



สมบัติการนำความร้อนและสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนโบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต
THERMAL CONDUCTIVITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/BORON
NITRIDE/SILICON CARBIDE COMPOSITES

วรรณพร ชีววุฒิพงษ์ รอมฎอน บุระพา จักรนรินทร์ ฉัตรทอง และวรวงศ์ บุญช่วยแทน
หน่วยวิจัยเทคโนโลยีแปรรูปวัสดุ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการนำความร้อนและสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยการเติมสารเสริมแรงที่ผสมระหว่างโบรอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ จากผลการทดลองพบว่า การเติมสารเสริมแรงที่ผสมระหว่างโบรอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์มีนัยสำคัญต่อการเพิ่มสมบัติการนำความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมสารเสริมแรงเพียงชนิดหนึ่งชนิด เนื่องจาก การแทรกตัวของอนุภาคโบรอนไนไตรด์ระหว่างช่องว่างของอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นการเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของความร้อนและสร้างโครงข่ายการนำความร้อนในเนื้อวัสดุผสมพอลิโพรพิลีน แต่สมบัติเชิงกลพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิตมีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์คอมโพสิตและพอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต เนื่องจากการเกาะกลุ่ม (Aggregated) ของอนุภาคโบรอนไนไตรด์ที่กระจายในพอลิโพรพิลีน ส่งผลให้เกิดการสะสมความเครียดทำให้วัสดุเกิดการเสียรูปถาวร

คำสำคัญ: พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โบรอนไนไตรด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ การผสมสารเสริมแรง

ABSTRACT

The objective of this research was to study the properties of Polypropylene (PP) composites with combined Boron nitride (BN) and Silicon carbide (SiC) fillers. The result of this experiment showed that the combined fillers between Boron nitride and Silicon carbide had significantly on enhancing the thermal conductivity, when compared with embedded one type of filler because BN particles were inserted between the gap of SiC particles result in improving the thermal conductive pathway and creating conductive network in polypropylene composites. But mechanical properties of PP/BN/SiC composites were lower than PP/BN composites and PP/SiC composites due to, the aggregation of BN particles had an effect on increasing stress accumulation which occurred plastic deformation in materials.

KEYWORDS: Polypropylene composites, Boron nitride, Silicon carbide, Combined filler

