

การเตรียมแผ่นนาโนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบบของการเติม
แผ่นนาโนในโพลีพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกล

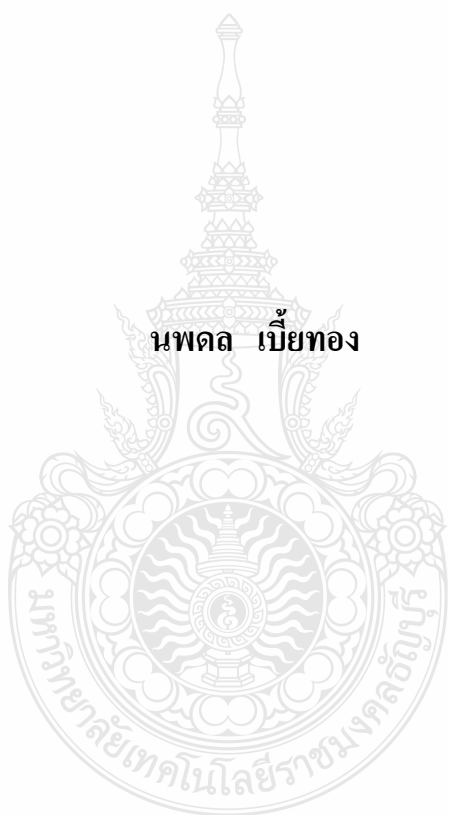
**HYDROTHERMAL PREPARATION OF NANOPATES AND
EFFECT OF NANOPATES ADDITION IN POLYPROPYLENE ON
MECHANICAL PROPERTIES**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษาที่ 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเตรียมแผ่นนาโนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบของการเติม
แผ่นนาโนในโพลีพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกล

นพดล เบี้ยทอง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษาที่ 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมแผ่นนาโนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบของการเติมแผ่นนาโนในโพลีโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกล
ชื่อ-นามสกุล	นายนพดล เบี้ยทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ต่อสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการเตรียมแผ่นนาโน (Nanoplate) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและผลิตขึ้นโดยฝีมือคนไทยและศึกษาถึงผลกระทบของการเติมแผ่นนาโนที่เตรียมได้ในโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดงานฉีดต่อสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติการลามไฟ

วัสดุแผ่นนาโนสามารถเตรียมโดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำวัสดุที่สังเคราะห์ได้มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ลักษณะ รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) จากนั้นนำแผ่นนาโน MgO ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับโพลีโพรพิลีนที่อัตราส่วน 0.1, 0.5 และ 1.0% และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength, ASTM D638) ค่าความแข็งของวัสดุ (ASTM D2240) ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength, ASTM D256) และสมบัติการลามไฟ (Flammability, UL-94HB)

ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าวัสดุที่ได้หลังจากการสังเคราะห์มีลักษณะรูปร่างแบบแผ่นนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 นาโนเมตร ยาว 90 นาโนเมตร และหนา 15 นาโนเมตร โดยประมาณ เมื่อนำมาเติมลงในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงมากนัก ค่าความแข็งของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ซึ่งการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงกว่าแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์ และผลการทดสอบอัตราการลามไฟพบว่า การเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟลดลงตามปริมาณการผสมที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แมกนีเซียมออกไซด์ โพลีโพรพิลีน ไฮโดรเทอร์มอล แผ่นนาโน

Thesis Title	Hydrothermal Preparation of Nanoplates and Effect of Nanoplates Addition in Polypropylene on Mechanical Properties
Name-Surname	Mr. Nophadon Biathong
Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sirichai Torsakul
Thesis Co-Advisor	Dr. Sorapong Pavasupree
Academic Year	2011

ABSTRACT

The aims of this thesis were to study the preparation of magnesium oxide (MgO) nanoplates by hydrothermal method using autoclave unit which was designed and manufactured in Thailand and to study the effect of nanoplates content on some mechanical properties and flammability of injection-graded polypropylene.

Nanoplates were synthesized by hydrothermal method at 150 °C for 24 hours. The prepared nanoplates were calcined in air at 450 °C for 3 hours. The prepared nanostructured materials were characterized by scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) and X-Ray diffraction (XRD). The prepared nanoplates were mixed with polypropylene at the ratio of 0.1, 0.5 and 1.0%. Mechanical properties of mixed samples were tested including tensile strength (ASTM D638), the material hardness (ASTM D2240) and impact strength (ASTM D256). Flammability of the specimens were tested according to UL-94HB.

Results of the study found that the size of the prepared nanoplates was approximately 80 nm in width, 90 nm in length and 15 nm in thickness. No significant effect of MgO addition on tensile strength was observed. Marginal increasing in hardness of the mixed samples was found with addition of MgO. Impact strength of the prepared nano-MgO addition in the PP was higher than the commercial grade nano-MgO addition. It also showed that nano-MgO addition can reduce flammability of polypropylene.

