



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของขนาดอนุภาคและรูปร่างของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร
และสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต
(The effect of particle sizes and shapes of nanocrystalline metal
oxide and compatibilizer on polymer nanocomposite properties)

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ วัชรวิชานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.มล.ศุภกนก ทองใหญ่

มีนาคม 2554

สัญญาเลขที่ MRG5280166

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของขนาดอนุภาคและรูปร่างของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร
และสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต
(The effect of particle sizes and shapes of nanocrystalline metal
oxide and compatibilizer on polymer nanocomposite properties)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ วัชรวิชานันท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

นักวิจัยที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.มล.ศุภกนก ทองใหญ่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัย อุปกรณ์และ
เครื่องมือในการทดลอง และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านคาตาไลซิสและวิศวกรรมปฏิกิริยาที่ใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการให้
ความอนุเคราะห์ทดสอบตัวอย่าง

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG5280166

ชื่อโครงการ: ผลของขนาดอนุภาคและรูปร่างของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรและสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ วัชรวิชานนท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
นักวิจัยที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.มล.ศุภกนก ทองใหญ่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail Address : iamsirirat@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

ส่วนที่หนึ่งศึกษาผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ polypropylene (PP)/ZnO นาโนคอมโพสิต ผลการทดลองพบว่า tensile strength และ stress at break ของ PP นาโนคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสม ZnO และสารช่วยผสม PP-g-MA นอกจากนี้ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีสารช่วยผสม PP-g-MA มีค่า stress at break สูงกว่า PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่ไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MA ส่วนที่สองศึกษาผลของสารช่วยผสม polystyrene-co-maleic anhydride (SMA) ที่มีต่อ impact strength และรูปแบบโครงสร้างของนาโนคอมโพสิตระหว่าง polystyrene (PS) และ ZnO ผลการทดลองพบว่า การเติม SMA ช่วยเพิ่ม impact strength ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต โดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ SMA ที่มากขึ้น การกระจายตัวของอนุภาค ZnO ใน PS/ZnO นาโนคอมโพสิตหลังจากการเติม SMA ค่อนข้างดีและมีการรวมตัวกันเพียงเล็กน้อย การศึกษาแสดงให้เห็นว่า SMA ซึ่งใช้เป็นสารช่วยผสมช่วยปรับปรุงความสามารถของการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของอนุภาค ZnO ในเนื้อ PS ส่วนที่สามศึกษาผลของ V_2O_5 ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของนาโนคอมโพสิตระหว่าง polyvinyl alcohol (PVA) ผลการทดลองพบว่า พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมี Young's modulus, tensile strength และ stress at break สูงขึ้นเมื่อเติม V_2O_5 อุณหภูมิการสลายตัวของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเติมที่มากขึ้น การกระจายตัวของอนุภาคนาโน V_2O_5 ดีและเกิดการรวมตัวกันเพียงเล็กน้อยหลังจากการผสมอนุภาคนาโน V_2O_5 มากกว่า 0.4 % โดยน้ำหนัก การเติม 0.4 % โดยน้ำหนักของอนุภาคนาโน V_2O_5 ใน PVA ทำให้สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางไฟฟ้ามีค่าสูงสุด

คำหลัก : พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต, ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโน, สารช่วยผสม

Abstract

Project Code : MRG5280166

Project Title : The effect of particle sizes and shapes of nanocrystalline metal oxide and compatibilizer on polymer nanocomposite properties

Investigator : Asst.Prof.Dr.Sirirat Wacharawichanant	Silpakorn University
Assoc.Prof.Dr.ML.Supakanok Thongyai	Chulalongkorn University

E-mail Address : iamsirirat@yahoo.com

Project Period : 2 year

The first parts studied the effect of PP-g-MA compatibilizer on mechanical properties of polypropylene (PP)/ZnO nanocomposites. The results found that the tensile strength and stress at break of PP nanocomposites increased after adding ZnO and PP-g-MA compatibilizer. Moreover, PP/ZnO nanocomposites with PP-g-MA compatibilizer had higher stress at break than one without PP-g-MA compatibilizer. The second parts studied the effects of polystyrene-co-maleic anhydride (SMA) compatibilizer on impact strength and morphology of polystyrene (PS)/ZnO nanocomposites. The results found that the addition of SMA increased the impact strength of PS/ZnO nanocomposites with increasing SMA content. The dispersion of ZnO particles of PS/ZnO nanocomposites after adding SMA was relatively good and only few aggregations exist. The study showed that SMA was used as a compatibilizer to improve the dispersability and compatibility of ZnO particles in PS matrix. The third parts studied the effect of V_2O_5 on properties of polyvinyl alcohol (PVA) and V_2O_5 nanocomposites. The results found that the Young's modulus, tensile strength and stress at break increased after adding V_2O_5 . The degradation temperatures of PVA/ V_2O_5 nanocomposites increased with increasing filler content. The dispersion of the V_2O_5 nanoparticles was relatively good, only few aggregations exist after adding V_2O_5 nanoparticles more than 0.4 wt%. The addition of 0.4 wt% of V_2O_5 nanoparticles into PVA maximized the mechanical, thermal and electrical properties.

Keywords : polymer nanocomposites, nanocrystalline metal oxide, compatibilizer

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อ.....	ง
Abstract.....	จ
สารบัญเรื่อง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3.1 พอลิเมอร์ที่ผสมกับผลึกโสหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร.....	2
1.3.2 การใช้สารช่วยผสมในพอลิเมอร์ที่ผสมกับผลึกโสหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร.....	5
1.3.2.1 นาโนเมตร.....	4
บทที่ 2 วิธีการทดลอง.....	6
2.1 สารเคมีที่ใช้.....	6
2.1.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP).....	6
2.1.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS).....	6
2.1.3 Polypropylene-graft-Maleic Anhydride (PP-g-MA).....	6
2.1.4 พอลิสไตรีนมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Poly(Styrene Maleic Anhydride), SMA).....	6
2.1.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, PVA).....	6
2.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO).....	6
2.1.7 วานาเดียมเพนทอกไซด์ (Vanadium Pentoxide, V ₂ O ₅).....	6
2.2 เครื่องมือที่ใช้.....	7
2.2.1 เครื่อง Twin screw extruder.....	7
2.2.2 เครื่อง Compression molding.....	7
2.2.3 เครื่อง Universal testing.....	7
2.2.4 เครื่อง Pendulum impact tester.....	7
2.2.5 เครื่องทำรอยบาก.....	8
2.2.6 เครื่อง Differential scanning calormeter (DSC).....	8
2.2.7 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA).....	8
2.2.8 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM).....	8

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.2.9 เครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า.....	8
2.3 วิธีการทดลอง.....	9
3.2.1 การศึกษาผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต.....	9
3.2.2 การศึกษาผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก และรูปแบบโครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต.....	5 9
3.2.3 การศึกษาผลของ V_2O_5 ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต.....	5 10
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	13
3.1 ผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโน คอมโพสิต.....	13
3.1.1 สมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MA.....	13
3.2 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและรูปแบบ โครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต.....	15
3.2.1 สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มี สารช่วยผสม SMA.....	15
3.2.2 รูปแบบโครงสร้างของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มี สารช่วยผสม SMA.....	19
3.3 ผลของ V_2O_5 ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต.....	24
3.3.1 สมบัติทางกลของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต.....	24
3.3.2 สมบัติทางความร้อนของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต.....	26
3.3.3 สมบัติทางไฟฟ้าของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต.....	30
3.3.4 การกระจายตัวของอนุภาค V_2O_5 ในเนื้อ PVA ด้วย SEM.....	31
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองข้อเสนอแนะ.....	33
4.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
4.1.1 ผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต.....	33
4.1.2 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและรูปแบบ โครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต.....	33

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ผลของ V2O5 ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของ PVA/V2O5 นาโนคอมโพสิต.....	33
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.....	38
ภาคผนวก.....	39