1. บทนำ

วัสดุคอมโพสิตหรือวัสดุผสม (Composite materials) เป็นวัสดุที่เกิดจากการนำวัสดุมากกว่าสองชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันมาผสมกัน เกิดเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุเดิม เช่น ความแข็งแรง น้ำหนัก สมรรถนะที่อุณหภูมิสูง สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติการนำความร้อน เป็นต้น พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเนื้อพื้นของวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเนื้อพื้นจากเซรามิกส์และโลหะ ด้วยเหตุนี้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการดูดซับความร้อน (Thermal management) โดยเป็นวัสดุที่ใช้ในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้า เพื่อยืดอายุการใช้งานของวัสดุ โดยพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีสมบัติการนำความร้อนเหล่านี้ ถูกนำมาใช้ในระบบระบายความร้อน ชิปปอร์ด และแพคเกจ เป็นต้น วัสดุเสริมแรงที่เติมในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพื่อเพิ่มสมบัติการนำความร้อน เช่น โลหะ กราไฟต์ เพชร และอนุภาคเซรามิกส์ เป็นต้น วัสดุเนื้อพื้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มเทอร์โมพลาสติก จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การเติมสารเสริมแรงที่ผสมระหว่างสารเสริมแรงสองชนิด คือ โบรอนไนไตรด์/มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวป์ (Boron nitride/Multiwall carbon nanotube) ในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต (Polypropylene composites) เป็นการเพิ่มสมบัติการนำความร้อนและสมบัติความแข็งแรงแรงดึง (Tensile strength) แต่ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexible strength) ลดลงเนื่องจากเกิดการเกาะกลุ่มของสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ [1] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเพิ่มสมบัติการนำความร้อนและรักษาความเป็นฉนวนไฟฟ้าของพอลิเอไมด์คอมโพสิตโดยการเติมเส้นลวดนาโน (Nanowires) จากซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นโครงสร้างระบบ 1 มิติ ผสมกับแผ่นกราฟีน (Graphene sheet) เป็นโครงสร้างระบบ 2 มิติ จากผลการทดลองพบว่าพอลิเอไมด์คอมโพสิตมีค่าการนำความร้อน ค่ามอดูลัสสะสม มอดูลัสของยัง มากกว่าพอลิเอไมด์ [2] การศึกษาการเติมสารเสริมแรงโบรอนไนไตรด์ที่ผสมระหว่างอนุภาครูปปร่างแบบวิสเกอร์และแบบเกาะกลุ่มหรือแอกริเกต (Aggregated) ในอีพ็อกซีเรซิน (Epoxy resin) พบว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) และค่ามอดูลัสสะสม (Storage modulus) เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนผสม แอกริเกต:วิสเกอร์ = 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อนสูงสุด เพราะสารเสริมแรงที่อัตราส่วนนี้มีการจัดเรียงตัวหนาแน่นที่สุด เป็นการเพิ่มโครงข่ายในการนำความร้อน (Conductive network) [3] พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผสมสารเสริมแรงมากกว่าสองชนิด ที่มีชนิด รูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกันมีนัยสำคัญต่อการปรับปรุงสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เติมสารเสริมแรงชนิดเดียว [4-5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต ที่เติมด้วยสารเสริมแรงที่มีสมบัติการนำความร้อนคือโบรอนไนไตรด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยศึกษาปัจจัยของการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียวและการผสมระหว่างสารเสริมแรงสองชนิด ทำการผสมพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตด้วยกระบวนการหลอมคอมปาวด์ (Melt compounding) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติการนำความร้อนและสมบัติทางกลของวัสดุ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติการนำความร้อนและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต (Polypropylene, PP) โดยการเติมสารเสริมแรงจากอนุภาคเซรามิกส์ ประกอบด้วย โบรอนไนไตรด์ (Boron nitride, BN) โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย 16-20 ไมครอน และซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide, SiC) ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย 37

ไมครอน โดยการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว ที่ปริมาณ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) และ ที่ปริมาณ 30 wt% ของสารเสริมแรง BN/SiC ทำการศึกษาอัตราส่วนผสม (BN:SiC) คือ 100:0 20:80 40:60 50:50 60:40 80:20 และ 0:100 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ

	คุณสมบัติของวัสดุ
พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)	อุณหภูมิการผสม 190-240 °C โคลิโพลิเมอร์แบบบล็อก (Block Copolymer) ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt flow index, MFI) 15 g./10 min. เป็นฉนวนความร้อนที่ดี
ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide)	ความหนาแน่น 3.22 g/cm ³ จุดหลอมเหลว 2,700 °C โครงสร้างแบบหกเหลี่ยม ก้อนอล ลักษณะเป็นผงสีเทา มีสมบัติการนำความร้อนสูง
โบรอนไนไตรด์ (Boron nitride)	ความหนาแน่น 2.29 g/cm ³ จุดหลอมเหลว 3,000 °C โครงสร้างแบบหกเหลี่ยม ก้อนอล (Hexagonal Boron Nitride, hBN) ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว มีสมบัติการนำความร้อนสูง

นำพอลิโพรพิลีน โบรอนไนไตรด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นนำวัสดุมาผสมด้วยผ่านกระบวนการหลอมคอมปาวด์ (Melt compounding) ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 200 °C หลังจากนั้นนำพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต ไปขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบด้วยกระบวนการอัดรีด (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 180 °C

2.2 วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และโครงสร้างอณูของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน โบรอนไนไตรด์และ/หรือซิลิกอนคาร์ไบด์ ประกอบด้วย

ทดสอบสมบัติการนำความร้อน ด้วยเครื่อง Thermal constant analyser (TCA) รุ่น TPS2500S ของ Hot disk จากประเทศสวีเดน ตัวอย่างทดสอบเป็นแผ่นฟิล์มที่ผ่านการอัดด้วยความร้อน การทดลองนี้ตั้งสมมติฐานว่าการจัดเรียงตัวสารเสริมแรงเป็นแบบสุ่ม