Keywords : magnesium oxide, polypropylene, hydrothermal, nanoplates

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ศิริชัย ต่อสกุล อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ ดร. สรพงษ์ ภาวสุปรีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือในงานด้านต่างๆ ทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ เพิ่มทักษะการทำงานและตรวจแก้จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ตลอดจนหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความความอนุเคราะห์ ดังนี้

- คณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย
- ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ ใช้เครื่องวิเคราะห์ TEM และ XRD

- ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือ เครื่องทดสอบ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

- กลุ่มวิจัย Nanotechnology for textile and polymer research group (Nano Tep) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูง และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ ส่งเสริม และสนับสนุนการศึกษาที่ดีตลอดมา จนสำเร็จการศึกษา

นพดล เบี้ยทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO).....	7
2.3 พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP).....	8
2.4 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology).....	9
2.5 วัสดุนาโน (Nanomaterials).....	10
2.6 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal Synthesis).....	17
2.7 วัสดุผสม (Composite Materials).....	19
2.8 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุ.....	23
2.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	26
2.10 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL-94.....	35
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน.....	37
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในสังเคราะห์.....	40
3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล.....	42
3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโน.....	44
3.6 การนำอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในโพลีโพรพิลีน	46
3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์.....	50
3.8 การทดสอบสมบัติการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์	54
4 ผลการทดลอง	56
4.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร	56
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้.....	57
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตร	63
5 สรุปผลการทดลอง.....	79
5.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในอนุภาคระดับนาโนเมตร	79
5.2 ผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน	79
5.3 ข้อเสนอแนะ	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	86
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ.....	87
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	97
ประวัติผู้เขียน.....	127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์.....	7
2.2 สมบัติบางประการของพลาสติกโพลีโพรพิลีน	8
2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งแบบ Durometer.....	35
3.1 ตารางแสดงส่วนผสมของ โพลีโพรพิลีนและแมกนีเซียมออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ	47



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558	1
2.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรด้วยกระบวนการซอล-เจล.....	6
2.2 การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ.....	9
2.3 ขนาดของวัสดุนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผม	10
2.4 เส้นใยนาโนจากแร่รูไทล์.....	11
2.5 อนุภาคนาโนของซีเลเนียม	12
2.6 วัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silica xerogel	13
2.7 ท่อนาโนคาร์บอน	14
2.8 หมุดควอนตัมที่ได้จากแคลเซียมเซเลไนด์กับซิงค์ ซัลเฟต	15
2.9 ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ.....	16
2.10 แผนผังการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	17
2.11 ค่าความเค้นดั่งที่เกิดขึ้นในเส้นใยและค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสเส้นใย 1 = ความยาวของเส้นใย, D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤติ	21
2.12 ผลของความยาวเส้นใยเสริมแรงที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย L = ความยาวของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤติ.....	22
2.13 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติ อย่างง่ายของก้อนวัสดุผสมเนื่องจากผลกระทบ จากการไหล (ก) การกระจายตัวแบบสุ่ม (ข) การหมุนของเส้นใยเสริมแรงระหว่างการไหล เนื่องจากแรงเฉือน (ค) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยึด	22
2.14 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM และด้านหลัง.....	23
2.15 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM.....	24
2.16 หลักการทำงานของเครื่อง XRD	25
2.17 ชิ้นงานภายใต้แรงดึง.....	27
2.18 (ก) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของโพลีเมอร์ชนิดเดียวกัน เมื่อวัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ข) ข้อมูลของรูป ก เมื่อเขียนอยู่ในลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสและอุณหภูมิ.....	29
2.19 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	30
2.20 ชิ้นงานมาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี.....	31
2.21 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี.....	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.22 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอด	33
2.23 ชั้นทดสอบมาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด	33
2.24 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer	34
2.25 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐานUL-94HB	35
2.26 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐานUL-94V	36
3.1 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ	37
3.2 กระบวนการผลิตวัสดุนาโนแมกนีเซียมออกไซด์แบบไฮโดรเทอร์มอล ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร	39
3.4 แผนผังการทดสอบแมกนีเซียมออกไซด์	39
3.5 เครื่องซังทศนิยม 3 ตำแหน่ง ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ	40
3.6 เตาเผาอุณหภูมิสูง ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ	40
3.7 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ	41
3.8 เครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) ณ ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะ แห่งชาติ (MTEC)	41
3.9 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ	42
3.10 ขั้นตอนการเตรียมสารใส่ในถังปฏิกรณ์	43
3.11 ลักษณะของแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์	43
3.12 การนำสารที่ได้ไปให้ความร้อนในเตาเผา	44
3.13 การเตรียมกริด	45
3.14 เครื่องผสมแบบปิด Haake Rheodrive Mixer	47
3.15 ลักษณะ โพลีโพรพิลีนที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด	48
3.16 เครื่องบดพลาสติก	48
3.17 ลักษณะพลาสติกที่บดด้วยเครื่องบดพลาสติก	49
3.18 เครื่องนวดพลาสติก	49
3.19 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการนวดขึ้นรูป	50
3.20 ชิ้นงานสำหรับทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง	50
3.21 เครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.22 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer	51
3.23 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer	52
3.24 ชิ้นงานทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256	52
3.25 เครื่องบดชิ้นงาน	53
3.26 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก	53
3.27 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการลามไฟของวัสดุ	54
3.28 เครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุ	55
4.1 ลักษณะของสารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	56
4.2 ลักษณะของสารเมื่อตัดออกมาจากถังสังเคราะห์	57
4.3 ลักษณะของวัสดุที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว	57
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์	58
4.5 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า	59
4.6 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า	59
4.7 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า	60
4.8 ภาพถ่าย TEM ของอนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่าและ (ข) 30,000 เท่า	61
4.9 ภาพถ่าย TEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ กำลังขยาย(ก) 20,000 เท่าและ (ข) 50,000 เท่า	61
4.10 ภาพถ่าย TEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่าและ (ข) 50,000 เท่า	62
4.11 ค่าความต้านทานแรงดึงของโพลีโพรพิลีน	63
4.12 ค่าระยะยืดสูงสุดของโพลีโพรพิลีน	63
4.13 ค่าความแข็งของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆตามมาตรฐาน ASTM D2240	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 ภาพ SEM พื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	65
4.15 ภาพ SEM พื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	66
4.16 ภาพ SEM พื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	67
4.17 ภาพ SEM พื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	68
4.18 ภาพ SEM พื้นที่รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า.....	69
4.19 ภาพ SEM พื้นที่รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า.....	70
4.20 ภาพ SEM พื้นที่รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า.....	71
4.21 ภาพ SEM พื้นที่รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า.....	72
4.22 ค่าทนต่อแรงกระแทกของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ.....	73
4.23 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	74
4.24 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.25 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาค ขนาดนาโนเมตรที่ได้จากการสังเคราะห์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	76
4.26 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาค ขนาดนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า.....	77
4.27 ค่าอัตราการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ	78



