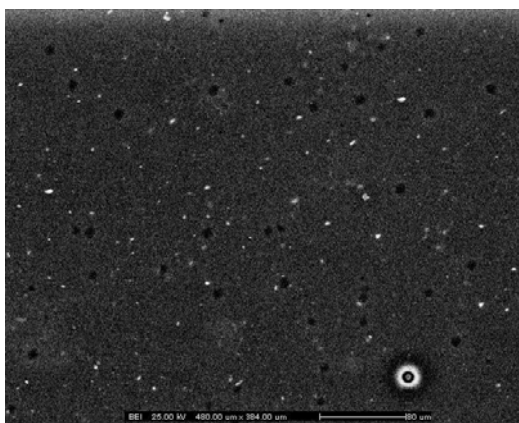
จากการศึกษาลักษณะของการกระจายตัวของอนุภาค  $V_2O_5$  บนพื้นผิวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตด้วย SEM ซึ่งจะทำให้สามารถเห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคที่เติมลงไปบนพื้นผิวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต ซึ่งจากรูปที่ 3.22 พบว่าความเข้มข้นของอนุภาค  $V_2O_5$  ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 % โดยน้ำหนัก อนุภาคที่เติมลงไปสามารถกระจายตัวได้ดีพอสมควร แต่เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคที่เติมลงไปมากขึ้น จากรูปจะพบว่าที่ความเข้มข้น 0.6, 0.8 และ 1.0 % โดยน้ำหนักของ  $V_2O_5$  อนุภาคเริ่มมีการรวมกลุ่มกันเป็นก้อนมีขนาดใหญ่ขึ้น และการกระจายตัวของอนุภาคไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากอนุภาคที่เติมลงไปมีปริมาณมากขึ้นซึ่งอนุภาคเหล่านั้นมีโอกาสจับกลุ่มก้อนกันได้มากขึ้น



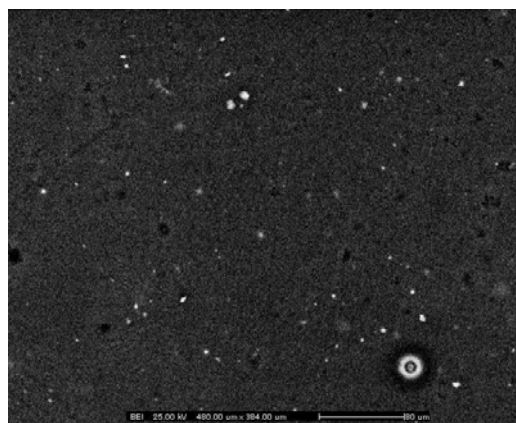
ก. PVA



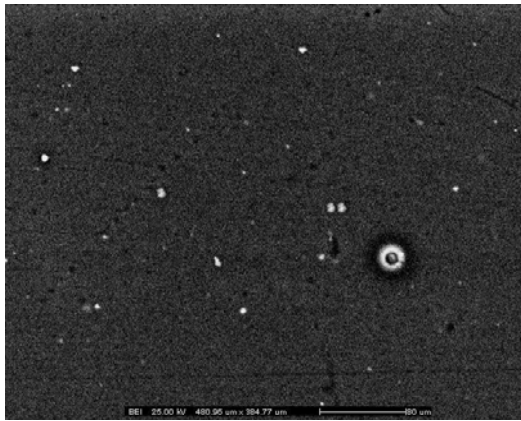
ข. 0.2%  $V_2O_5$ /PVA



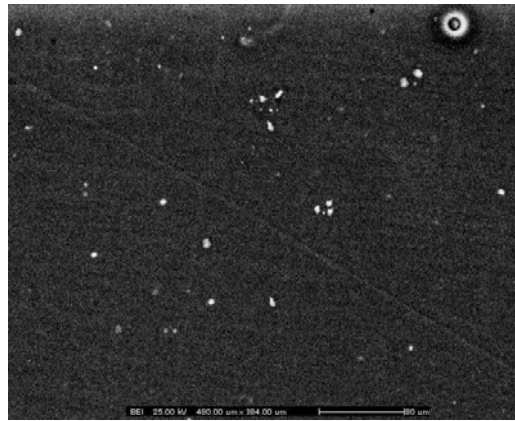
ค. 0.4%  $V_2O_5$ /PVA



ง. 0.6%  $V_2O_5$ /PVA



จ. 0.8%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/PVA



ฉ. 1.0%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/PVA

**รูปที่ 3.22** แสดงการกระจายตัวของอนุภาค V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ขนาด 42 นาโนเมตร ภายในเนื้อ PVA ที่ความเข้มข้นของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ที่แตกต่างกันที่ได้จาก SEM

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลองข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

##### 4.1.1 ผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต

จากการทดลองผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่เตรียมโดย twin screw extruder ผลการทดลองพบว่า ค่า impact strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผสม ZnO ที่เพิ่มขึ้น ค่า impact strength และ Young's modulus ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตลดลงหลังจากการเติมสารช่วยผสม PP-g-MA และค่า tensile strength และ stress at break เพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสม ZnO และสารช่วยผสม PP-g-MA นอกจากนี้ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตหลังจากที่เติมสารช่วยผสม PP-g-MA มีค่า stress at break สูงกว่า PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่ไม่เติมสารช่วยผสม PP-g-MA