ทดสอบสมบัติทางกล ด้วยการทดสอบความต้านทานแรงดึงทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง และทำการเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM 638 โดยกำหนดอัตราเร็วในการดึง 2 mm/min

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscopy, SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของโบรอนไนไตรด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ และโบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ (BN/SiC) พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุ

ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) ของ Perkin Elmer จากประเทศสหรัฐอเมริกา ทำการทดสอบโดยให้ความร้อนจาก 25-200 °C ที่อัตรา 10 °C/min

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการทดลองสมบัติการนำความร้อน

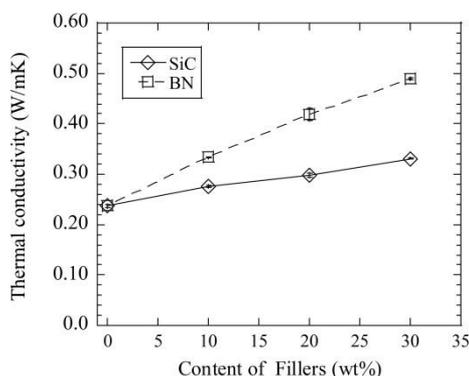
ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติที่แสดงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุจากบริเวณที่มีความร้อนสู่บริเวณที่อุณหภูมิต่ำ

นิยามในรูปสมการ

$$q = -k \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

ซึ่ง q คือฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) หรือความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาต่อพื้นที่ (พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล) k คือค่าการนำความร้อน และ $\frac{dT}{dx}$ คือการกระจายหรือความแตกต่างอุณหภูมิตลอดตัวกลางที่นำความร้อน หน่วยของ q และ k คือ W/m^2 และ W/mK ตามลำดับ

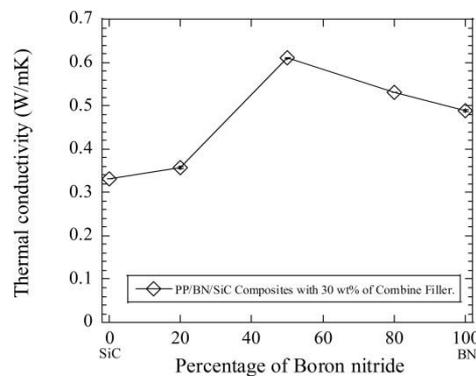
จากรูปที่ 1 แสดงสมบัติการนำความร้อนของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว คือ โบรอนไนไตรด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่ปริมาณ 0 10 20 และ 30 wt% จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเสริมแรงโบรอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยค่าการนำความร้อนของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์คอมโพสิตมากกว่าพอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิตที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน และพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เติมสารเสริมแรง 10 wt% ของโบรอนไนไตรด์ มีค่าการนำความร้อนมากกว่าที่เติมสารเสริมแรง 30 wt% ของซิลิกอนคาร์ไบด์ วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนมากที่สุดที่เติมสารเสริมแรงชนิดเดียว คือ พอลิโพรพิลีน/ 30 wt% โบรอนไนไตรด์คอมโพสิต เท่ากับ 0.490 W/mK (อัตราการเพิ่มขึ้น 106.3% จากพอลิโพรพิลีน)



รูปที่ 1 ค่าการนำความร้อนของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว คือ โบรอนไนไตรด์ (BN) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ที่อัตราส่วนต่างๆ

ค่าการนำความร้อนของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตโดยการผสมสารเสริมแรง 2 ชนิด ระหว่างโบรอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ แสดงในรูปที่ 2 โดยทำการเติม 30 wt% ของสารเสริมแรง ที่อัตราส่วน BN:SiC = 0:100 20:80 50:50 80:20 และ 100:0 จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำความร้อนมากที่สุดคือ 0.610 W/mK (อัตราการเพิ่มขึ้น 157.1% จากพอลิโพรพิลีน) ที่อัตราส่วน