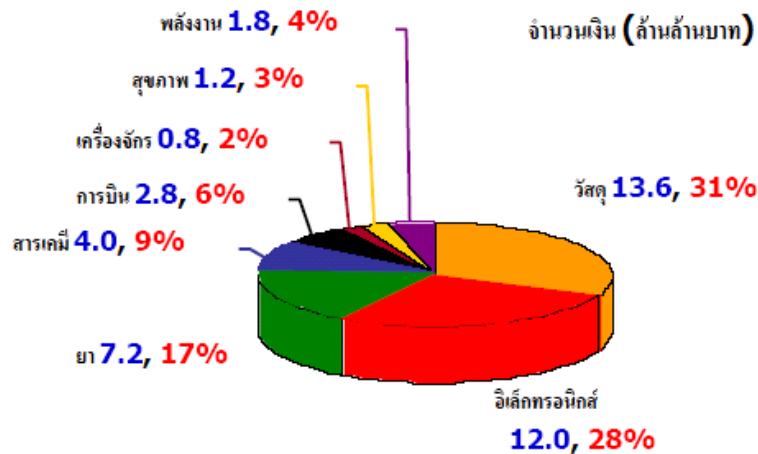
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นาโนเทคโนโลยีเป็นสหวิทยาการที่ใช้องค์ความรู้ของศาสตร์หลายสาขามาบูรณาการเข้าด้วยกันเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถประยุกต์ ควบคุม และจัดการในระดับอะตอมให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลแบบใหม่ที่มีสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิมไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ [1]

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจและความสำคัญอย่างยิ่งกับวัสดุนาโน (มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 แสดงดังภาพที่ 1.1) เนื่องจากคุณสมบัติอันน่าทึ่งทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านไฟฟ้า [1-6] บรรดานักวิทยาศาสตร์และวงการอุตสาหกรรมกำลังทุ่มเทวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี เพื่อผลิตคิดค้นวิธีการสังเคราะห์วัสดุระดับนาโนอย่างกว้างขวางและหาวิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งวัสดุนาโนเป็นวัสดุที่มีราคาแพงมากและส่วนใหญ่แล้วประเทศไทยต้องนำเข้าวัสดุนาโนจากต่างประเทศ [7-16] เพื่อใช้ในงานวิจัยและพัฒนาทั้งในวงการวิชาการและใช้ในงานอุตสาหกรรม



มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 คาดว่าจะมีมูลค่าสูงถึง 40 ล้านล้านบาท!

ที่มา National Science Foundation (NSF)

ภาพที่ 1.1 มูลค่าผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั่วโลกในปี 2558 [15-16]

ถ้าเราสามารถสังเคราะห์วัสดุนาโนได้จากวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศจะเป็นการเพิ่มศักยภาพทางด้านวัสดุนาโนของประเทศ เป็นการเตรียมความพร้อมในการแข่งขันทางด้านวัสดุนาโน ลดการนำเข้าวัสดุนาโนจากต่างประเทศ หรือแม้กระทั่งเป็นสินค้าส่งออกได้ ซึ่งตรงตามแผนแม่บทการพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติระยะ 10 ปี (2547-2556) ระบุว่าไทยควรมุ่งเน้นในการสร้างขีดความสามารถในด้านนาโนเทคโนโลยีใน 3 สาขาหลักคือ วัสดุนาโน นาโนไบโอเทคโนโลยี และนาโนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์มวลรวมให้เพิ่มขึ้น 130,000 ล้านบาท ในปี 2556 [1]

โดยกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยมีเป้าหมายหลักที่จะให้ประเทศไทยสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ประโยชน์จากนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 1 ของผลิตภัณฑ์ และหวังให้ประเทศไทยสามารถยกระดับคุณภาพและสิ่งแวดล้อมของคนไทยเข้าใกล้ระดับมาตรฐานโลก โดยการพัฒนาวัสดุ อุปกรณ์ และระบบที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์และสุขภาพด้วยนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ ยังมีเป้าหมายให้ระดับการศึกษาและวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยอยู่ในระดับแนวหน้าของภูมิภาคอาเซียน เพราะฉะนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ถ้าเราสามารถสังเคราะห์วัสดุนาโนจากวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ

สำหรับแมกนีเซียมออกไซด์เป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์มากมายหลายประการเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอลูมิเนียมเหล็ก โดยใช้ทำเตาหลอมเหล็ก เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ฉนวนกันความร้อนบนเซมิ-คอนดักเตอร์ ใช้ในการผลิตสี และหมึกพิมพ์ ใช้ในการป้องกันไฟ สารดับเพลิง และสารลดควัน ใช้ในการผลิตเซรามิกส์ และใช้เป็นฟิลเลอร์สำหรับกระดาษ พลาสติก และยาง ใช้เป็นส่วนประกอบการผลิตแก้ว เครื่องสำอาง ยาสีฟัน ผลิตภัณฑ์ เป็นสารทำแห้ง สี เป็นต้น [17-20] ปัจจุบันมีการวิจัยการสังเคราะห์นาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในรูปแบบต่าง ๆ แต่ปัญหาก็คือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนส่วนใหญ่ใช้สารตั้งต้นที่มีราคาค่อนข้างสูง อันตราย และขนาดที่ทำการทดลองได้ครั้งละประมาณ 0.2-0.5 กรัม [18-21]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการขยายขนาดการทดลองสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ที่สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศมาทำการทดลองโดยสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแบบไฮโดรเทอร์มอลและทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับวัสดุตั้งต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์แผ่นนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ เช่น รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึก ของวัสดุนาโนที่เตรียมได้

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟของการเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการสังเคราะห์แผ่นนาโนด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลโดยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรที่ออกแบบและผลิตในประเทศ

1.3.2 ทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ ได้แก่ รูปร่าง ขนาดและโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction, XRD)

1.3.3 นำวัสดุนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์นำมาเติมในพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดชนิด เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ Tensile Strength ; ASTM D638, Impact Strength ; ASTM D256, Shore Hardness ; ASTM D2240 และสมบัติการลามไฟ ; UL-94HB

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 เข้าใจเทคนิคและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

1.4.2 ได้เรียนรู้วิธีการสังเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบของรูปร่าง ขนาด พื้นที่ผิวเฉพาะและโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) และเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 รวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน

1.5.3 ดำเนินการจัดเตรียมวัตถุดิบ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.5.4 ทำการวิเคราะห์ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ เช่น โครงสร้างผลึก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

1.5.5 เปรียบเทียบสมบัติกลเชิงกลของวัสดุนาโนที่เตรียมได้กับวัสดุตั้งต้นเพื่อศึกษาแนวโน้มในการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

1.5.6 สรุปผลการทดลอง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้มีวิธีการสังเคราะห์หรือการเตรียมแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ในอนุภาคระดับนาโนเมตรมีหลายวิธีมาก ซึ่งแต่ละวิธีนั้น มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง เช่น

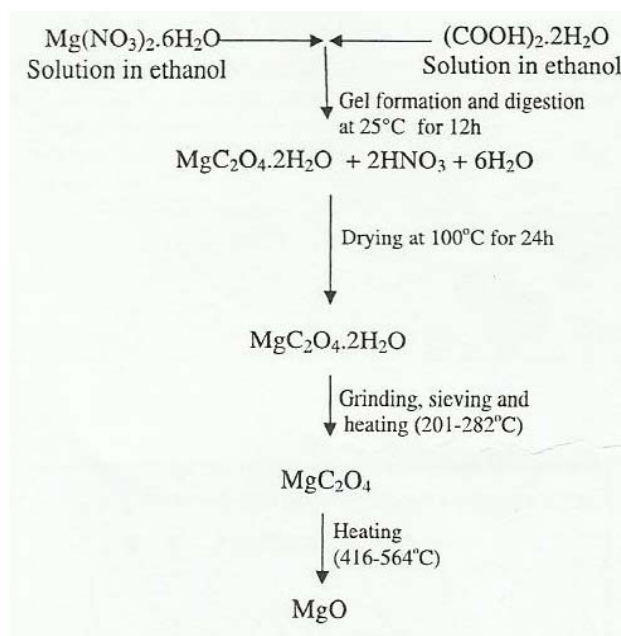
2.1.1 Formation of Rod-Like Mg(OH)₂ Nano crystallites Under Hydrothermal Conditions and The Conversion to MgO nanorods by Thermal Dehydration [22]

Li Yan และคณะ ได้กล่าวถึงการศึกษาการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารตั้งต้นคือเฮปตาไฮเดรตแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄·7H₂O) จำนวน 2.45 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงไปเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ที่ค่าประมาณ 12 หลังจากนั้นนำไปใส่ในถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่ภายในบุด้วยเทพลอนและนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองเตรียมที่ระยะเวลา 2.5, 5, 8, 10 และ 16 ชั่วโมง โดยหลังจากกระบวนการสังเคราะห์จะได้แมกนีเซียมออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบ Nano rod โดยกระบวนการสังเคราะห์ดังกล่าวมีข้อดีคือ สามารถทำการสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำเพียง 160 องศาเซลเซียส แต่ข้อเสียคือมีของเสียจากการสังเคราะห์ที่มีสภาพเป็นด่างที่รุนแรงซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.2 On the Synthesis and Optical Absorption Studies of Nano-Size Magnesium Oxide Powder [23]

Ashok Kumar และ Jitendra Kumar ได้กล่าวถึงการศึกษาการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรด้วยกระบวนการซอล-เจล (Sol-Gel) โดยใช้สารตั้งต้นคือแมกนีเซียมไนเตรทเฮกซาไฮเดรต (Magnesium Nitrate Hexahydrate) และกรดออกซาลิก (Oxalic Acid) โดยนำมาละลายในเอทานอลซึ่งจะทำให้เกิดมีลักษณะเป็นเจล จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเปลี่ยนสภาพเป็นแมกนีเซียมออกซาลेटไดไฮเดรต (Magnesium Oxalate Dihydrate) หลังจากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500, 600, 800 และ 1,000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจะได้ผงแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 6.5-73.5 nm โดยเฉลี่ย