##### 4.1.2 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและรูปแบบโครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต

การทดสอบค่าการทนแรงกระแทก พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความเข้มข้นช่วงแรก คือ 0.5 % โดยน้ำหนัก และเพิ่มมากที่สุดที่ 1 % โดยน้ำหนัก ทั้ง ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร และ 250 นาโนเมตรแล้ว หลังจากนั้นค่า impact strength ลดลงเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม SMA จะทำให้พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต ทนแรงกระแทกได้มากกว่าเมื่อไม่ได้เติม SMA ที่ความเข้มข้น 5 % โดยน้ำหนัก

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ใน PS/ZnO นาโนคอมโพสิต และ PS/ZnO/SMA นาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง SEM พบว่าอนุภาค ZnO เกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจำนวนมากขึ้น ตามปริมาณความเข้มข้นของ ZnO ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ดีขึ้นเมื่อมีการเติม SMA ในปริมาณ 3 % โดยน้ำหนัก

##### 4.1.3 ผลของ $V_2O_5$ ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของ PVA/ $V_2O_5$ นาโนคอมโพสิต

จากการศึกษาสมบัติทางกลพบว่าค่า Young's modulus, tensile strength และ stress at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อการกระจายตัวของอนุภาคดี จนถึงความเข้มข้นที่ 0.4 % โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นค่าการทนต่อแรงดึงลดลงเนื่องจากอนุภาคของ  $V_2O_5$  กระจายตัวได้ไม่ดี

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่าค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออนุภาค  $V_2O_5$  กระจายตัวได้ดี และมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 0.4 %

โดยน้ำหนัก และที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วจะลดลง อุณหภูมิหลอมเหลวของ PVA ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณอนุภาค  $V_2O_5$  ลงไป อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุภาคของ  $V_2O_5$

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกและอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA กับอนุภาค  $V_2O_5$  พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลงจาก PVA บริสุทธิ์ เนื่องจากอนุภาคที่เติมลงไปแทรกตัวตามสายโซ่หลักของ PVA ทำให้ความเป็นผลึกลดลง

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าเมื่อได้เติมอนุภาค  $V_2O_5$  ลงไปแล้วมีความสามารถในการนำไฟฟ้าดีขึ้น ทั้งนี้สมบัติทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตยังขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของอนุภาค  $V_2O_5$  ที่เติมลงไปด้วย มิใช่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอนุภาคที่เติมลงไปแต่เพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค  $V_2O_5$  เมื่อได้เติมอนุภาค  $V_2O_5$  พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคที่ได้เติมลงไปสามารถกระจายตัวได้ดีที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.4 %โดยน้ำหนัก และเมื่อความเข้มข้นมากขึ้น จะพบว่าอนุภาคกระจายตัวได้ไม่ดีและมีการเกาะกลุ่มกัน

## 4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการขึ้นรูป PVA/ $V_2O_5$  นาโนคอมโพสิตด้วยวิธีการหล่อด้วยสารละลาย (Solution Casting) จะมีฟองอากาศเกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาค  $V_2O_5$  ทำให้อนุภาค  $V_2O_5$  กระจายตัวกันได้ไม่ดีนัก ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาค  $V_2O_5$  จะส่งผลต่อสมบัติทางด้านต่างๆ ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตด้วย ดังนั้นในการทดลองในภายภาคหน้า ควรจะทำการลดความเร็วรอบในการกวนของเครื่องกวนสาร ลดอุณหภูมิที่ใช้ และเพิ่มเวลาในการกวนให้มากขึ้น เพราะความเร็วรอบในการกวนและอุณหภูมิที่ลดลง จะทำให้พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่ถูกหลอมมีฟองอากาศน้อยลง