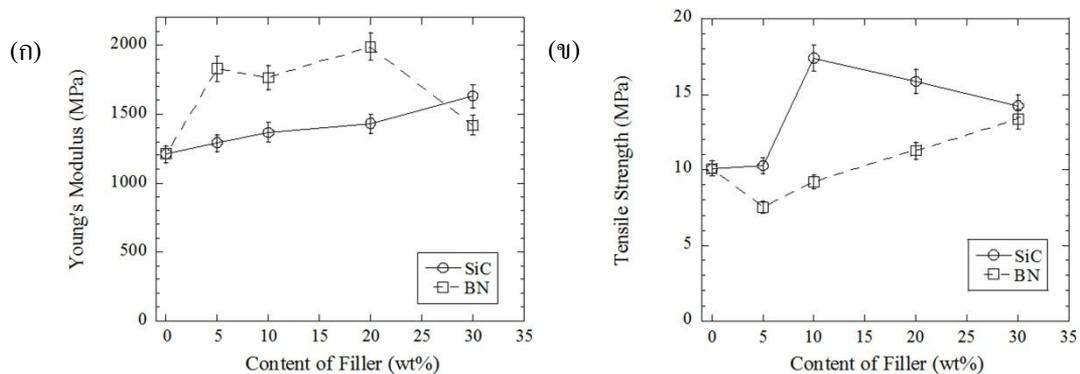
BN:SiC= 50:50 (PP/15wt%BN/15wt%SiC) ค่าการนำความร้อนมากเป็นอันดับที่ 2 ที่อัตราส่วน BN:SiC= 80:20 (PP/24wt%BN/6wt%SiC) และค่าการนำความร้อนมากเป็นอันดับที่ 3 ที่อัตราส่วน BN:SiC= 100:0 (PP/30wt%BN) ตามลำดับ พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เติมโบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีค่าการนำความร้อนมากกว่าพอลิโพรพิลีน/30wt%ซิลิกอนคาร์ไบด์ และที่อัตราส่วน BN:SiC = 50:50 และ 80:20 มีค่าการนำความร้อนมากกว่าพอลิโพรพิลีน/30wt%โบรอนไนไตรด์คอมโพสิต แสดงว่าการผสมกันระหว่างสารเสริมแรงสองชนิดมีผลต่อการเพิ่มสมบัติการนำความร้อนของวัสดุมากกว่าการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว



รูปที่ 2 ค่าการนำความร้อนของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต โดยการเติมสารเสริมแรง 30 wt% โดยการผสมที่อัตราส่วน BN:SiC

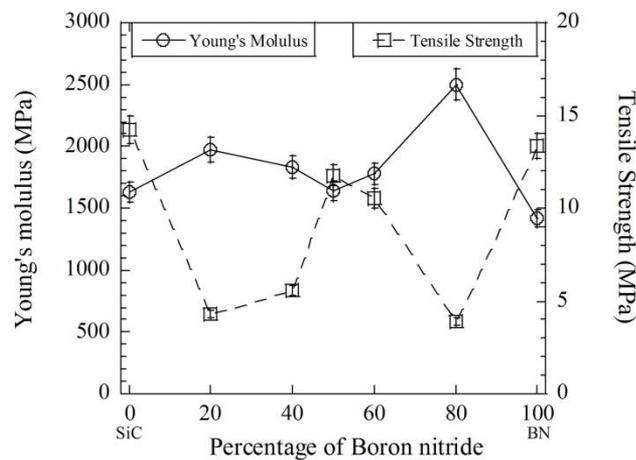
3.2 ผลการทดลองสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุในงานวิจัยนี้คือการทดสอบแรงดึง (Tensile test) โดยใช้ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D638 สำหรับการหาสมบัติแรงดึงของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง