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ...	13
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า tensile strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	14
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า stress at break ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	14
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	15
รูปที่ 3.5 ค่า impact strength ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่อนุภาค ZnO มีขนาด 71 และ 250 นาโนเมตร	16
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่า impact strength ของ PS/ZnO71 นาโนคอมโพสิต เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก.....	17
รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า impact strength ของ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก.....	18
รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า impact strength และ PS/ZnO71 และ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต หลังจากเติมสารช่วยผสม SMA ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก.....	19
รูปที่ 3.9 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของ ZnO ในเนื้อของ PS.....	20
รูปที่ 3.10 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของ ZnO ในเนื้อของ PS	21
รูปที่ 3.11 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร และสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS	22
รูปที่ 3.12 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร และสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS	24
รูปที่ 3.13 แสดงค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ V ₂ O ₅ ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	25
รูปที่ 3.14 แสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ V ₂ O ₅ ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	25
รูปที่ 3.15 แสดงค่า stress at break ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PVA และ V ₂ O ₅ ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	26

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 แสดงค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	27
รูปที่ 3.17 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	27
รูปที่ 3.18 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	28
รูปที่ 3.19 แสดงค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	29
รูปที่ 3.20 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	30
รูปที่ 3.21 ค่า dielectric constant ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง PVA และ V_2O_5 ขนาดอนุภาค 42 นาโนเมตร.....	30
รูปที่ 3.22 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค V_2O_5 ขนาด 42 นาโนเมตร ภายในเนื้อ PVA ที่ความเข้มข้นของ V_2O_5 ที่แตกต่างกันที่ได้จาก SEM.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการสังเคราะห์ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรขึ้นมาก เช่น วิธีโซลโวเทอร์มอลและวิธีเผาแบบเฟลมสเปร์ย์ โดยแต่ละวิธีที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่ต้องการสังเคราะห์ และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น ด้านการประยุกต์ใช้ผลึกขนาดนาโนเมตรเป็นตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยา และต่อมาได้มีการนำสารประกอบขนาดนาโนเมตรมาเป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ เช่น calcium carbonate, clay, silicon oxide และ carbon nanotube เป็นต้น แต่การประยุกต์ใช้ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรและงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์นั้นก็ยังมียานวิจัยที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการศึกษาถึงผลของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรชนิดต่างๆ แต่ในการผสมสารผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมีปัญหาเกี่ยวกับการผสมเข้ากันได้ของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรในเนื้อพอลิเมอร์ เนื่องจากผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมีแรงตึงผิวสูงและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสน้อย ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้สมบัติบางอย่างของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตไม่ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาเพื่อปรับปรุงให้ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรสามารถผสมเข้ากันกับเนื้อพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น โดยมีวิธีต่างๆ เช่น การปรับพื้นผิวของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร การเติมสารช่วยผสม (compatibilizer) การเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการใช้สารช่วยผสมชนิดต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการผสมผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรและพอลิเมอร์ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่แตกต่างกันใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติต่างๆ ในวัสดุพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ และการใช้สารช่วยผสม ช่วยในการผสมผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรและพอลิเมอร์จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เตรียมผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรเพื่อนำไปเป็นสารปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์

1.2.2 ศึกษาผลของผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรชนิดต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

1.2.3 ศึกษาการใช้สารช่วยผสมชนิดต่างๆ เพื่อช่วยในการผสมโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่มีขนาดอนุภาคและรูปร่างแตกต่างกันกับพอลิเมอร์

1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 พอลิเมอร์ที่ผสมกับผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร

การใช้สารประกอบต่างๆ เพื่อผสมกับพอลิเมอร์นั้นในช่วงแรกจะเป็นการเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ต่อมาก็มีการศึกษาเพื่อใช้ในการปรับปรุงสมบัติด้านอื่นๆ ของพอลิเมอร์ด้วย ส่วนใหญ่ของงานวิจัยที่มีการศึกษาจะเป็นการศึกษาโดยใช้ polypropylene (PP) และ polyethylene (PE) ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล [1-11] ซึ่งไม่สามารถเพิ่มได้ทุกสมบัติแต่จะเพิ่มได้เฉพาะบางอย่างในขณะที่สมบัติบางอย่างลดลงไป เช่น ความเหนียว tensile strength และ modulus เป็นต้น ในขณะที่การศึกษากการใช้ผลึกโลหะออกไซด์มีน้อยมาก ที่พบจะเป็นการมีการศึกษาการปรับปรุง tensile strength ของ PP โดยใช้ซิลิกอนออกไซด์ (silicon oxide, SiO_2) [12] ซึ่งพบว่า tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้นและมีการศึกษาการใช้ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) ที่เป็น nanorods ในการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นไดโอดและส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงในขณะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำลง [13] ต่อมามีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่มีสามองค์ประกอบซึ่งมีโลหะออกไซด์ของ SiO_2 อยู่ [14] และมีการศึกษาคูณลักษณะของ polystyrene (PS) และ ZnO ที่เตรียมโดยการละลาย ซึ่งถ้ามีปริมาณของ ZnO มี 5 % โดยน้ำหนัก จะทำให้อุณหภูมิคล้ายแก้วและโมดูลัสเพิ่มขึ้น [15] Starkova และคณะ [16] ศึกษา long-term tensile creep ของ polyamide 66 และ polyamide 66 นาโนคอมโพสิตที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) ขนาด 21 และ 300 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 1 % โดยปริมาตร และ D unuzović และคณะ [17] เตรียมนาโนคอมโพสิตของ poly (methyl methacrylate) (PMMA)/ TiO_2 โดยวิธี radical polymerization ของ methyl methacrylate (MMA) ในสารละลายโทลูอีนซึ่งประกอบด้วย TiO_2 /6-palmitate ascorbic acid (6-PAA) พบว่าอนุภาค TiO_2 ขนาดนาโนเมตรมีอิทธิพลต่อสมบัติทางความร้อนของ PMMA ซึ่งทดสอบโดยใช้ Thermogravimetric analysis (TGA) และ Differential scanning calorimetry (DSC) อุณหภูมิลักษณะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผสมอนุภาค TiO_2 ขนาดนาโนเมตรในขณะที่ความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากผสมอนุภาค TiO_2 ขนาดนาโนเมตร

ปี 2008 Kar และคณะ [18] เตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตระหว่าง acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) และอนุภาคนาโนของ α -alumina (Al_2O_3) โดยใช้วิธีหลอมผสม ผลการทดลองพบว่า ABS/ Al_2O_3 นาโนคอมโพสิตมี Young's modulus สูงกว่า ABS บริสุทธิ์เล็กน้อย แต่ tensile strength, strain% at break, flexural และ impact strength มีค่าต่ำกว่า ABS บริสุทธิ์ แต่ flexural modulus ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Al_2O_3 ในเนื้อ ABS ที่มากขึ้นด้วย และจากการตรวจสอบพื้นผิวรอยแตกจากตัวอย่างการทดสอบแรงดึงโดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM) พบว่ารอยแตกของ ABS เปลี่ยนจากแตกแบบ ductile fracture ไปเป็นแบบ brittle fracture เมื่อมีการเติม Al_2O_3 และงานวิจัยของ Mahmoud และคณะ [19] ตรวจสอบผลของ vanadium pentoxide (V_2O_5) ขนาดนาโนที่มีต่อการนำไฟฟ้าและสมบัติทางทางของ polyvinyl

alcohol (PVA) ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโน V_2O_5 มีการกระจายตัวดีและมีรูปร่างเหมือนกันและมีขนาดอนุภาค 8 นาโนเมตร และการเติมอนุภาคนาโน V_2O_5 ปริมาณน้อย (0.2-1 %โดยน้ำหนัก) ใน PVA ทำให้การนำไฟฟ้าและโมดูลัสของความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น