โดยกระบวนการสังเคราะห์ดังกล่าวสามารถทำการสังเคราะห์โดยใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงและมีขั้นตอนการสังเคราะห์ที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้สารเคมีที่อันตราย และมีของเสียจากการสังเคราะห์



ภาพที่ 2.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรด้วยกระบวนการซอล-เจล (Sol-gel) [23]

2.1.3 Preparation and Characterization of MgO Nano rods. [24]

Z. Cui และคณะได้ทำการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนด้วยการให้ความร้อนกับ MgCl_2 ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงโดยการไหลของก๊าซคงที่โดยผสมระหว่างก๊าซอาร์กอน 90% และก๊าซไฮโดรเจน 10% โดยโครงสร้างที่ได้มีลักษณะเป็น Nano rod มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15-50 nm และมีความยาวประมาณ 1-3 ไมโครเมตร โดยกระบวนการสังเคราะห์ดังกล่าวมีขั้นตอนการสังเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยากแต่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่คงที่ตลอดการสังเคราะห์

2.1.4 สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีเอทิลีนผสมสารหน่วงไฟ [25]

มาลินี ชัยศุกกิจศิลป์ และคณะได้ทำการศึกษาความสามารถหน่วงไฟของสารเคมี 3 ชนิดคือ Na_2HPO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ และ H_3BO_3 ที่ผสมในแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่น 0.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเตรียมแผ่นใยไม้อัดจากการผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับโพลีเอทิลีนในอัตราส่วน 85/15 โดยนำหนัก จากผลการทดลองพบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่ผสมสารหน่วงไฟมีอัตราการ

เผาไหม้ 1.85 มิลลิเมตรต่อนาที แผ่นใยไม้อัดที่ผสม $Mg(OH)_2$ หรือ Na_2HPO_4 ที่ 3% สามารถหยุดการเผาไหม้ด้วยตนเองและแผ่นใยไม้อัดที่มี $Mg(OH)_2$ ผสมกับ Na_2HPO_4 ในปริมาณการผสมอย่างละ 1.5% ไม่เกิดการเผาไหม้

2.1.5 Flame Retardance and Mechanical Properties of Natural Fibre-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide [26]

M. Sain และคณะได้ทำการศึกษาความสามารถในการหน่วงไฟและสมบัติทางกลของการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดเส้นใย โดยทำการศึกษาผลการลามไฟของการผสมโพลีโพรพิลีนกับขี้เถ้า/แกลบ และศึกษาความสามารถในการหน่วงไฟของการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการทดสอบการลามไฟในแนวตั้ง จากผลการทดสอบพบว่าโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดอัตราการลามไฟได้เกือบ 50% เนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติการหน่วงไฟและการดูดกลืนความร้อน โดยการเติมสารหน่วงไฟมีผลทำให้สมบัติทางกลลดลงเพียงเล็กน้อย

2.2 แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO)

แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นสินแร่ในธรรมชาติ ที่เรียกว่า Periclase มีสูตรทางเคมี MgO จุดหลอมเหลวที่ $2,827 \pm 30$ องศาเซลเซียส แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของแมกนีเซียมออกไซด์คือ หินแมกนีไซด์ ($MgCO$) หินแร่โคโลไมท์ ($CaMg(CO_3)_2$) น้ำแร่เกลือ (Brime) ใต้ดิน และน้ำทะเล [27]

การผลิตแมกนีเซียมออกไซด์ ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบ เช่น ถ้าเป็นหินแมกนีไซด์ ใช้วิธีการเผาแมกนีไซด์โดยตรง ที่อุณหภูมิระหว่าง 700 – 1,00 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นหินแร่โคโลไมท์ ใช้วิธีการเผาหินแร่โคโลไมท์แล้วนำไปตกผลึกโดยน้ำแร่เกลือ จากนั้นเผาต่อที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นน้ำทะเลใช้วิธีการตกผลึกน้ำทะเลแล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส [27]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์ [27]

Chemical Formula	MgO
Physical State	Solid
Molecular Weight	40.31 g/mol
Color	White
Melting Point	$2,827 \pm 30^\circ C$
Density	3.58 g/cm^3

ประโยชน์ของแมกนีเซียมออกไซด์ มีมากมายหลายประการ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก โดยใช้ทำเบ้าเตาหลอมเหล็ก ในทางการเกษตร ใช้เป็นแร่ธาตุเสริมอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือใช้ทำท่อน้ำทิ้ง น้ำคลองส่งน้ำไปนา ในทางการแพทย์ ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ยาสีฟัน ใช้เป็นยาต้านท้องสารพิษ ยาเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร และยาลดความอ้วน เป็นต้น สำหรับสิ่งแวดล้อมใช้ในการตกตะกอนสารโลหะหนักในบ่อบำบัดน้ำเสีย ในทางเคมีใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเกลือซัลเฟต และไนเตรท เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ในการก่อสร้างใช้เป็นซีเมนต์ที่ทนทานต่อการผุกร่อน นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง กระจก ยื่อกระจก สี กาว ฝ้าเบรค และฉนวนกันร้อนบนเซมิ-คอนดักเตอร์ เป็นต้น [27]