รูปที่ 3 สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว คือ โบรอนไนไตรด์ (BN) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) (ก) มอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และ (ข) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากรูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตโดยเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว คือ โบรอนไนไตรด์ (BN) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) พบว่าเมื่อปริมาณสารเสริมแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มอดูลัสของยังและความแข็งแรงดึงของวัสดุเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองมอดูลัสของยังมากที่สุด คือ 20 wt% ของโบรอนไนไตรด์ (1,989 MPa, อัตราการเพิ่มขึ้น 64.79% จากพอลิโพรพิลีน) และ ความแข็งแรงดึงมากที่สุด คือ 10 wt% ของซิลิกอนคาร์ไบด์ (14.23 MPa, อัตราการเพิ่มขึ้น 41.31% จากพอลิโพรพิลีน)

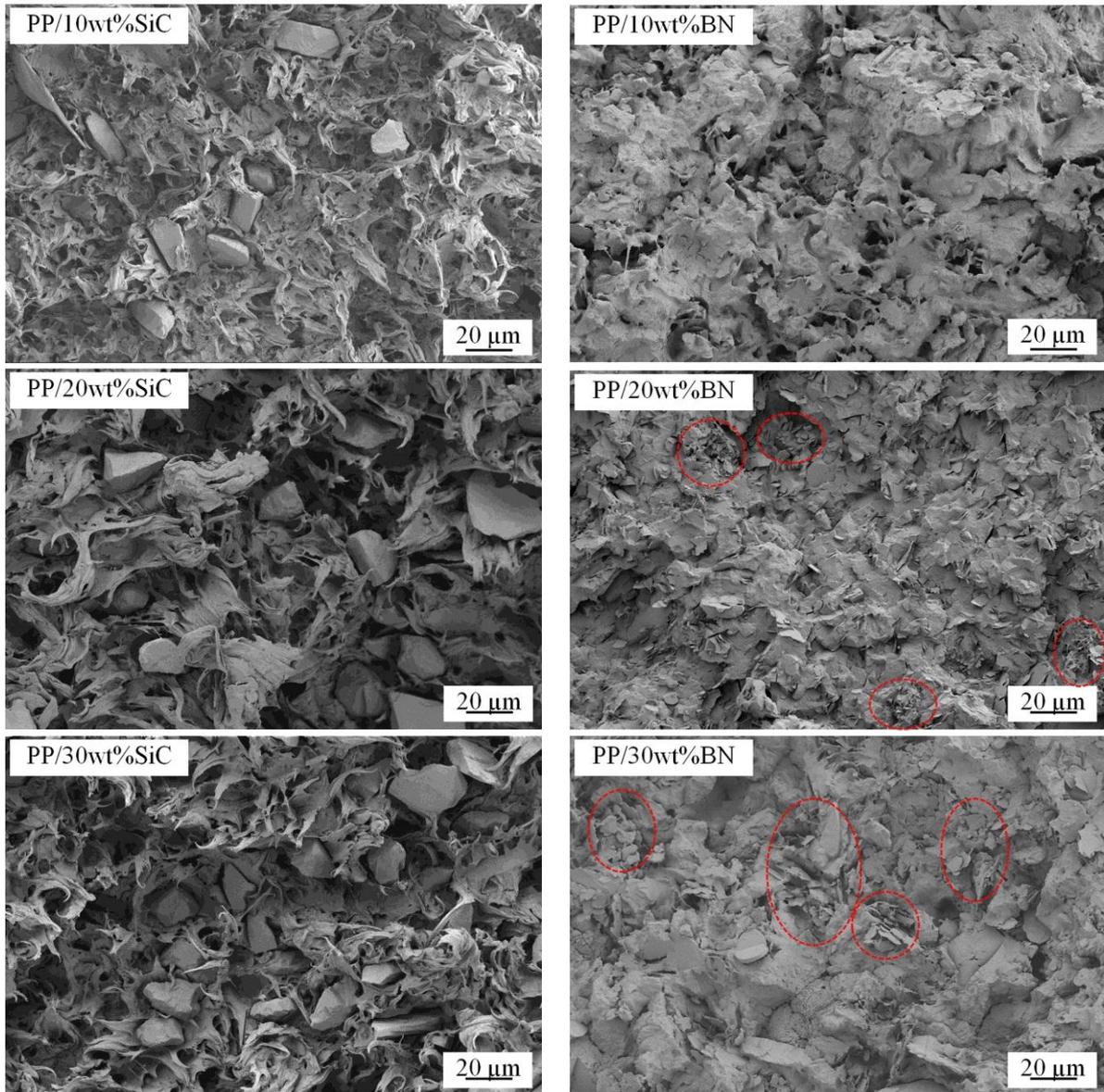


รูปที่ 4 สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต ที่ 30 wt% ของสารเสริมแรง โดยการผสมที่อัตราส่วน BN:SiC

