บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรในพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตและการใช้สารสารเสริมสภาพเข้ากันได้ในพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

2.1 การใช้ผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรในพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

การใช้สารประกอบต่างๆ เพื่อผสมกับพอลิเมอร์นั้นในช่วงแรกจะเป็นการเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ต่อมาก็มีการศึกษาเพื่อใช้ในการปรับปรุงสมบัติด้านอื่นๆ ของพอลิเมอร์ด้วย ส่วนใหญ่ของงานวิจัยที่มีการศึกษาจะเป็นการศึกษาโดยใช้ polypropylene (PP) และ polyethylene (PE) ผสมกับ calcium carbonate ($CaCO_3$) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล [1-11] ซึ่งไม่สามารถเพิ่มได้ทุกสมบัติแต่จะเพิ่มได้เฉพาะบางอย่างในขณะที่สมบัติบางอย่างลดลงไป เช่น ความเหนียว, tensile strength และ modulus เป็นต้น ในขณะที่การศึกษาการใช้ผลึกโลหะออกไซด์มีน้อยมาก ที่พบจะเป็นการมีการศึกษาการปรับปรุง tensile strength ของ PP โดยใช้ silicon oxide (SiO_2) [12] ซึ่งพบว่า tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้นและมีการศึกษาการใช้ zinc oxide (ZnO) nanorods ในการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นไดโอดและส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงในขณะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำลง [13] และยังมีการใช้ ZnO ขนาดระดับนาโนผสมกับ polyurethane (PU) เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและการแยกเฟส [14] พบว่าค่า Young's modulus ลดลง 40% ค่า strain ลดลง 80% และค่า storage modulus ลดลง 50% แต่มี glass transition temperature (T_g) เพิ่มขึ้นประมาณ 10 °C ทำให้ทราบว่าการเติม ZnO จะเพิ่มอุณหภูมิการเกิดการแยกเฟสแต่สมบัติทางกลลดลง ต่อมามีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่มีสามองค์ประกอบซึ่งมีโลหะออกไซด์ของ SiO_2 อยู่ [15] และมีการศึกษาคุณลักษณะของ polystyrene (PS) และ ZnO ที่เตรียมโดยการละลาย ซึ่งถ้ามีปริมาณของ ZnO มี 5% โดยน้ำหนัก จะทำให้ T_g และโมดูลัสเพิ่มขึ้น [16]

Starkova และคณะ [17] ศึกษา long-term tensile creep ของ polyamide 66 และ polyamide 66 นาโนคอมโพสิตที่ผสม titanium dioxide (TiO_2) ขนาด 21 และ 300 nm ที่ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ Džunuzović และคณะ [18] 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) พบว่า T_g ของพอลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผสมอนุภาค TiO_2 ขนาดนาโนเมตรแต่ความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

2.2 การใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้ในพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้เพื่อช่วยในการผสมพอลิเมอร์และสารประกอบขนาดนาโนเมตร เช่น clay [19-27] เพื่อให้มีการกระจายตัวและการผสมเข้ากันได้ดีมากยิ่งขึ้น ในปี 2007 Yang และคณะ [28] ศึกษาผลของสารเสริมสภาพเข้ากันได้ที่มีต่อสมบัติทางกลและรูปแบบโครงสร้าง (morphology) ของคอมโพสิตระหว่าง PP และแกลบ โดยใช้ความเข้มข้นของแกลบที่ 10, 20, 30 และ 40%โดยน้ำหนัก และใช้ความเข้มข้นของสารเสริมสภาพเข้ากันได้ที่ 1, 3 และ 5%โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า tensile strengths ของคอมโพสิตลดลงตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้สามารถปรับปรุงสมบัติแรงดึงให้ดีขึ้น ส่วนค่า notched และ unnotched Izod impact strengths ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ และสารเสริมสภาพเข้ากันได้ส่งผลดีต่อพันธะระหว่างเฟส และงานวิจัยของ Guduri และคณะ [29] เตรียมนาโนคอมโพสิตของ ethylene vinyl acetate copolymer และ clay โดยใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้ 2 ชนิด คือ ethylene glycidyl methacrylate (EGMA) และ maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) พบว่า นาโนคอมโพสิตที่ผสมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ MAPP มีโครงสร้าง intercalated และ exfoliated บางส่วน ในขณะที่มีสารเสริมสภาพเข้ากันได้ EGMA มีโครงสร้าง exfoliated ที่สมบูรณ์ และนาโนคอมโพสิตที่ผสม EGMA มีความเสถียรทางความร้อนมากกว่านาโนคอมโพสิตที่ผสม MAPP ยิ่งกว่านั้น สมบัติทางกลและการซึมผ่านได้ของนาโนคอมโพสิตที่ผสม EGMA มีสมบัติที่ดีกว่านาโนคอมโพสิตที่ผสม MAPP ปี 2008 Kim และคณะ [30] เตรียมคอมโพสิตของ PMMA/multi-walled carbon nanotube (MWCNT) โดยใช้ poly(3-hexylthiophene) (P3HT)-graft-PMMA เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ จากผล Fluorescence emission และ Raman spectra พบว่า ส่วนของ P3HT ในสารเสริมสภาพเข้ากันได้มีปฏิกิริยาต่อกันอย่างมากกับพื้นผิวของ MWCNT การเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้มีผลทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของคอมโพสิต PMMA/MWCNT ซึ่งช่วยเพิ่มสมบัติทางกล ในขณะที่ คอมโพสิตที่ไม่ได้เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้แสดงให้เห็นถึงการรวมตัวเป็นก้อนของ MWCNT ในเนื้อ PMMA

การใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้เพื่อช่วยผสมผลึกโลหะออกไซด์ขนาดนาโนเมตรและพอลิเมอร์มีงานวิจัยของ Vladimirov และคณะ [31] ซึ่งเตรียม PP/fumed silica นาโนคอมโพสิตโดยใช้เครื่อง twin-screw co-rotating extruder และเลือกใช้ maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคนาโน จาก transmission electron microscopy (TEM) พบว่าการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคซิลิกามีขนาดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคซิลิกาจะสดลงเมื่อปริมาณของ PP-g-MA เพิ่มขึ้น และทำการวัดค่า storage modulus โดยใช้ DMTA พบว่าค่า storage modulus มีค่าสูงเมื่อปริมาณของซิลิกาสูงขึ้น ซึ่งทาให้พอลิเมอร์มีความแข็งขึ้น และการเติม PP-g-MA ทำให้ storage modulus มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการกระจายตัวของซิลิกาในเนื้อพอลิเมอร์ดีขึ้น