## เอกสารอ้างอิง

1. Z. Bartczak, A. S. Argona, R. E. Cohena, M. Weinberg, "Toughness mechanism in semi-crystalline polymer blends:II. High-density polyethylene toughened with calcium carbonate filler particles", *Polymer*, 1999; 40: 2347-2365.
2. J. Suwanprateeb, "Calcium carbonate filled polyethylene: correlation of hardness and yield stress", *Composites: Part A*, 2000; 31: 353-359.
3. S. Tiemprateeb, K. Hemachandra, J. Suwanprateeb, "A comparison of degree of properties enhancement produced by thermal annealing between polyethylene and calcium carbonate–polyethylene composites", *Polymer Testing*, 2000; 19: 329–339.
4. C. Albano, J. Gonzalez, M. Ichazo, C. Rosales, C. Urbina de Navarro, C. Parra, "Mechanical and morphological behavior of polyolefin blends in the presence of  $\text{CaCO}_3$ ", *Composite Structures*, 2000; 48: 49-58.
5. C. Saujanya, Radhakrishnan, "Structure development and crystallization behaviour of PP/nanoparticulate composite", *Polymer*, 2001; 42: 6723-6731.
6. S. Kwon, K. J. Kim, H. Kim, P. P. Kundu, T. J. Kim, Y. K. Lee, B. H. Lee, S. Choe, "Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites", *Polymer*, 2002; 43: 6901-6909.
7. W. C. J. Zuiderduin, C. Westzaan, J. Huetink, R. J. Gaymans, "Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles", *Polymer*, 2003; 44: 261-275.
8. R. D. K. Misra, P. Nerikar, K. Bertrand, D. Murphy, "Some aspects of surface deformation and fracture of 5–20% calcium carbonate-reinforced polyethylene composites", *Materials Science and Engineering A*, 2004; 384: 284-298.
9. G. Nowaczyk, S. Glowinkowski, S. Jurga, "Rheological and NMR studies of polyethylene /calcium carbonate composites", *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 2004; 25: 194-199.
10. A. M. Osman, A. Atallah, U. W. Suter, "Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE–calcium carbonate composites", *Polymer*, 2004; 45: 1177-1183.
11. Q. Zhang, Z. Yu, X. Xie, Y. Mai, "Crystallization and impact energy of polypropylene/  $\text{CaCO}_3$  nanocomposites with nonionic modifier", *Polymer*, 2004; 45: 5984-5994.

12. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. X. Zheng, H. M. Zeng, K. Friedrich, "Improvement of tensile properties of nano-SiO<sub>2</sub>/PP composites in relation to percolation mechanism", *Polymer*, 2001; 42: 3301-3304.
13. T. Zhang, L. Qian, D. L. Tao, F. Teng, X. R. Xu "Influence of ZnO nanorod on the luminescent and electrical properties of fluorescent dye-doped polymer nanocomposites", *Optical Materials*, 2006; 29: 216-219.
14. H. Yang, Q. Zhang, M. Guo, C. Wang, R. Du, Q. Fu, "Study on the phase structures and toughening mechanism in PP/EPDM/SiO<sub>2</sub> ternary composites", *Polymer*, 2006; 47: 2106-2115.
15. D. W. Chae, B. C. Kim, "Characterization on polystyrene/zinc oxide nanocomposites prepared from solution mixing", *Polymers for Advanced Technologies*, 2006; 16: 846-850.
16. O. Starkova, J. Yang, Z. Zhang, Z. "Application of time–stress superposition to nonlinear creep of polyamide 66 filled with nanoparticles of various sizes", *Composites Science and Technology*, 2007; 67: 2691-2698.
17. E. D. unuzović, K. Jeremić, J. M. Nedeljković, "In situ radical polymerization of methyl methacrylate in a solution of surface modified TiO<sub>2</sub> and nanoparticles", *European Polymer Journal*, 2007; 43: 3719-3726.
18. K. K. Kar, S. Srivastava, A. Rahaman, S. K. Nayak, "Acrylonitrile-butadiene-styrene nanocomposites filled with nanosized alumina", *Polymer Composites*, 2008; 29: 489-499.
19. W. E. Mahmoud, M. Hafez, N. A. El-Aal, F. El-Tantawy, "The effect of nanoscale vanadium pentoxide on the electrical and mechanical properties of poly(vinyl alcohol)", *Polymer International*, 2008; 57: 35-38.
20. R. S. Mohsen, N. K. Saied, Z. Ali, E. M. Hosein, P. Hasan, "Theoretical and experimental determination of tensile properties of nanosized and micron-Sized CaCO<sub>3</sub>/PA66 composites", *Polymer Composites*, 2009; 30: 274-280.
21. X. Wang, K.-J. Xu, X.-B. Xu, S.-J. Park, S. Kim, "Selective particle distribution and mechanical properties of nano-CaCO<sub>3</sub>/ethylene-propylene-diene terpolymer/polypropylene composites with high content of nano-CaCO<sub>3</sub>", *Journal of Applied Polymer Science*, 2009; 113: 2485-2491.
22. G. Malucelli, P. Palmero, S. Ronchetti, A. Delmastro, L. Montanaro, "Effect of various alumina nano-fillers on the thermal and mechanical behaviour of low-density polyethylene-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites", *Polymer International*, 2010; 59: 1084-1089.

23. A. Chatterjee, "Effect of nanoTiO<sub>2</sub> addition on poly(methyl methacrylate): An exciting nanocomposite", *Journal of Applied Polymer Science*, 2010; 116: 3396-3407.
24. V. Vladimirov, C. Betchev, A. Vassiliou, G. Papageorgiou, D. Bikiaris, "Dynamic mechanical and morphological studies of isotactic polypropylene/fumed silica nanocomposites with enhanced gas barrier properties", *Composites Science and Technology*, 2006; 66: 2935-2944.
25. G. Li, K. Mai, K. Feng, "Plasticization of nano-CaCO<sub>3</sub> in polystyrene/nano-CaCO<sub>3</sub> composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 2006; 99: 2138-2143.
26. Suryadiansyah, H. Ismail, B. Azhari, "Silica-filled polypropylene composites: The effect of ethylene diamine dilaureate and maleic anhydride grafted polypropylene on mechanical properties, water absorption, morphology, and thermal properties", *Polymer Composites*, 2008; 29: 1169-1176.
27. Y. Wang, H. Shen, G. Li, K. Mai, "Effect of interfacial interaction on the crystallization and mechanical properties of PP/nano CaCO<sub>3</sub> composites modified by compatibilizers", *Journal of Applied Polymer Science*, 2009; 113: 1584-1592.

## Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.

### 1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- 1) **S. Wacharawichanant**, N. Wutanasiri, P. Srifong, U. Meesangpan, S. S. Thongyai, "Effect of vanadium pentoxide on the mechanical, thermal, and electrical properties of poly(vinyl alcohol)/vanadium pentoxide nanocomposites", *Journal of Applied Polymer Science*, in press.

### 2. ผลงานตีพิมพ์ในการเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ

- 1) T. Sanitchai, **S. Wacharawichanant**, S. Thongyai, "Effect of compatibilizer on mechanical properties of polypropylene/zinc oxide nanocomposites", *16<sup>th</sup> ASEAN Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2009)*, Manila, Philippines, December 1 - 2, 2009.
- 2) **S. Wacharawichanant**, P. Saetun, T. Lekkong, S. Thongyai, "Effect of compatibilizer on impact strength and morphology of polystyrene/zinc oxide nanocomposites", *International Conference on the Advancement of Materials and Nanotechnology (ICAMN 2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, November 29 - December 1, 2010.

## ภาคผนวก

# Effect of Vanadium Pentoxide on the Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Poly(vinyl Alcohol)/Vanadium Pentoxide Nanocomposites

Sirirat Wacharawichanant,<sup>1</sup> Nareerut Wutanasiri,<sup>1</sup> Paveena Srifong,<sup>1</sup> Usarat Meesangpan,<sup>1</sup> Supakanok Thongyai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

<sup>2</sup>Center of Excellence on Catalysis and Catalytic Reaction Engineering, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

Received 8 April 2010; accepted 30 November 2010

DOI 10.1002/app.33850

Published online 00 Month 2011 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).

**ABSTRACT:** In this study, we examined the effect of vanadium pentoxide ( $V_2O_5$ ) on the mechanical, thermal, and morphological properties of poly(vinyl alcohol) (PVA)/ $V_2O_5$  nanocomposites. The PVA/ $V_2O_5$  nanocomposites were prepared by solution mixing, followed by film casting. The results show that the Young's moduli of the resulting nanocomposites films were higher than the pure PVA modulus with increasing  $V_2O_5$  content, and it reached a maximum point at about 0.4 wt %  $V_2O_5$  content at 8.55 GPa. The tensile strength and stress at break increased with increasing  $V_2O_5$  content. The addition of  $V_2O_5$  did not affect the melting temperature. The crystallization temperatures of PVA were significantly changed with increasing  $V_2O_5$  content. The 5% weight loss degradation temperature of the nanocomposites was measured by thermogravimetric analysis. The degradation temperatures of the  $V_2O_5$  nanocomposites increased with increasing filler content and were higher than the degradation

temperature of pure PVA; this showed a lower thermal stability compared to those of the nanocomposites. The results show that the thermal stability increased with the incorporation of  $V_2O_5$  nanoparticles. The dielectric constant of PVA had a tendency to improve when the dispersion of particles was effective. The morphology of the surfaces the nanocomposites was examined by scanning electron microscopy. We observed that the dispersion of the  $V_2O_5$  nanoparticles was relatively good; only few aggregations existed after the addition of the  $V_2O_5$  nanoparticles at greater than 0.4 wt %. In perspective, the addition of 0.4 wt %  $V_2O_5$  nanoparticles into PVA maximized the mechanical, thermal, and electrical properties. © 2011 Wiley Periodicals, Inc. *J Appl Polym Sci* 000: 000–000, 2011

**Key words:** mechanical properties; nanocomposites; thermal properties

## INTRODUCTION

The use of inorganic fillers is a common practice in the plastics industry to improve some properties of the thermoplastics, such as the heat distortion temperature, mechanical properties, thermal stability, and flame retardance.<sup>1–8</sup> The effects of fillers on the mechanical, thermal, and other properties depend strongly on the filler's nature, shape, particle size, aggregate size, surface characteristics, and degree of dispersion in the polymer.<sup>1,9–11</sup> Poly(vinyl alcohol) (PVA) is the largest synthetic water-soluble polymer produced in the world. It is prepared by the hydro-

lysis of poly(vinyl acetate). The degree of solubility, the biodegradability, and other physical properties can be controlled by the variation of the molecular weight and the degree of hydrolysis (saponification) of the polymer. Indeed, the chemical characteristics of these polymers, for example, the reactivity of the numerous hydroxyl groups depends strongly on the residual acetyl group content and the degree of hydrolysis.<sup>12</sup> PVA was chosen for this study as it exhibits a high tensile strength, good flexibility, and high thermal and chemical stability and is widely used in applications for sizing processes of the textile industry and paper coatings.<sup>13</sup>

Chae and Kim<sup>14</sup> prepared polystyrene (PS)/zinc oxide (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. Peng and Kong<sup>15</sup> studied the thermal degradation mechanism of PVA/silica ( $SiO_2$ ) nanocomposites. The PVA/ $SiO_2$  nanocomposites, similar

Correspondence to: S. Wacharawichanant (iamsirirat@yahoo.com).