จากรูปที่ 4 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต โดยการเติมสารเสริมแรง 30 wt% ที่อัตราส่วน BN:SiC = 0:100 20:80 40:60 50:50 60:40 80:20 และ 100:0 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การผสมสารเสริมแรงสองชนิดมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยค่ามอดูลัสของยังเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียว แต่การผสมสารเสริมแรง โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงของวัสดุลดลง

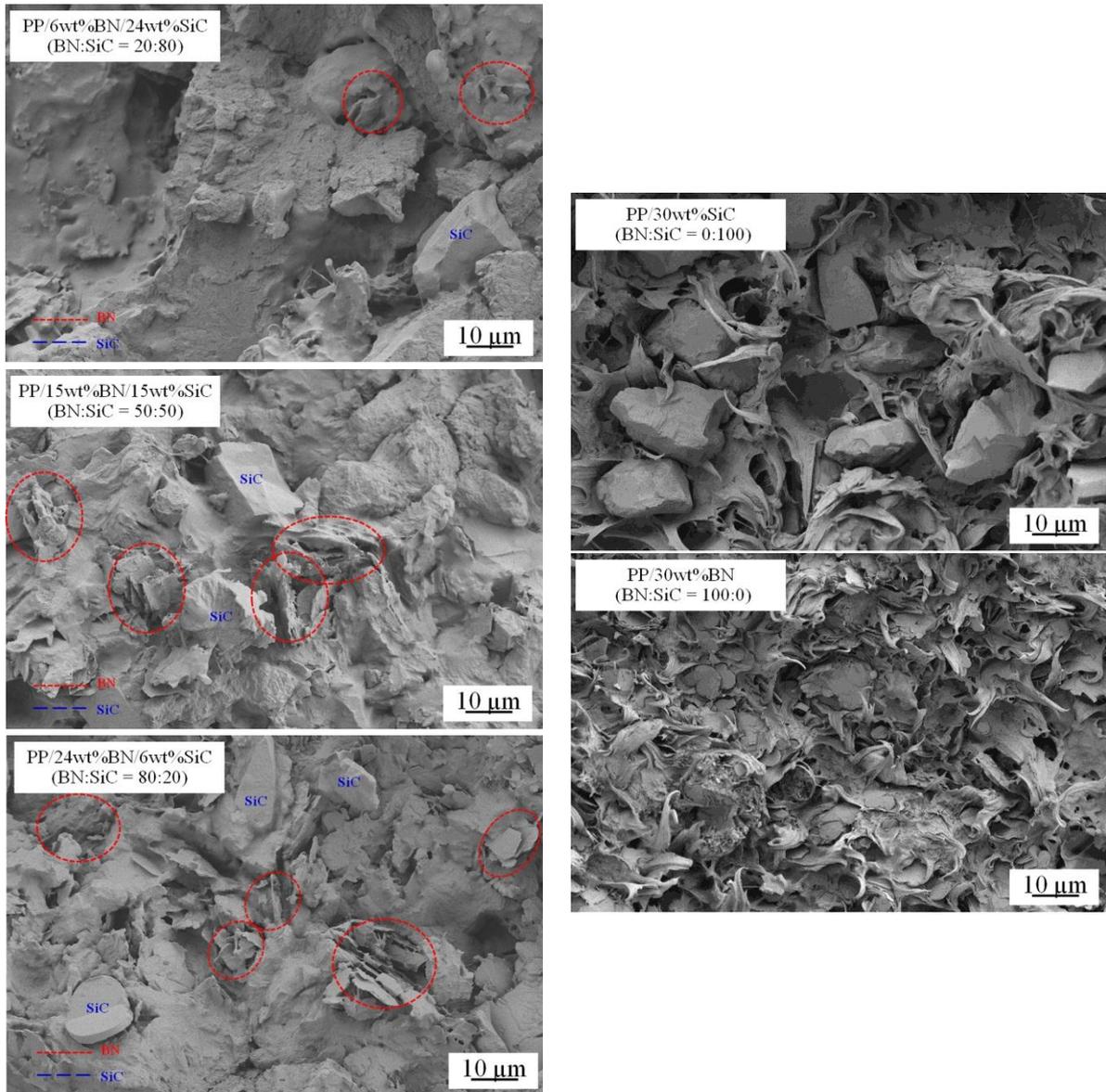
3.3 โครงสร้างอัญฐานของวัสดุด้วย SEM

ลักษณะการกระจายตัวของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์คอมโพสิตและพอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต ที่ ปริมาณสารเสริมแรง 10 20 และ 30 wt% แสดงในรูปที่ 5 พบว่า พอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์คอมโพสิตมีกระจายตัวดีกว่าพอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิตที่ปริมาณสารเสริมแรงเดียวกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงส่งผลให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคลดลง และมีการจัดเรียงตัวหนาแน่นขึ้น นอกจากนี้บางบริเวณเกิดการเกาะกลุ่ม (Aggregation) ของอนุภาคในเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 5 โครงสร้างอสังฐานของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตโดยเติมสารเสริมแรงชนิดเดียวคือโบรอนไนไตรด์ (BN) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)

จากรูปที่ 6 พอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต ที่ 30 wt% ของสารเสริมแรง แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของโบรอนไนไตรด์แทรกตัวบริเวณช่องว่างระหว่างอนุภาคของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า และเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน (Aggregate) อนุภาคโบรอนไนไตรด์ โดยขนาดของก้อนแอกกรีเกตของโบรอนไนไตรด์มีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของโบรอนไนไตรด์ สามารถอธิบายถึงความเชื่อมโยงระหว่างลักษณะการกระจายตัวของสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต พบว่าการเกิดก้อนแอกกรีเกตมีผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุ แต่ในทางตรงข้ามเป็นการเพิ่มสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ โดยการเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่และสร้างโครงข่ายการนำความร้อนในเนื้อพอลิโพรพิลีนนั่นเอง