2.3 พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP)

ประโยชน์ของโพลีโพรพิลีนที่เตรียมได้โดยตัวเร่งซีเกอร์-แนตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 เนื่องจากเป็นแบบสายโซ่ตรง จึงมีคุณสมบัติคล้ายๆ โพลีเอทิลีนไม่จำเป็นการพองตัวเมื่อถูกตัวทำละลายหรือสมบัติทางไฟฟ้า แต่ที่แตกต่างไปก็มีเช่น ความหนาแน่นต่ำกว่าคือประมาณ 0.90 g/cm^3 อุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) 164-170 องศาเซลเซียส (สูงกว่าโพลีเอทิลีน) สมบัติการละลายคล้ายโพลีเอทิลีน คือไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเกิน 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรเมติก และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน ค่าความร้อนจำเพาะของโพลีโพรพิลีนต่ำกว่าของโพลีเอทิลีนแต่สูงกว่าของโพลิสไตรีน [28]

โพลีโพรพิลีนที่ใช้ในทางการค้ามักผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ, ไบแก้ว ยาง และตัวแอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้น เหมาะกับการใช้งาน [29]

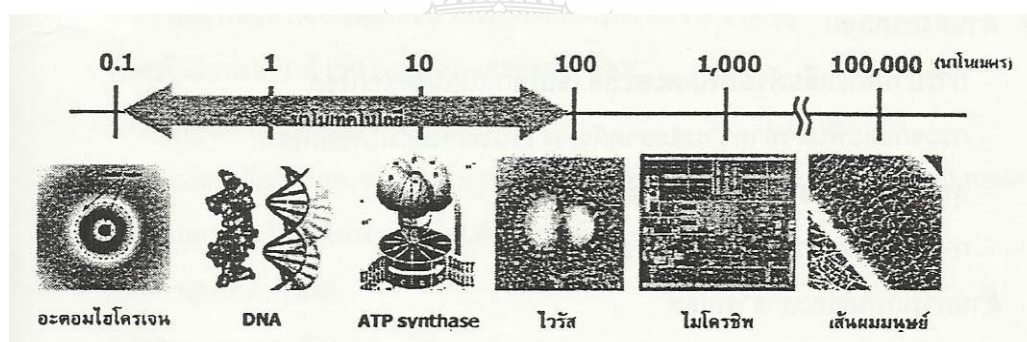
ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของพลาสติกโพลีโพรพิลีน [30]

ชนิดของพลาสติก	สมบัติบางประการ		ตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์
	สภาพการไหม้ไฟ	ข้อสังเกตอื่น	
โพลีโพรพิลีน	เปลวไฟสีน้ำเงินขอบเหลืองควันขาวกลิ่นเหมือนพาราฟิน	จืดด้วยเล็บไม่เป็นรอย ไม่แตก	โต๊ะ เก้าอี้ เชือก พรหม บรรจุภัณฑ์อาหาร ชิ้นส่วนรถยนต์

พลาสติกโพลีโพรพิลีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ซาม จาน ถัง ตะกร้า กระบอกใส่น้ำแช่เย็น ขวดซอส แก้วโยเกิร์ต ขวดบรรจุยา สามารถนำมารีไซเคิลเป็นกล่อง แบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชนและกรวยสำหรับเติมน้ำมัน ไฟท้าย ไม้กวาดพลาสติก แปรง [31]

2.4 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยี หมายถึง เทคโนโลยีที่มีการประยุกต์ และเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง การสังเคราะห์วัสดุ และอุปกรณ์การจัดการเครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับ อะตอมหรือโมเลกุล (ประมาณ 1.0-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้าง วัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมาก หรือการจัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ และถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีสมบัติพิเศษขึ้นทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้อีกด้วย [32]



ภาพที่ 2.2 การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ [32]

ขนาดวัสดุนาโน (Nanomaterials) จะมีขนาดตั้งแต่ 0.1–100 นาโนเมตร ดังแสดงการ เปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ ในภาพที่ 2.2 วัสดุนาโนที่มีขนาดเล็ก สามารถนำไฟฟ้า ความร้อน และ แสงได้ดีกว่าวัสดุเดิม นอกจากนี้ยังมีสมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงเคมี และการเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น ข้อได้เปรียบของวัสดุนาโนเกิดจากการเชื่อมของเกรนจำนวน มากอย่างต่อเนื่องทำให้ วัสดุนาโนมีความยืดหยุ่นจึงไม่เกิดการแตกหักง่าย ในกรณีของเซรามิกซึ่งเป็น วัสดุนาโนผสม และการเชื่อมต่อเป็นคลัสเตอร์ที่แข็งแรงของอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เกิดการซ้อนทับ ของกลุ่มเมฆอิเล็กตรอนซึ่งเหนี่ยวนำปรากฏการณ์ควอนตัม ทำให้การนำไฟฟ้าและแสงดีขึ้น การ พยายามที่จะสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร นั่นคือ

นาโนเทคโนโลยีจะหมายถึงวิทยาศาสตร์ประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร [32] ได้แก่