ปี 2009 มีงานวิจัยของ Mohsen และคณะ [20] ตรวจสอบความเป็นไปได้ในการเสริมแรง polyamide66 (PA66) ด้วย $CaCO_3$ ขนาดไมครอนและขนาดนาโน โดยเตรียมไมโครคอมโพสิตและนาโนคอมโพสิตด้วยวิธีสารละลายพอลิเมอร์ ผลการทดลองพบว่าไมโครคอมโพสิตและนาโนคอมโพสิตมีโมดูลัสสูงกว่า PA66 แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่า PA66 และนาโนคอมโพสิตมีโมดูลัสและความแข็งแรงสูงกว่าไมโครคอมโพสิตด้วย และงานวิจัยของ Wang และคณะ [21] เตรียมคอมโพสิตสามองค์ประกอบระหว่าง nano- $CaCO_3$, ethylenepropylene-diene terpolymer (EPDM) และ PP ที่มีปริมาณของ nano- $CaCO_3$ สูง โดยมีการผสมสองขั้นตอนคือ ขั้นแรกผสม EPDM และ nano- $CaCO_3$ ก่อน จากนั้นจึงนำไปหลอมผสมกับ PP และทำการตรวจสอบอิทธิพลของเวลาการผสมที่ใช้ในการผสมขั้นตอนที่สองที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค nano- $CaCO_3$ และ impact strength ของคอมโพสิตสามองค์ประกอบ พบว่า Izod impact strength ของคอมโพสิตลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเวลาการผสม จากการสังเกตผลจาก Transmission electron microscopy (TEM) แสดงให้เห็นว่าช่วงแรกอนุภาค nano- $CaCO_3$ เคลื่อนย้ายจาก EPDM ไปยังเนื้อ PP และจาก PP ไปยังบริเวณใกล้เคียงกับเฟสกระจายตัวของ EPDM เมื่อเวลาการผสมเพิ่มขึ้น จากภาพ SEM แสดงให้เห็นว่า nano fibrils จำนวนมากที่รอยต่อระหว่างเฟสของ nano- $CaCO_3$ ที่จับกันเป็นก้อนและเนื้อพอลิเมอร์ซึ่งสามารถกระจายพลังงานไปมากมาย

ปี 2010 มีงานวิจัยของ Malucelli และคณะ [22] ใช้ผง alumina แตกต่างกัน 2 ชนิดผสมให้การกระจายตัวใน low-density polyethylene (LDPE) เพื่อศึกษาผลของเฟสผลึก ขนาด และรูปแบบโครงสร้างของสารเติม alumina โดยใช้ α -alumina ขนาดไมครอน และ nanocrystalline transition (γ/δ) alumina เติมในพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 5 %โดยน้ำหนักด้วยเครื่องผสม Brabender พบว่าสารเติมอินทรีย์ทั้งสองชนิดมีการกระจายตัวที่ดีใน LDPE และช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการขีดข่วน นอกจากนี้ยังพบว่าคอมโพสิตมี thermo-oxidative ที่มีเสถียรภาพสูงกว่า LDPE และสมบัติของคอมโพสิตไม่ขึ้นอยู่กับเฟสผลึก ขนาด และรูปแบบโครงสร้างของสารเติมทั้งสองชนิดและสารเติมทั้งสองชนิดสามารถเพิ่มสมบัติของคอมโพสิตใกล้เคียงกัน และงานวิจัยของ Chatterjee [23] ศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และสมบัติ viscoelastic ของคอมโพสิตระหว่าง nanoTiO₂ และ PMMA โดยใช้ TiO₂ ขนาด 5 นาโนเมตร และมีความเข้มข้น 2.0-30 %โดยน้ำหนัก ของ TiO₂ ผลการทดลองพบว่า nanoTiO₂ สามารถปรับปรุงสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และสมบัติ viscoelastic ของ PMMA โดยสามารถเพิ่มค่าต่างๆ ของนาโนคอมโพสิตดังนี้ storage modulus เพิ่มขึ้นประมาณ 60%, rubbery modulus เพิ่มขึ้นประมาณ 210%, glass transition temperature เพิ่มขึ้นประมาณ 27%, crosslink density เพิ่มขึ้นประมาณ 213%, initial decomposition temperature เพิ่มขึ้นประมาณ 83% ที่ 1 %โดยน้ำหนักที่หายไป และ activation energy เพิ่มขึ้นประมาณ 141% ประสิทธิภาพทางกลและความเสถียรทางความร้อนของ nanoTiO₂-PMMA คอมโพสิตขึ้นอยู่กับ

สถานะการกระจายตัวของ TiO_2 ในเนื้อ PMMA จากการศึกษากาจาก SEM แสดงให้เห็นว่า อนุภาคของ TiO_2 กระจายตัวได้ดีในเนื้อ PMMA

1.3.2 การใช้สารช่วยผสมในพอลิเมอร์ที่ผสมกับผลึกโซะออกไซด์ขนาดนาโนเมตร

Vladimirov และคณะ [24] เตรียมนาโนคอมโพสิตของ PP และซิลิกาโดยใช้เครื่อง Twin-screw co-rotating extruder และใช้สารช่วยผสม maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) เพื่อปรับปรุงการกระจายตัวของอนุภาคนาโน จากภาพ TEM พบว่าการเกาะกลุ่มของอนุภาคซิลิกาในเนื้อ PP เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้นและการเกาะกลุ่มลดลงเมื่อปริมาณของ PP-g-MA เพิ่มขึ้น และเมื่อผสมซิลิกามากขึ้นทำให้ storage modulus สูงขึ้น และการเติม PP-g-MA ก็ทำให้ storage modulus สูงมากขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของซิลิกาและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสดีขึ้น และงานวิจัยของ Li และคณะ [25] ศึกษาสมบัติ shear rheological ของ PS/nano- CaCO_3 คอมโพสิต โดยใช้ poly(styrene-butadiene-styrene) triblock copolymer (SBS), poly(styrene-isoprene-styrene) triblock copolymer (SIS), SBS-grafted maleic anhydride (SBS-MAH) และ SIS-grafted maleic anhydride เป็นสารปรับปรุงหรือสารช่วยผสม เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง CaCO_3 และเนื้อ PS อ่อน คอมโพสิตมีค่า storage moduli เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ CaCO_3 น้อย ผลการทดลองพบว่า CaCO_3 มีผลต่อการผสมเข้ากันได้ของ PS/SBS (หรือ SBS-MAH)/ CaCO_3 คอมโพสิต ซึ่ง SBS มีประสิทธิภาพในการหน่วงการเคลื่อนไหวยของส่วนสายโซ่ PS การปรับปรุงการผสมเข้ากันได้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CaCO_3 และ grafted maleic anhydride ที่มีผลต่อพฤติกรรม rheological ของคอมโพสิต และ melt shear rate ของคอมโพสิต ลดลงอย่างมาก และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า nano- CaCO_3 สามารถ plasticize เนื้อ PS

งานวิจัยของ Suryadiansyah และคณะ [26] ศึกษาผลของสารช่วยผสม 2 ชนิด คือ ethylene diamine dilaurate (EDD) และ PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกล การดูดซึมน้ำ รูปแบบโครงสร้างและสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตระหว่าง PP และซิลิกา (PP/Sil) ผลการทดลองพบว่า tensile, impact และ flexural strengths (เพิ่มถึง 2 php), Young's modulus และ elongation at break (Eb) สูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ EDD อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณของ PP-g-MA มากช่วยเพิ่ม tensile strength, Young's modulus, impact และ flexural strengths และความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ ที่ปริมาณของสารช่วยผสมทั้ง 2 ชนิดเท่ากันพบว่า EDD ทำให้ Eb, impact และ flexural strengths มีค่าสูงกว่า PP-g-MA แต่ tensile strength, Young's modulus และความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ PP-g-MA จากการศึกษาพื้นผิวรอยแตกจากตัวอย่างการทดสอบแรงดึงโดยใช้ SEM แสดงหลักฐานการยึดเกาะกันของซิลิกาและ PP ดีขึ้นเมื่อมี PP-g-MA และ EDD เมื่อเทียบกับคอมโพสิตเหมือนกันที่ไม่มีสารช่วยผสม ผล TGA ชี้ให้เห็นว่าการเติม EDD หรือ MAPP ช่วยเพิ่มความเสถียรทางความร้อนของ PP/Sil คอมโพสิตขึ้นเล็กน้อย และจากงานวิจัยของ Y. Wang และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของแรงกระทำระหว่างผิวสัมผัสของการเกิดผลึก และสมบัติทางกลของคอมโพสิตระหว่าง PP และ nano CaCO_3 (PP/nano CaCO_3) โดยทำการศึกษาสารช่วย