Contract grant sponsors: Thailand Research Fund, Commission on Higher Education, Silpakorn University Research and Development Institute.

*Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 000, 000–000 (2011)  
© 2011 Wiley Periodicals, Inc.

# PROCEEDINGS

41

## 16<sup>th</sup> ASEAN Regional Symposium on Chemical Engineering “Chemical Engineering at the forefront of Global Challenges”

December 1-2, 2009  
Manila Hotel  
Manila, Philippines

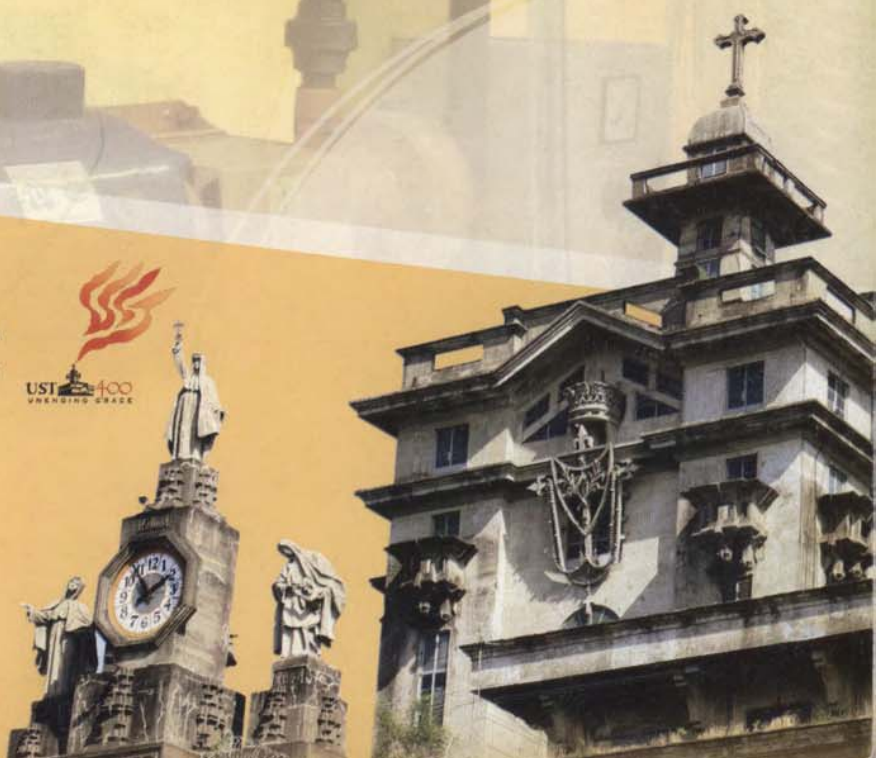
Organized by:



Pontifical and Royal  
**UNIVERSITY OF SANTO TOMAS**  
The Catholic University of the Philippines



In cooperation with:



## Effect of Compatibilizer on Mechanical Properties of Polypropylene/Zinc Oxide Nanocomposites

Thitipong Sanitchai<sup>1</sup>, Sirirat Wacharawichanant<sup>1\*</sup>, and Supakanok Thongyai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand. 73000

<sup>2</sup> Center of Excellence on Catalysis and Catalytic Reaction Engineering, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

\* E-mail: iamsirirat@yahoo.com

**ABSTRACT:** The effect of PP-g-MA compatibilizer on mechanical properties of polypropylene (PP)/zinc oxide (ZnO) nanocomposites were investigated. PP/ZnO nanocomposites were prepared by twin screw extruder with various concentrations of PP-g-MA (1, 3 and 5 wt%) and ZnO (0.5, 1, 2 and 4 wt%). The results found that the impact strength of PP/ZnO nanocomposites did not change evidently with increasing ZnO contents. Impact strength and Young's modulus of PP/ZnO nanocomposites decreased after adding PP-g-MA compatibilizer. The values of stress at break increased with increasing ZnO and PP-g-MA compatibilizer contents.

**Keywords:** polypropylene; zinc oxide; nanocomposites; polypropylene-graft-maleic anhydride; compatibilizer

### INTRODUCTION

The addition of material at the nanometric scale into the matrix of polymer has increased. The development in polymer composites with nanometer-sized fillers has been interested because of its increasing in surface area and the shorter distance between particles that have been improvement in thermal stability, gas barrier property and mechanical properties with a minimum sacrifice in strain and impact strength (Chung *et al.*, 2008). In some case, particles are supplied in an aggregate form and this required optimum mixing process to provide the appropriate particles dispersion (Pascual *et al.*, 2009).