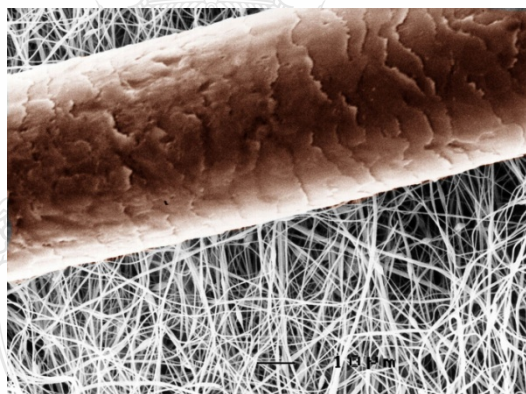
2.4.1 การพัฒนาวิจัย และเทคโนโลยีที่ระดับของอะตอม โมเลกุล หรือไมโครโมเลกุล อยู่ในระดับขนาดประมาณ 1-100 นาโนเมตร

2.4.2 การสร้างและใช้โครงสร้าง เครื่องมือ และระบบที่มีคุณสมบัติและหน้าที่ใหม่เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก

2.4.3 ความสามารถในการควบคุมหรือจัดการเปลี่ยนแปลงได้ในระดับของอะตอม

2.5 วัสดุนาโน (Nanomaterials) [33]

วัสดุนาโนเป็นวัสดุนาโนเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และคอมโพสิต ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยการตัดแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลในช่วงขนาด 1-100 นาโนเมตร ซึ่งเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผม ประมาณ 1 แสนเท่าดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ขนาดของวัสดุนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผม [34]

สมบัติทางแม่เหล็กจะแตกต่างจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับที่เราคุ้นเคย วัสดุนาโนประกอบด้วยเส้นใยนาโน (Nanofibers) อนุภาคนาโน (Nanoparticles) วัสดุประกอบแตงนาโน (Nanocomposites) ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) หมดควอนตัม (Quantum Dots) ฟิล์มบางนาโน (Nanofilms) โดยมีรายละเอียดดังนี้

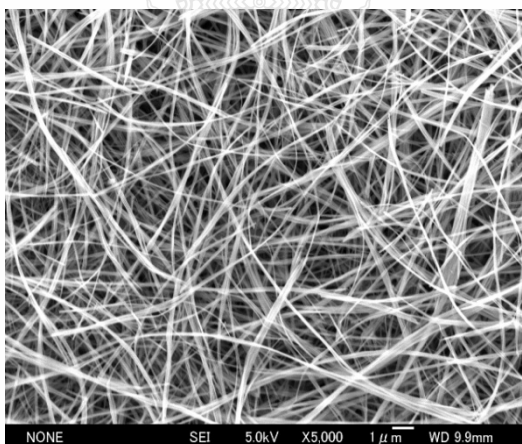
2.5.1 เส้นใยนาโน (Nanofiber) [34]

เส้นใยนาโน คือ เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่มีส่วนประกอบจากเส้นใย

นาโน โดยเส้นใยนาโนจะมีจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าสูงมาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวสัมผัสได้ง่ายการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีโครงสร้างคล้ายคลึงเส้นใยชีวภาพสามารถทำอวัยวะเทียม เนื้อเยื่อเทียมสามารถใช้ทำวัสดุเสริมแรงรูปทรงที่เกิดจากเส้นใยนาโนสามารถใช้ในระบบนำส่งยาได้ดี การสังเคราะห์เส้นใยนาโนสามารถทำได้โดยใช้วิธี Polymerization, Sol-Gel Electrospinning และ Hydrothermal ดังภาพที่ 2.4 ตัวอย่างเส้นใยนาโนที่ได้จากแร่รูไทล์

ประโยชน์ของเส้นใยนาโน

- ในผ้าที่มีส่วนประกอบของเส้นใยนาโนจะยับได้ยากเพราะอนุภาคของเส้นใยนาโนจะไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยผ้าทำให้เนื้อผ้าไม่หดเข้าเกิดรอยยับ
- เมื่อผสมลงในอุปกรณ์จะทำให้อุปกรณ์มีความแข็งแรง ทนทาน เช่น ไม้กอล์ฟ
- ใช้ผลิตเป็นตัวกรองแบบพิเศษสำหรับกรองอากาศและของเหลว
- เส้นใยนาโนที่ผลิตจากไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแสงแดดได้เร็วขึ้น เพราะมีพื้นผิวหน้าสัมผัสมาก ช่วยในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและลดกลิ่นอับได้ดี



ภาพที่ 2.4 เส้นใยนาโนจากแร่รูไทล์ [35]

2.5.2 อนุภาคนาโน (Nanoparticles) [32]

อนุภาคนาโนเป็นเม็ดขนาดเล็กจิ๋ว (อินทรีย์สารประเภทไขมัน) ซึ่งเท่ากับ 10^{-9} เมตร วิธีที่สามารถบอกลักษณะของอนุภาคนาโนได้ดีที่สุดคือ การเปรียบเทียบกับไลโปโซมและอิมัลชันไลโปโซมและนาโนโซม (อนุภาคนาโน) นั้นมีขนาดที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากทั้งสองมีเส้นผ่าศูนย์กลางราว 20–1,000 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามไลโปโซมประกอบด้วยเยื่อหุ้หนึ่งชั้นหรือมากกว่าแต่อนุภาคนาโนมีเยื่อหุ้เพียงแค่ชั้นเดียว ภายในไลโปโซม บรรจุด้วยน้ำจึงเป็นตัวนำสาร

เก็บกักความชื้นได้ดีในขณะที่ภายในอนุภาคนาโนบรรจุด้วยน้ำมัน ซึ่งภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างอนุภาคนาโนของซีเลเนียม