ผสม 3 ชนิดได้แก่ PP-g-MA, Ethylene-octane graft maleic anhydride (POE-g-MA) และ Ethylene-vinyl acetate graft maleic anhydride (EVA-g-MA) ใช้หมู่ฟังก์ชันมีขั้วเหมือนกัน คือ Maleic anhydride (MA) ต่างกันที่สายโซ่หลัก แรงกระทำที่ผิวสัมผัสระหว่างสารช่วยผสมกับ nano CaCO_3 และสารช่วยผสมกับ PP แตกต่างกัน โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเกิดเป็นผลึก และสมบัติทางกลของ PP/nano CaCO_3 คอมโพสิตขึ้นอยู่กับแรงกระทำที่ผิวสัมผัส โดยเฉพาะแรงกระทำที่ผิวสัมผัสระหว่าง PP และสารช่วยผสม การผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดีระหว่าง PP กับ PP-g-MA ได้พัฒนาการกระจายตัวของ nano CaCO_3 ในเนื้อพอลิเมอร์ ผลของการเติม nano CaCO_3 ช่วยเพิ่มค่าทนต่อแรงดึง และสัดส่วนการทนต่อแรงดึง แต่ทำให้ลดค่าความทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิต การผสมเข้ากันได้บ้าง ระหว่าง PP กับ POE-g-MA มีผลเล็กน้อยในการเกิดเป็นผลึก และสมบัติทางกลของ PP/nano CaCO_3 คอมโพสิต และการผสมกันไม่ดีระหว่าง PP กับ EVA-g-MA เป็นผลทำให้การกระจายตัวของ nano CaCO_3 ไม่ดี ส่งผลถึงสมบัติทางกล นำไปสู่การลดค่าทนต่อแรงดึง สัดส่วนการทนต่อแรงดึง และค่าทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิต

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมีที่ใช้

2.1.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

เป็นพลาสติกชนิด Homopolymer Resin ผลิตจากบริษัท HMC Polymers จำกัด ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า MOPLEN เกรด HP 400K(6531) โดยมีค่า melt flow rate เท่ากับ 4 เดซิกรัมต่อนาที

2.1.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

PS ที่ใช้ในงานวิจัย ผลิตจากบริษัท IRPC จำกัด ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า PORENE โดยมีค่า melt flow rate เท่ากับ 8 กรัมต่อ 10 นาที

2.1.3 Polypropylene-graft-Maleic Anhydride (PP-g-MA)

PP-g-MA (Fusabond MZ-109D) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยผสมสังเคราะห์จากบริษัท Chemical Innovation จำกัด และมีค่า melt flow rate เท่ากับ 120 กรัมต่อ 10 นาที

2.1.4 พอลิสไตรีนมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Poly(Styrene Maleic Anhydride), SMA)

SMA ที่ใช้ในงานวิจัย ผลิตจากบริษัท Aldrich จำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลม มีสีขาว โดยมีค่า melt flow rate เท่ากับ 1.7 กรัมต่อ 10 นาที

2.1.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, PVA)

PVA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลิตมาจากบริษัท Ajax Finechem เกรด BF17W มีลักษณะเป็นผงสีขาว

2.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)

ZnO ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 71 nm ผลิตจากบริษัท Aldrich ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว

2.1.7 วานาเดียมเพนทอกไซด์ (Vanadium Pentoxide, V₂O₅)

V₂O₅ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 42 นาโนเมตร ผลิตจากบริษัท Fluka ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีส้ม

2.2 เครื่องมือที่ใช้

2.2.1 เครื่อง Twin screw extruder

ในการผสมเม็ดพอลิเมอร์กับฟลักโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรเพื่อเตรียมเป็นพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตนั้น จะใช้เครื่อง Twin screw extruder ทั้งในระบบที่มีและไม่มีสารช่วยผสม ด้วยเทคนิคการหลอมผสมโดยใช้เครื่อง Twin screw extruder สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูได้ ตัวเครื่องประกอบด้วยสกรูสองตัวทำให้สามารถควบคุมการผสมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตให้เข้ากันได้ดีขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของส่วนประกอบ มีการให้ความร้อนของเครื่อง Twin screw extruder กำหนดตามความยาวของสกรูโดยตัวให้ความร้อนไฟฟ้าในแต่ละโซน

2.2.2 เครื่อง Compression molding

เครื่อง Compression molding ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต ทั้งในระบบที่มีและไม่มีสารช่วยผสม โดยการใช้การอัดที่ความดันสูงและมีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมตามพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตแต่ละชนิด เครื่องอัดที่นิยมใช้ ได้แก่ เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก การขึ้นรูปเริ่มจากการนำเม็ดพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมาวางในแม่พิมพ์ที่ร้อน ปิดแบบแม่พิมพ์ อัดด้วยความร้อนและความดันภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด เม็ดพอลิเมอร์จะหลอมเหลวตามแบบแม่พิมพ์ หลังจากนั้นถอดออกจากแม่พิมพ์ จะได้ชิ้นงานตามต้องการ

2.2.3 เครื่อง Universal testing

การทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal testing เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงดึง (Tensile test) ซึ่งจะทำการทดสอบโดยนำชิ้นงานมาจับยึดด้วยหัวจับบนและหัวจับล่าง หัวจับบนติดตั้งไว้ที่ crosshead ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ด้วยกลไกการขับเคลื่อนภายในของเครื่องทดสอบ หัวจับล่างยึดติดตายตัวไว้ที่แท่นเครื่องด้านล่าง ในขณะที่ทำการทดสอบ ตัวอย่างทดสอบจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยความเร็วทดสอบที่กำหนดไว้ กล่าวคือวัสดุที่มีความแข็งแรงมากหรือใช้แรงดึงสูงๆจะใช้แรงดึงที่เข้าส่วนวัสดุที่มีความแข็งแรงปานกลางถึงน้อยจะใช้ความเร็วทดสอบเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำการดึงขึ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันกลไกในการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานในขณะที่ยืดตัวออกก็จะทำการแสดงผลและบันทึกค่าต่างๆเอาไว้

2.2.4 เครื่อง Pendulum impact tester

หลักการทำงานของเครื่อง Pendulum impact tester (Zwick/material testing August-Nagelstr.11.D-89079 Ulm Pendulum impact tester) มีดังนี้ คือ เมื่อปล่อยตุ้มน้ำหนักที่ทราบค่าที่แน่นอนให้เคลื่อนที่จาก ณ ความสูงที่กำหนด (ความสูงเริ่มต้น) มากระแทกชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดที่ต่ำที่สุดของการเหวี่ยง ในแนวเส้นโค้งครึ่งวงกลม หลังจากที่ถูกน้ำหนักกระแทกแล้วจะทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก จากนั้นตุ้มน้ำหนักจะสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ ซึ่งระยะความสูงที่ตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ไปนั้น จะถูกนำไปคำนวณหาค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก

2.2.5 เครื่องทำรอยบาก

เครื่องทำรอยบาก เครื่องที่ใช้ทำรอยบากบนชิ้นงานพอลิเมอร์ ก่อนนำไปทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

2.2.6 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

DSC เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาปริมาณความร้อน และการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของพอลิเมอร์ มีหลักการทำงานดังนี้ คือ สารตัวอย่าง และ สารอ้างอิงที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา ที่บรรจุในถ้วยอะลูมิเนียมขนาดเล็ก จะถูกให้ความร้อนในบรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจะถูกตรวจวัด และแปลผล

2.2.7 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)

ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยวัดการเปลี่ยนแปลงมวลสารเมื่อได้รับพลังงานความร้อน โดยในงานวิจัยในส่วนของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีการเติมสารช่วยผสม PP-g-MA ใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (Perkin - Elmer; TGA 7) และส่วนของ PVA/V₂O₅ นาโนคอมโพสิต ใช้เครื่อง Diamond TG/DTA Thermogravimetric/Differential Thermal Analyzer และส่วนของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีการเติมสารช่วยผสม SMA ใช้เครื่อง DSC - TGA Q SeriesTM instrument ช่วงอุณหภูมิที่ใช้วัดคือ อุณหภูมิห้อง จนถึง 600 °C และใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 °C/นาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน

2.2.8 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

เครื่อง SEM เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายตาประเภท กล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้

2.2.9 เครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

สมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ ได้มาด้วยการวัดความสามารถในการประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง และ 1 โวลต์ ด้วย Agilent E 4980A Precision LCR meter แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าใช้แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่จะทดสอบขนาด 1.5×1.5 ตารางเซนติเมตร

2.3 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต

2.3.1.1 การเตรียม PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MA

(1) นำเม็ดพอลิเมอร์ PP, PP-g-MA และ ZnO ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศ

(2) ชั่งน้ำหนักเม็ด PP และ ZnO เพื่อเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตโดยส่วนผสมมีความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 % โดยน้ำหนัก โดยไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MA

(3) นำส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนไปผสมกันด้วยเครื่อง Twin screw extruder ใช้ช่วงอุณหภูมิ 160-210 °C และความเร็วของสกรู 50 รอบต่อนาที ตัวอย่างพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่ออกมาจะตัดเป็นเม็ด

(4) หลังจากผสมจะทำการอบพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปขึ้นรูปด้วยวิธี Compression molding ที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นชิ้นงานรูป dumb-bell และ bars สำหรับทดสอบแรงดึงและการทนต่อแรงกระแทก

(5) การเตรียมเตรียม PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ที่มีสารช่วยผสม PP-g-MA จะเตรียมโดยวิธีเดียวกัน โดยใช้ความเข้มข้นของ PP-g-MA ที่ 1, 3, 5 % โดยน้ำหนัก

2.3.1.2 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบแรงดึงทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยใช้เครื่อง Universal testing (LR 50K, Lloyd instruments) และดึงด้วยความเร็ว 50.8 มิลลิเมตรต่อนาที การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบ Charpy ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่อง Pendulum impact tester (Zwick/material testing August-Nagelstr.11.D-89079 Ulm) ผลการทดลองจะใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่าง 5 ชิ้นงาน

3.2.2 การศึกษาผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและรูปแบบโครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต

3.2.2.1 การเตรียม PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มีสารช่วยผสม SMA

(1) นำเม็ด PS กับผง ZnO อนุภาคขนาด 71 และ 250 นาโนเมตร และ SMA ไปอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศ

(2) ผสมเม็ด PS กับผง ZnO ที่อบไล่ความชื้นแล้วด้วยเครื่อง Twin screw extruder โดยอัตราส่วนการผสม คือ 0, 0.5, 1, 3 และ 5 % โดยน้ำหนักของ ZnO อนุภาคขนาด 71 และ 250 นาโนเมตร ใช้ช่วงอุณหภูมิ 180-210 °C และความเร็วของสกรู 50 รอบต่อนาที เมื่อพอลิเมอร์นาโนคอมโพ

ลิตออกจากเครื่อง Twin screw extruder แล้วก็หล่อเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องลากผ่านเครื่องเป่าลมให้น้ำแห้งแล้วเข้าเครื่องตัดให้พอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตมีลักษณะเป็นเม็ด

(3) ผสมเม็ด PS กับผง SMA ที่อบไล่ความชื้นแล้วด้วยเครื่อง twin screw extruder โดยอัตราส่วนการผสม คือ 3 และ 5 %โดยน้ำหนักของ SMA

(4) ผสมเม็ด PS กับผง ZnO และ SMA ที่อบไล่ความชื้นแล้วด้วยเครื่อง Twin screw extruder โดยอัตราส่วนการผสม คือ 1, 3 และ 5 %โดยน้ำหนักของ ZnO อนุภาคขนาด 71 และ 250 นาโนเมตร โดยผสม SMA ที่ 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก

(5) หลังจากผสมจะทำการอบพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนนำไปขึ้นรูปด้วยวิธี Compression molding ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นชิ้นงานรูป bars สำหรับทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

3.2.2.2 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

นำชิ้นงานรูปที่เตรียมได้มาทำการทดสอบ ซึ่งก่อนการทำการทดสอบต้องวัดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานบริเวณที่จะรับแรงกระแทกด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ จากนั้นจึงนำไปทดสอบการทนแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต, PS/SMA คอมโพสิต และ PS/ZnO/SMA นาโนคอมโพสิตด้วยเครื่องทดสอบการทนแรงกระแทก โดยนำชิ้นงานวางบนแท่นรับแรงในแนวนอนโดยไม่มีการจับยึด ซึ่งชิ้นงานจะรับแรงกระแทกจากลูกตุ้ม

3.2.2.3 รูปแบบโครงสร้าง (Morphology)

การตรวจสอบรูปแบบโครงสร้างของชิ้นงาน จะนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทก แล้วนำมาเคลือบทอง จึงนำชิ้นงานมาส่องดูโครงสร้างด้วย SEM ภายใต้สุญญากาศใน Chamber 0.001 - 0.0001 มิลลิบาร์ ใช้สัญญาณในการจับภาพแบบ Secondary electron image ซึ่งจะส่องดูบริเวณที่เกิดการแตกหักจากการกระแทกด้วยลูกตุ้ม เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อของพอลิเมอร์

3.2.3 การศึกษาผลของ V_2O_5 ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของ PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต

3.2.3.1 การเตรียม PVA/ V_2O_5 นาโนคอมโพสิต

(1) ชั่งน้ำหนัก PVA และอนุภาคนาโนของ V_2O_5 เพื่อเตรียมเป็นพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต โดย V_2O_5 ที่เติมลงไปจะมีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 %โดยน้ำหนัก

(2) นำส่วนผสมของ PVA และ V_2O_5 ในแต่ละอัตราส่วนมาทำการผสมกัน โดยตัวทำละลายที่ใช้คือน้ำที่ปราศจากไอออน และใช้เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน ในการทำการผสม ที่อุณหภูมิ 90 °C และความเร็วยกวนในการกวน 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.2.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

- (1) เทสารละลายที่ได้จากการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตลงในแบบแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- (2) นำแบบแม่พิมพ์เข้าตู้อบเพื่อทำการไล่ตัวทำละลายออก ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- (3) นำแบบแม่พิมพ์ออกจากตู้อบ และทำการแกะแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตออกจากแบบ และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันความชื้น

3.2.3.3 การทดสอบสมบัติทางกล

- (1) การทดสอบแรงดึง โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตรและยาว 12 เซนติเมตร จากนั้นนำไปทดสอบโดยเครื่อง Universal testing
- (2) นำแผ่นฟิล์มไปจับกับหัวจับกับเครื่องทั้ง 2 ด้าน โดยให้มีระยะระหว่างหัวจับทั้งสองเป็น 10 เซนติเมตร ทำการปรับ Load ให้มีขนาด 20 นิวตัน
- (3) ทำการปรับอัตราเร็วที่ใช้ในการดึงให้มีค่าเท่ากับ 5.00 มิลลิเมตรต่อนาที
- (4) จากนั้นทำการเดินเครื่องโดยหัวจับทั้งสองจะทำการดึงแผ่นฟิล์มจนขาดออกจากกัน

3.2.3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

- (1) การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง DSC
 - ทำการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดเป็นชิ้นเล็กมากๆ (แบบฝอย)
 - นำแผ่นฟิล์มที่ตัดแล้วใส่ลงในพานเพื่อทำการอัด โดยแผ่นฟิล์มที่ใส่ไปในพานจะนั้นมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 3-5 มิลลิกรัม
 - นำพานไปใส่ในเครื่องทดสอบ และทำการใส่ข้อมูลของ น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม และช่วงของอุณหภูมิที่จะใช้ในการทดสอบคือ 50-250 °C ภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน

(2) การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง TGA

- ทำการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดเป็นชิ้นเล็กมากๆ (แบบฝอย)
- ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 นาทีภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน
- เพิ่มอุณหภูมิจาก 50 °C ไปจนถึง 600 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที
- เมื่อการทดสอบเสร็จก็ทำการบันทึกผล และกราฟที่ได้จากการทดลอง

3.2.3.5 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

- (1) ทำการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตรและยาว 1.5 เซนติเมตร
- (2) นำไปทดสอบความสามารถการนำไฟฟ้าของ PVA/V₂O₅ นาโนคอมโพสิต ด้วยเครื่อง

LCR Meter

3.2.3.6 การทดสอบการกระจายตัวของอนุภาค V_2O_5 ในเนื้อ PVA ด้วย SEM

- (1) ทำการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตรและยาว 1.5 เซนติเมตร
- (2) นำแผ่นฟิล์มที่ตัดแล้วไปเคลือบทองด้วยเครื่อง Sputter Coater 108 เป็นเวลา 2 นาที
- (3) จากนั้นนำชิ้นงานเข้าไปทดสอบเพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาค V_2O_5 ด้วย SEM และใช้สัญญาณในการจับภาพแบบ Back Scattered Electron Image (BEI) หรือ Primary Electron Image

บทที่ 3

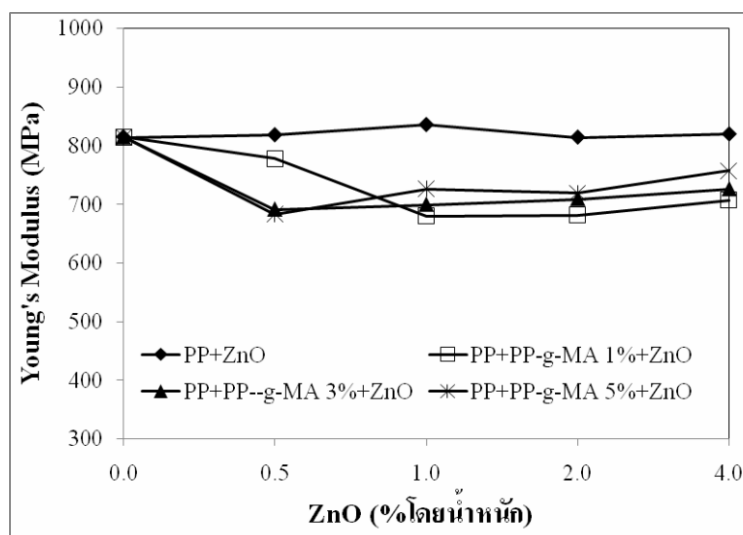
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลของสารช่วยผสม PP-g-MA ที่มีต่อสมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต

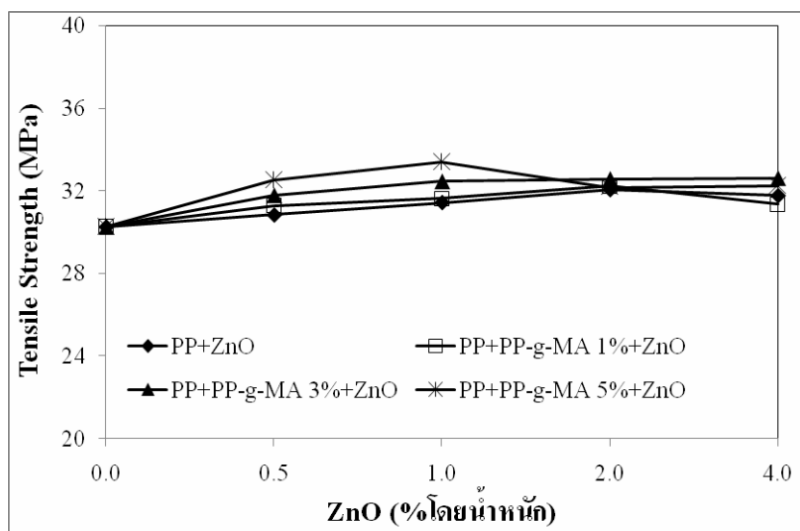
3.1.1 สมบัติทางกลของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MA

3.1.1.1 การทดสอบแรงดึง

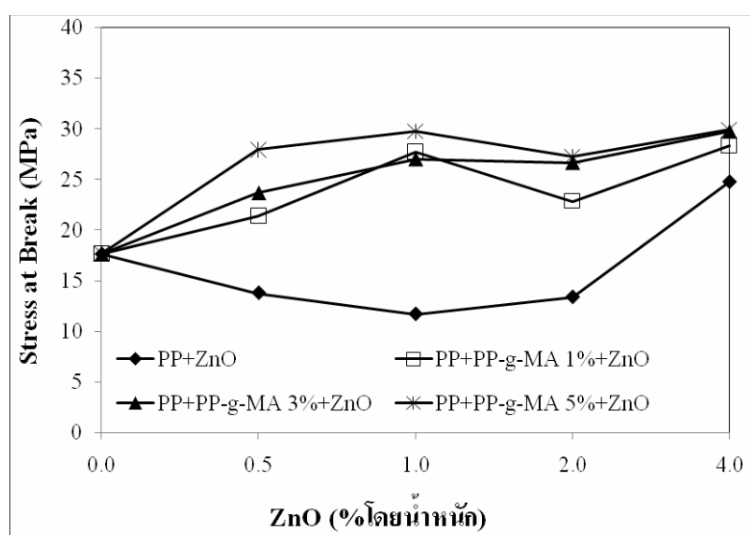
ค่า Young's modulus ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต แสดงในรูปที่ 3.1 พบว่าค่า Young's modulus ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตลดลงตามปริมาณการผสม PP-g-MA ที่เพิ่มขึ้น รูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า tensile strength และ stress at break พบว่าค่า tensile strength และ stress at break ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ ZnO และ PP-g-MA ที่ผสมมากขึ้น นอกจากนั้น PP/ZnO นาโนคอมโพสิตหลังจากการเติม PP-g-MA มีค่า stress at break สูงกว่า PP/ZnO นาโนคอมโพสิตที่ไม่มีการเติม PP-g-MA เนื่องจาก PP-g-MA สามารถปรับปรุงความสามารถการผสมเข้ากันได้และ interfacial area ของอนุภาค ZnO ขนาดนาโนเมตรและพอลิเมอร์ PP



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่างๆ



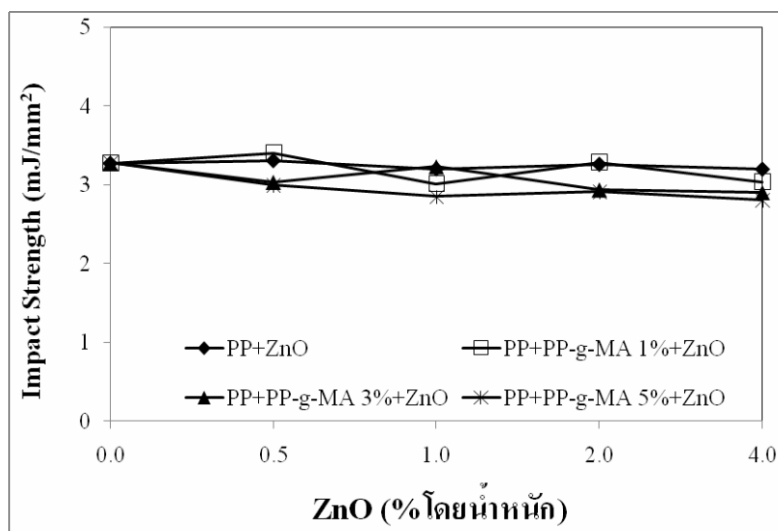
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า tensile strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า stress at break ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.1.1.2 การทดสอบแรงกระแทก