รูปที่ 6 โครงสร้างอสังฐานของพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิตโดยการเติม 30 wt% ของสารเสริมแรง ที่อัตราส่วน BN:SiC

3.4 ผลการทดลองด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) และค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลว (Enthalpy of melting, ΔH_m) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตแสดงในตารางที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิโพรพิลีน อยู่ที่ 168 °C และค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลว (Enthalpy of melting, ΔH_m) อยู่ที่ 78.41 J/g เมื่อเติมสารเสริมแรงโบรอนไนไตรด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ และโบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ ส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลวและค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวลดลง เนื่องจากพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เติมสารเสริมแรงโบรอนไนไตรด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ และโบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีลักษณะเป็นเนื้อ

ผสมที่ไม่เข้ากัน (Heterogeneous mixture) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างพื้นผิวของสารเสริมแรงเซรามิกส์และเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน ส่งผลให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตลดลงเพราะพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 2 สมบัติทางความร้อนของ พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยการเติมเสริมแรงโบรอนไนไตรด์ (BN) ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และ โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ (BN/SiC)

No.	Sample	Type Fillers	Total Content of Fillers (wt%)	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)
1	Neat PP	No	0	168.33	78.41
2	PP10%SiC	SiC	10	166.50	70.31
3	PP10%BN	BN	10	165.80	73.31
4	PP30%SiC	SiC	30	165.50	51.40
5	PP30%BN	BN	30	164.00	52.32
6	PP6%BN24%SiC (BN:SiC = 20: 80)	BN/SiC	30	162.17	49.93
7	PP15%BN15%SiC (BN:SiC = 50: 50)		30	168.00	58.39
8	PP24%BN6%SiC (BN:SiC = 80: 20)		30	161.33	51.47