PP is one of the most extensively used polyolefins due to its good processability, relatively high mechanical properties, great recycle ability and low cost (Hongxia *et al.*, 2006). However, owing to its low modulus, high notch sensitivity and poor impact resistance, especially under extreme conditions such as low temperatures or high strain rates, the usefulness of PP as an engineering thermoplastic is still limited (Yang *et al.*, 2006).

Particles filled polymer composites have attracted great interest, both in industry and academia. The mechanical properties of particulate filled polymer composites depend on size, shape and distribution of filler particles in the matrix polymer and good adhesion at the interface surface (Bose *et al.*, 2004). Treatment of nanoparticles or modified polymer chains had a complex method.

In many researches have used a maleated form of PP (PP-g-MA) as compatibilizer for polymer nanocomposites (Horiuchi *et al.*, 1997; Tidjani *et al.*, 2003; Tidjani, 2005; Agrawal *et al.*, 2007; Chung *et al.*, 2008; Hong *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2009). ZnO has useful in various applications such as photo-electric devices, electronic devices, surface acoustic wave devices, field emitters, sensors, ultraviolet lasers, solar cells (Liu *et al.*, 2007) so it was challenging to filled ZnO into PP matrix.

This work studied the effect of PP-g-MA compatibilizer on mechanical properties of PP/ZnO nanocomposites. PP/ZnO nanocomposites with varying concentration of ZnO and PP-g-MA compatibilizer were prepared by a melt mixing technique in a twin screw extruder.

### MATERIALS AND METHODS

#### Materials

Pure PP (Mophen HP400K) and polypropylene-graft-maleic anhydride (PP-g-MA, Fusabond MZ-109D) as a compatibilizer were supplied by HMC Polymers Co, Ltd. and Chemical Innovation Co., Ltd., respectively. The melt flow rates of such materials are 4 dg/min and 120 g/10 min, respectively. ZnO with an average particle size 71 nm was purchased from Aldrich Company.

#### Methods

##### Preparation of the nanocomposites

Pure PP pellets, PP-g-MA pellets and ZnO particles were dried in an oven at 100 °C for 3 hrs before melt extrusion. The PP pellets and ZnO particles (0.5, 1, 2 and 4 wt%) were melt-compounding with and without PP-g-MA in desired compositions (1, 3, 5 wt%) in a twin screw extruder at temperatures in a range of 160-210 °C and a screw rotation rate of 50 rpm. The extrudates were palletized at the die exit. After compounding, the blends were compression molded into standard dumb-bell tensile bars and rectangular bars, the mold temperature was kept at 190 °C.

##### Characterisation of the nanocomposites

Tensile tests were conducted according to ASTM D 638 with a universal tensile testing machine LR 50k from Lloyd instruments. The tensile tests were performed at a crosshead speed of 50.8 mm/min. Charpy impact strength tests were performed according to D 6110-06 at room temperature. Each value obtained represented the average of five samples.

### RESULTS AND DISCUSSION

The impact strength of the nanocomposites of PP/ZnO before and after adding 1, 3 and 5 wt% of PP-g-MA is shown in **Figure 1**. It can be seen that the impact strength of PP/ZnO nanocomposites did not change after adding ZnO and the impact strength decreased with increasing PP-g-MA content. The Young's modulus of PP/ZnO nanocomposites at various ZnO and compatibilizer contents is presented in **Figure 2**. Young's modulus of PP/ZnO nanocomposites decreased with increasing PP-g-MA content. **Figures 3 and 4** present the variation in the

tensile strength and stress at break with varying concentrations of ZnO and PP-g-MA. It is observed that in PP/ZnO nanocomposites the tensile strength and stress at break increased with increasing ZnO and PP-g-MA content. The PP/ZnO nanocomposites after adding PP-g-MA had higher stress at break than PP/ZnO nanocomposites without PP-g-MA. This may be due to the PP-g-MA improved the compatibility and interfacial area of ZnO nanoparticles in PP matrix.

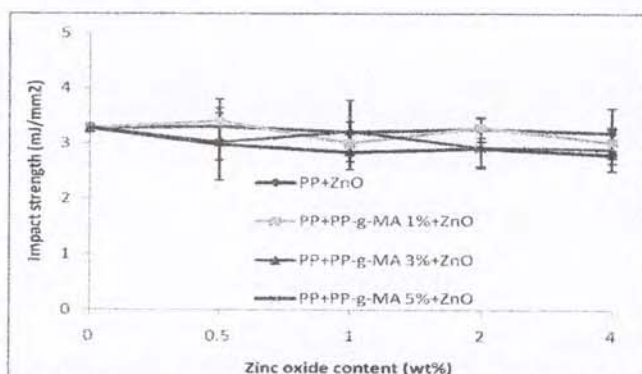


Figure 1. Charpy impact strength values of PP/ZnO nanocomposites at various ZnO and compatibilizer contents.