รูปที่ 3.4 แสดงค่า impact strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังการผสม PP-g-MA ที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่า impact strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิตไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเติม ZnO และค่า impact strength ลดลงตามปริมาณการผสม PP-g-MA ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength ของ PP/ZnO นาโนคอมโพสิต ก่อนและหลังจากผสม ZnO และ PP-g-MA ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.2 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและรูปแบบโครงสร้าง (Morphology) ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต

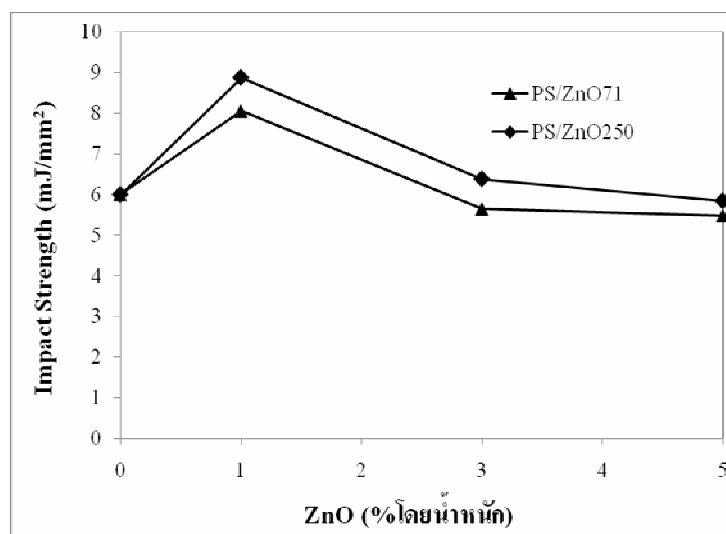
3.2.1 สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีสารช่วยผสม SMA

3.2.1.1 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 และ 250 นาโนเมตร ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต

จากรูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength กับปริมาณของ ZnO ขนาด 71 นาโนเมตร (ZnO71) ต่างๆ พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO71 นาโนคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นที่ ZnO71 เข้มข้น 1 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากการผสมอนุภาค ZnO71 ในปริมาณน้อยๆ มีการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอ ยังไม่เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากเหมือนกับที่ปริมาณ ZnO71 มากขึ้น จากนั้นค่า impact strength มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ ZnO71 ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาค ZnO71 เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนภายในเนื้อ PS ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปลดลง ทำให้ PS/ ZnO71 นาโนคอมโพสิต มีค่า impact strength น้อยลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากการศึกษาการกระจายตัว ดังจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.9

ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength กับปริมาณของ ZnO 250 นาโนเมตรต่างๆ จากรูปที่ 3.5 พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ปริมาณอนุภาค ZnO250 เข้มข้น 1 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากการผสมอนุภาค ZnO250 มีการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอ ยังไม่เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน แต่เมื่อปริมาณของ ZnO250 มากขึ้นค่า impact strength มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนภายในเนื้อ PS

ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปลดลง ทำให้ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิตสามารถต่อแรงกระแทกได้น้อยลง ดังจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.10



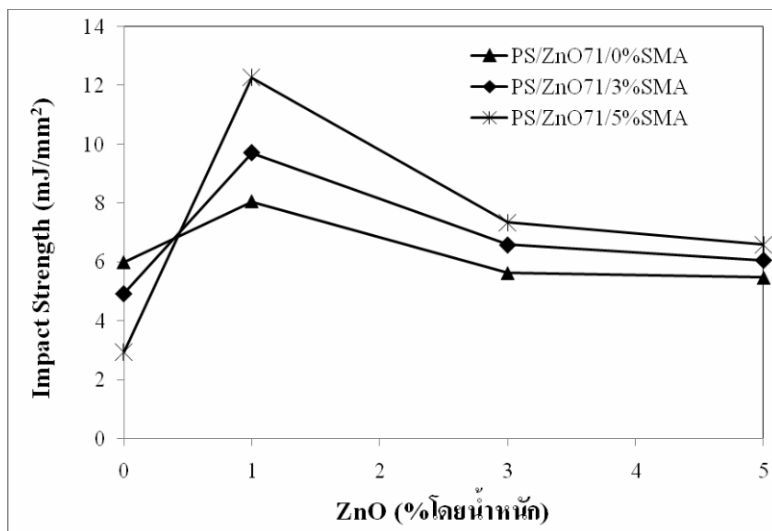
รูปที่ 3.5 ค่า impact strength ของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่อนุภาค ZnO มีขนาด 71 และ 250 นาโนเมตร

จากรูปที่ 3.5 เมื่อเปรียบเทียบขนาดของ ZnO ที่เติมลงใน PS/ZnO นาโนคอมโพสิต พบว่าเมื่อเติม ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร มีแนวโน้มของค่า impact strength ที่สูงกว่าการเติม ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร เนื่องจาก ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีแรงตึงผิวมากกว่า ทำให้เกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคที่มากกว่า ทำให้เกิดการจับตัวกันของอนุภาค ZnO ได้ง่ายกว่า

3.2.1.2 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต เมื่อใช้ ZnO ขนาด 71 นาโนเมตร

จากรูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength และปริมาณของ ZnO71 หลังจากที่ได้เติมสารช่วยผสม SMA ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO71/SMA นาโนคอมโพสิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ SMA ที่เพิ่มขึ้น และค่า impact strength ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมีค่ามากกว่าที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม โดยมีค่า impact strength มากสุดเมื่อมีปริมาณอนุภาค SMA เข้มข้น 5 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมสารช่วยผสม SMA ลงไปทำให้การกระจายตัวของ ZnO71 ในเนื้อของ PS มากขึ้น ไม่เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของผง ZnO71 ดังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.11 ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณ ZnO71 มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 1 %โดยน้ำหนักเท่านั้น เมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่า impact strength มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้น

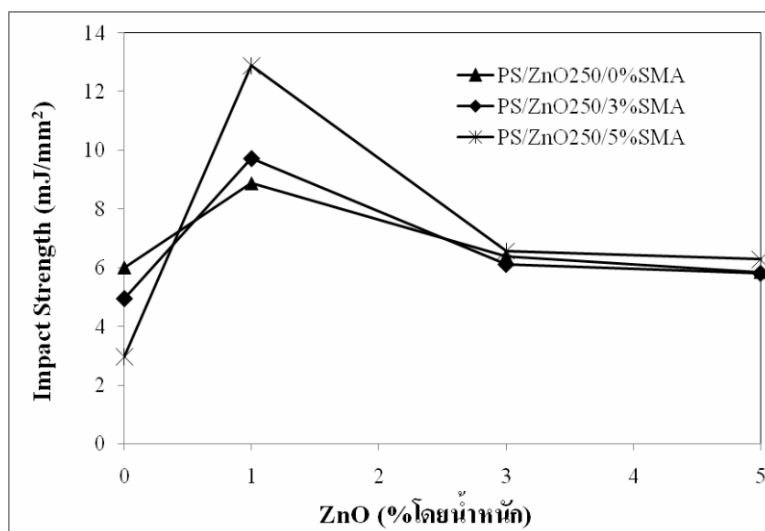
ที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณ ZnO71 มากขึ้น ทำให้อนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนภายในเนื้อ PS ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปลดลง ทำให้ PS/ZnO71 นาโนคอมโพสิตสามารถต่อแรงกระแทกได้น้อยลง และน้อยกว่าเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม SMA ลงไป



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่า impact strength ของ PS/ZnO71 นาโนคอมโพสิต เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก

3.2.1.3 ผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิต เมื่อใช้ ZnO ขนาด 250 นาโนเมตร