4. สรุป

จากผลการทดลองพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต โดยการเติมสารเสริมแรงชนิดเดียวพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มสมบัติการนำความร้อน และสมบัติทางกลคือชนิดและปริมาณของสารเสริมแรง โดยพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เติมโบรอนไนไตรด์แสดงค่าการนำความร้อนและมอดูลัสของยังมากกว่าพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เติมซิลิกอนคาร์ไบด์ เนื่องจากอนุภาคโบรอนไนไตรด์มีการกระจายตัวทั่วถึงในเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน โดยระยะห่างระหว่างอนุภาคโบรอนไนไตรด์น้อยกว่าอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อัตราส่วนเดียวกัน ทำให้เป็นการเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermal conductive pathway) รวมทั้งเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับแรงของวัสดุในช่วงอีลาสติก แต่การเกิดการเกาะกลุ่ม (Aggregated) ของอนุภาคโบรอนไนไตรด์ ก่อให้เกิดความเครียดสะสมทำให้เกิดการเสียรูปถาวร เป็นผลให้ความแข็งแรงน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์คอมโพสิต ซึ่งอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพอลิเมอร์และไม่มีการเกาะกลุ่ม

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเติมสารเสริมแรง 2 ชนิด ระหว่างโบรอนไนไตรด์กับซิลิกอนคาร์ไบด์ พบว่าอนุภาคของโบรอนไนไตรด์แทรกบริเวณช่องว่างระหว่างอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ ทำให้ระยะห่างของอนุภาคของสารเสริมแรงลดลง เป็นการเพิ่มโครงข่ายและเส้นทางการนำความร้อนในเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน แต่การผสมสารเสริมแรงโบรอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าสารเสริมแรงเกิดการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดก้อนแอกกรีเกตกระจายในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต มีผลทำให้สมบัติเชิงกลคือมอดูลัสของยังและความแข็งแรงดิ่งลดลง จากการเกิดการสะสมของความเครียดที่บริเวณมีวัสดุเกิดการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอนั่นเอง

เนื่องด้วยพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์ พอลิโพรพิลีน/ซิลิกอนคาร์ไบด์ และพอลิโพรพิลีน/โบรอนไนไตรด์/ซิลิกอนคาร์ไบด์ คอมโพสิต เป็นการผสมระหว่างวัสดุสองชนิดที่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นผิว คือพอลิเมอร์และสารเสริมแรงเซรามิกส์เกิดเป็น วัสดุเนื้อผสมที่ไม่เข้ากัน (Heterogeneous mixture) ส่งผลให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวและค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวของ พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และได้รับความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nurul, M.S., Mariatti, M. (2013). Effect of hybrid nanofillers on the thermal, mechanical, and physical properties of polypropylene composites, *Polymer Bulletin*, vol. 70, pp. 871-884.
- [2] Wen, D., Jinhong, Y., Zhiduo, L., Yi, W., Yingze, S., Jilei, L., Hua, B., Kazuhito, N. and Nan, J. (2015). Enhanced thermal conductivity and retained electrical insulation for polyimide composites with SiC nanowires grown on graphene hybrid fillers, *Composites: Part A*, vol. 76, pp. 73-81.
- [3] Kiho, K., Myeongjin, K. and Jooheon, K. (2014). Thermal and mechanical properties of epoxy composites with a binary particle filler system consisting of aggregated and whisker type boron nitride particles, *Composites Science and Technology*, vol. 103, pp. 72-77.
- [4] Robert, S., Beate, K., Sylvia, H., Roland, W., and Petra, P. (2011). Electrical and thermal properties of polyamide 12 composites with hybrid fillers systems of multiwalled carbon nanotubes and carbon black, *Composites Science and Technology*, vol. 71(8), pp. 1053- 1059.
- [5] Kiho, K., and Jooheon, K. (2016). BN-MWCNT/PPS core-shell structured composite for high thermal conductivity with electrical insulating via particle coating, *Polymer*, vol. 101, pp. 168-175.