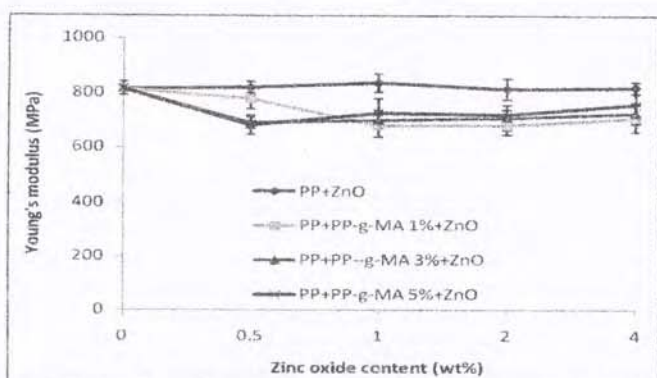


Figure 2. The Young's modulus of the PP/ZnO nanocomposites at various ZnO and compatibilizer contents.

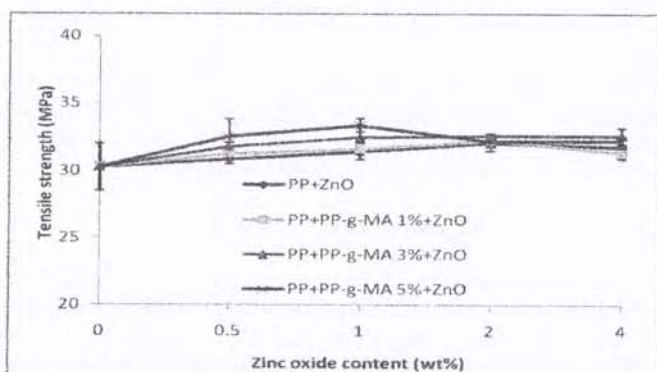


Figure 3. The tensile strength values of the PP/ZnO nanocomposites at various ZnO and compatibilizer contents.

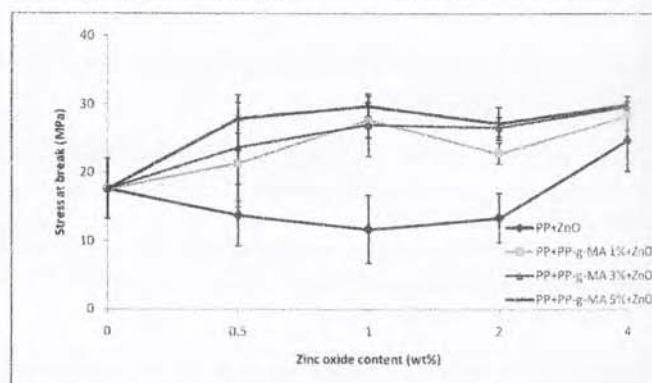


Figure 4. The stress at break values of the PP/ZnO nanocomposites at various ZnO and compatibilizer contents.

## CONCLUSION

The effect of PP-g-MA compatibilizer on mechanical properties of PP/ZnO nanocomposites was investigated. PP/ZnO nanocomposites were prepared by twin screw extruder. The results found that the impact strength of PP/ZnO nanocomposites did not change evidently with increasing ZnO contents. Impact strength and Young's modulus of PP/ZnO nanocomposites decreased after adding PP-g-MA compatibilizer. The values of tensile strength and stress at break increased with increasing ZnO and PP-g-MA compatibilizer contents. The PP/ZnO nanocomposites after adding PP-g-MA had higher stress at break than PP/ZnO nanocomposites without PP-g-MA.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Thailand Research Fund (TRF), Commission on Higher Education and Silpakorn University Research and Development Institute (SURDI) for the financial support of this project.

## REFERENCES

- Horiuchi, S., Matchariyakult, N., Yase, K., Kitano, T., Choi, H. K., & Lee, Y. M. (1997). Compatibilizing effect of maleic anhydride functionalized SEBS triblock elastomer through a reaction induced phase formation in the blends of polyamide6 and polycarbonate: 2. Mechanical properties: A literature review. *Polymer*, 38, 59-78.
- Tidjani, A., Wald, O., Pohl, M. M., Hentschel, M. P., & Scharrel, B. (2003). Polypropylene-graft-maleic anhydride-nanocomposites: I—Characterization and thermal stability of nanocomposites produced under nitrogen and in air: A literature review. *Polymer Degradation and Stability*, 82, 133-140.
- Bose, S., & Mahanwar, P. A. (2004). Effect of particle size of filler on properties of nylon-6: A literature review. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 3, 23-31.
- Tidjani, A. (2005). Polypropylene-graft-maleic anhydride-nanocomposites: II the fire behaviour of nanocomposites produced under nitrogen and in air: A literature review. *Polymer Degradation and Stability*, 87, 43-49.
- Hongxia, Z., & Robert, K. Y. (2006). A study on the photo-degradation of zinc oxide (ZnO) filled polypropylene nanocomposites: A literature review. *Polymer*, 47, 3207-3217.
- Yang, K., Yang, Q., Li, G., Sun, Y., & Feng, D. (2006). Mechanical properties and morphologies of polypropylene with different sizes of calcium carbonate particles: A literature review. *Polymer Composites*, 27, 443-450.
- Agrawal, P., Oliveira, S. I., Araújo, E. M., Melo, T. J. A. (2007). Effect of different polypropylenes and compatibilizers on the rheological,