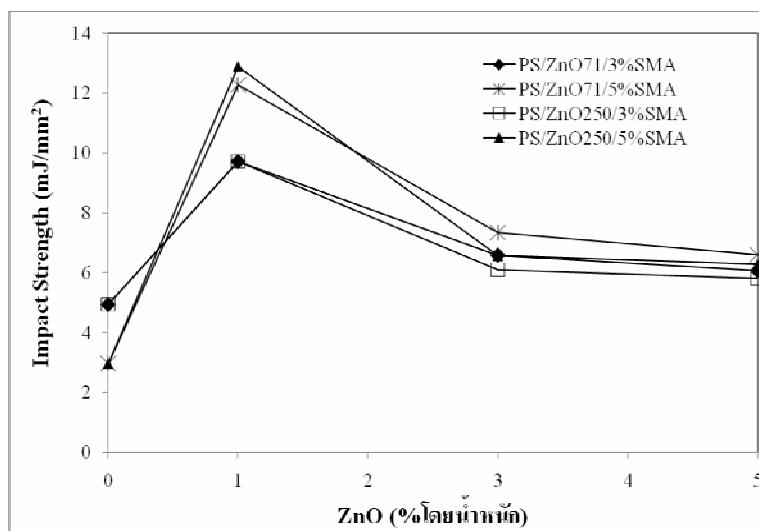
จากรูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength และปริมาณของ ZnO250 หลังจากเติมสารช่วยผสม SMA ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO250/SMA นาโนคอมโพสิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ SMA ที่เพิ่มขึ้น และค่า impact strength ของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมีค่ามากกว่าที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม โดยมีค่า impact strength มากสุดเมื่อมีปริมาณอนุภาค SMA เข้มข้น 5 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม SMA ลงไปทำให้การกระจายตัวของ ZnO250 ในเนื้อของ PS มากขึ้น ไม่เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของผง ZnO250 ดังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.12 ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณ ZnO250 มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 1 %โดยน้ำหนักเท่านั้น เมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่า impact strength มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณ ZnO250 มากขึ้น ทำให้อนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนภายในเนื้อ PS ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปลดลง ทำให้ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิตสามารถต่อแรงกระแทกได้น้อยลง และน้อยกว่าเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม SMA ลงไป



รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า impact strength ของ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก

3.2.1.4 เปรียบเทียบผลของสารช่วยผสม SMA ที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ PS/ZnO71 และ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต

จากรูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า impact strength และ PS/ZnO71 และ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต หลังจากที่เติมสารช่วยผสม SMA ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่า impact strength ของ PS/ZnO71/SMA และ PS/ZnO250/SMA นาโนคอมโพสิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ SMA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารช่วยผสม SMA ลงไปทำให้การกระจายตัวของ ZnO ในเนื้อของ PS มากขึ้น ไม่เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของผง ZnO ดังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ส่งผลให้พื้นที่การเสริมแรงของอนุภาคที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น เมื่อผสม SMA 3%โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า impact strength ของ PS/ZnO250/SMA นาโนคอมโพสิต มีค่าไม่แตกต่างกันกับ PS/ZnO71/SMA นาโนคอมโพสิต ในขณะที่ความเข้มข้นของ SMA 5 %โดยน้ำหนัก PS/ZnO250/SMA นาโนคอมโพสิต มีค่า impact strength สูงกว่า PS/ZnO71/SMA นาโนคอมโพสิต เนื่องจาก ZnO71 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าทำให้มีแรงตึงผิวมากกว่า ทำให้เกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคที่มากกว่า ทำให้เกิดการจับตัวกันของอนุภาค ZnO71 ได้ง่ายกว่าและทำให้มีค่า impact strength มากสุดเมื่อมีความเข้มข้นของ SMA 5 %โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า impact strength และ PS/ZnO71 และ PS/ZnO250 นาโนคอมโพสิต หลังจากที่ได้เติมสารช่วยผสม SMA ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %โดยน้ำหนัก

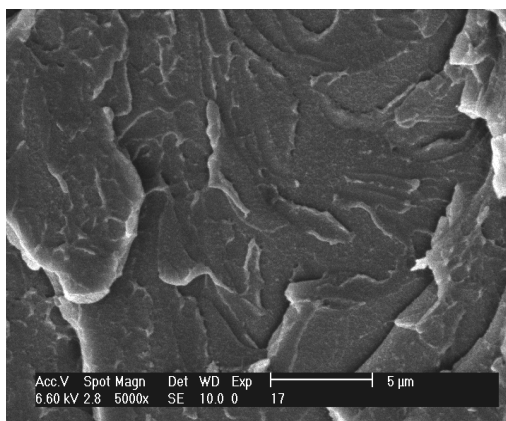
3.2.2 รูปแบบโครงสร้างของ PS/ZnO นาโนคอมโพสิตที่มีและไม่มีสารช่วยผสม SMA

3.2.2.1 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

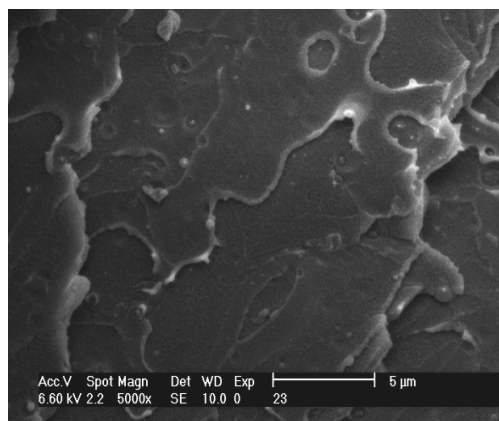
จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อ PS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าการกระจายตัวของอนุภาค ZnO มีการกระจายตัวที่ดีที่ความเข้มข้นของ ZnO น้อย แต่เมื่อมีความเข้มข้นของ ZnO มากขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อ PS ไม่ดี และอนุภาค ZnO เกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZnO ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณ ZnO มากขึ้น อนุภาค ZnO ก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายขึ้น ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกล ทำให้มีสมบัติทางกลที่แย่ลง

3.2.2.2 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 250 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อของ PS

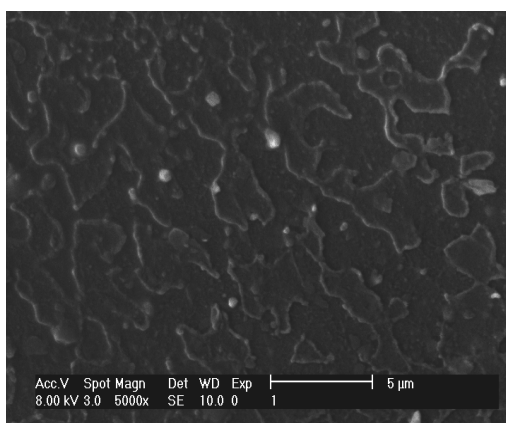
จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในเนื้อ PS พบว่าการกระจายตัวของอนุภาค ZnO มีการกระจายตัวที่ดีที่ความเข้มข้นของ ZnO น้อย แต่เมื่อมีความเข้มข้นของ ZnO มากขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาค ZnO ภายในเนื้อ PS ไม่ดี และอนุภาค ZnO เกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZnO ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณ ZnO มากขึ้น อนุภาค ZnO ก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายขึ้น ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกล ทำให้มีสมบัติทางกลที่แย่ลง



ก. PS



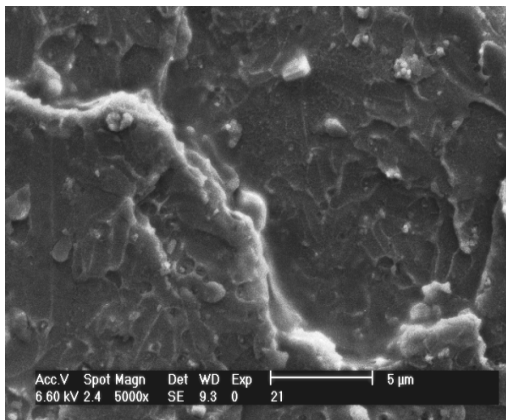
ข. PS/0.5%ZnO (71 nm)



ค. PS/1%ZnO (71 nm)



ง. PS/3%ZnO (71 nm)



จ. PS/5%ZnO (71 nm)

รูปที่ 3.9 ผลของปริมาณ ZnO ขนาดอนุภาค 71 นาโนเมตร ที่มีต่อการกระจายตัวของ ZnO ในเนื้อของ PS