- mechanical and morphological properties of nylon 6/PP blends: A literature review. *Material Science*, 42, 5007-5012.
- Liu, Y., Zhou, J., Larbot, A., & Persin, M. (2007). Preparation and characterization of nano-zinc oxide: A literature review. *Journal of Materials Processing Technology*, 189, 379-383.
- Chung, Y. C., Cho, T. K., & Chun, B. C. (2008). Dependence of montmorillonite dispersion in nanocomposites on polymer matrix and compatibilizer content, and the impact on mechanical properties: A literature review. *Fibers and Polymers*, 9, 7-14.
- Hong, C. K., Kim, M. J., Oh, S. H., Lee, Y. S., & Nah, C. (2008). Effects of polypropylene-g-(maleic anhydride/styrene) compatibilizer on mechanical and rheological properties of polypropylene/clay nanocomposites: A literature review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14, 236-242.
- Pascual, J., Fages, E., Fenollar, O., García, D., & Balart, R. (2009). Influence of the compatibilizer/nanoclay ratio on final properties of polypropylene matrix modified with montmorillonite-based organoclay: A literature review. *Polymer*, 62, 367-380.



Mr. Thitipong Sanitchai is studying Master's Degree of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakorn Pathom, Thailand.

*Organised by*  
Centre for Nanomaterials Research  
Institute of Science,  
Universiti Teknologi MARA,  
40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia  
<http://www.ios.uitm.edu.my/icamnII-2010>



*Main sponsor:*  
JEOL Malaysia

# ICAMN 2010

## International Conference on

the Advancement of  
Materials & Nanotechnology

29<sup>th</sup> Nov - 1<sup>st</sup> Dec 2010

**Venue :** PRINCE HOTEL,  
Kuala Lumpur



PY 013

**Effect of Compatibilizer on Impact Strength and Morphology of Polystyrene/Zinc Oxide Nanocomposites**S. Wacharawichanant<sup>1</sup>, P. Saetun<sup>1</sup>, T. Lekkong<sup>1</sup>, S. Thongyai<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.<sup>2</sup>Center of Excellence on Catalysis and Catalytic Reaction Engineering, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand.

This article investigated the effects of particle size of zinc oxide (ZnO) and polystyrene-co-maleic anhydride (SMA) compatibilizer on impact strength and morphology of polystyrene (PS)/ZnO71 (71 nm) and PS/ZnO250 (250 nm) nanocomposites. PS/ZnO nanocomposites with varying concentration of ZnO and SMA were prepared by a melt mixing technique in a twin screw extruder. It was found that the impact strength of PS nanocomposites increased up to a ZnO content of 1.0 wt%. Moreover, PS/ZnO250 nanocomposites had higher impact strength than PS/ZnO71 nanocomposites. The addition of SMA increased the impact strength of PS/ZnO nanocomposites with increasing SMA content, this result showed that SMA could improve impact strength of nanocomposites [1]. The dispersion of ZnO particles on PS/ZnO nanocomposites was studied by scanning electron microscope (SEM). It was observed that the dispersion of ZnO particles of PS/ZnO nanocomposites without SMA was non-uniform and the agglomeration of ZnO particles in the polymer matrix increased with increasing ZnO content. The dispersion of ZnO particles of PS/ZnO nanocomposites after adding SMA was relatively good and only few aggregations exist. These observations support the results of the impact test where the PS/ZnO nanocomposites with SMA displayed higher impact strength than the PS/ZnO nanocomposites without SMA. The study showed that SMA was used as a compatibilizer to improve the dispersability and compatibility of ZnO particles in PS matrix [2-4].

PY 014

**Situ Preparation of ZnO Nanorod/poly(1,4-di(thiophen-3-yl)benzene) Nanocomposites via Electrochemical Polymerization and Their Properties**M. Ouyang<sup>1</sup>, G. Wang<sup>1</sup>, X. Lv<sup>1</sup>, C. Zhang<sup>1</sup><sup>1</sup>State Key Laboratory Breeding Base of Green Chemistry-Synthesis Technology, College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310014, P. R. China.

In the past few decades, organic/inorganic nanocomposite has received a tremendous attention due to presenting better performance than their bulk counterparts, and great progress has been made [1-3]. Therefore, a scientific study on fabrication of polymer/inorganic nanoarray composites is of great interest, and has become one of the focuses in polymer optoelectronics field[4]. Here, we report the fabrication of new ZnO nanorod/poly(1,4-di(thiophen-3-yl)benzene)(PDTB) nanocomposites via electrochemical polymerization. Field-emission scanning electron microscope (FESEM) and High resolution-transmission electronic microscope (HR-TEM) were used to investigate the morphology of resulting sample(see Fig 1 a, b and d), and the crystallization and absorption spectrum of nanocomposite were recorded by X-ray diffraction (XRD) and UV-visible spectra, respectively. The continuous cyclic voltammetry (CV) curves of PDTB in dichloromethane are illustrated in Fig.1c. The composite between ZnO and PDTB improves the photoelectric conversion of materials, and the resulting composites possess potential applications in optoelectronics field.