ประโยชน์ของอนุภาคนาโน

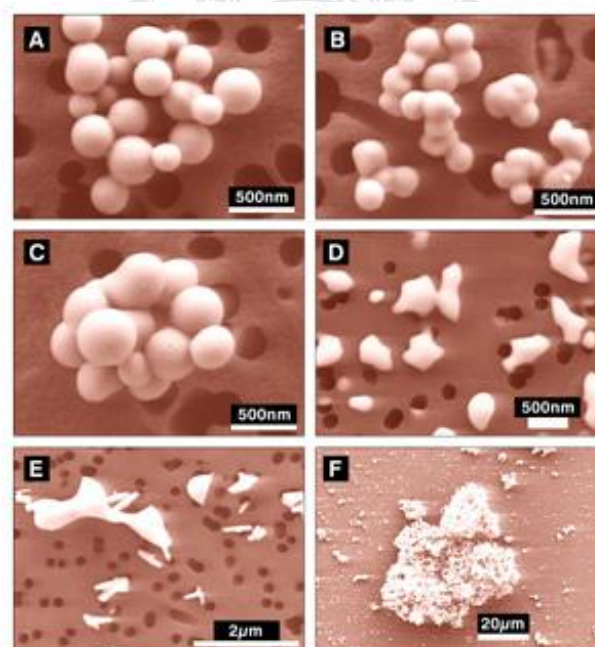
- เป็นตัวนำสารเก็บกักน้ำมันหรืออินทรีย์สารในอุดมคติได้ดี แกนกลางของอนุภาคนาโนสามารถบรรจุน้ำมันสำหรับเครื่องสำอางได้อย่างหลากหลาย (รวมทั้งสารสกัดจากพาราเรีย, มิริฟีกาด้วย) และสารที่ละลายในน้ำมัน (อย่างเช่น วิตามินเอ วิตามินอี สารป้องกันรังสียูวี และน้ำหอม)

- เพิ่มความเสถียรทางเคมีของสารประกอบเหล่านี้ไม่ให้เกิดการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้ด้วยการจัดเก็บไว้ในอนุภาคนาโนเหล่านี้

- มีปริมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคมากสามารถนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ เช่น ใช้ทองคำนาโนในการลดเวลาในการหมักไวน์

- อนุภาคนาโนของเงินมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เครื่องนุ่งห่ม และฟอกอากาศได้

- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เช่น อนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเมื่อ تابบนผิวจะปล่อยให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้แต่ไม่ยอมให้รังสี UVA และUVB ผ่านไปได้



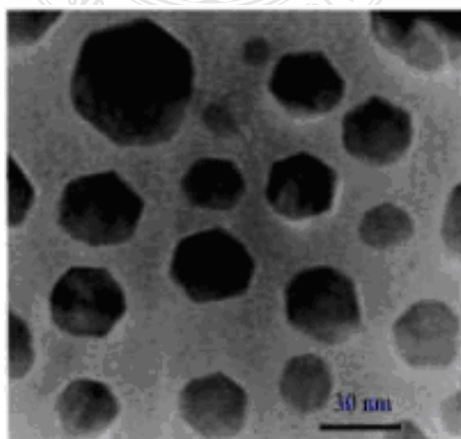
ภาพที่ 2.5 อนุภาคนาโนของซีเลเนียม (Nanoparticles) [36]

2.5.3 วัสดุประกอบแตงนาโน (Nanocomposites) [37]

วัสดุประกอบแตงนาโน เป็นวัสดุประกอบแตงชนิดหนึ่งที่มีการนำหลักการใด หลักการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีมาใช้ โดยอาจเป็นการนำเอาวัสดุนาโนที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรมาใช้เป็นวัสดุกระจาย หรืออาจเป็นการเติมวัสดุอื่นๆ ลงไปในวัสดุต่อเนื่องที่มีสมบัติในระดับนาโนเมตร อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปพบว่าวัสดุประกอบแตงนาโนนั้นมีสมบัติพิเศษ หรือแตกต่างไปจากวัสดุประกอบแตงปกติที่เคยมีมา เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า หรือแม้แต่มีรูปลักษณะที่แตกต่างออกไปจากวัสดุประกอบแตง ซึ่งมีองค์ประกอบแบบเดียวกันแต่ไม่มีส่วนที่มีลักษณะเป็น นาโนเทคโนโลยี วัสดุประกอบแตงอาจมีโครงสร้างเป็นชั้นที่เรียงกันอย่างแนบสนิท และเป็นระเบียบ หรือหากยังสังเกตในระดับที่เล็กลงไปถึงระดับนาโนเมตร อนุภาคขนาดเล็กระดับนาโนเมตรซึ่งเป็นวัสดุการกระจายแทรกตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุต่อเนื่องนั้น โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนตาข่ายที่เชื่อมโยงไปมาทั้งนี้ประเด็นที่ต้องพิจารณาคือ ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างวัสดุการกระจายกับวัสดุต่อเนื่องโดยได้แสดงตัวอย่างวัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silicaxerogel (Nanocomposite) ดังภาพที่ 2.6

ประโยชน์ของวัสดุประกอบแตงนาโน

- ควบคุมอัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ของอาหาร
- ป้องกันการรั่วซึมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในขวดเบียร์และขวดน้ำอัดลม
- ป้องกันการสูญเสียอากาศภายในยางรถยนต์และลูกบอลอัดลม
- เพิ่มมูลค่าทางธรรมชาติ
- ป้องกันการติดไฟและการทนความร้อนของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และยานยนต์

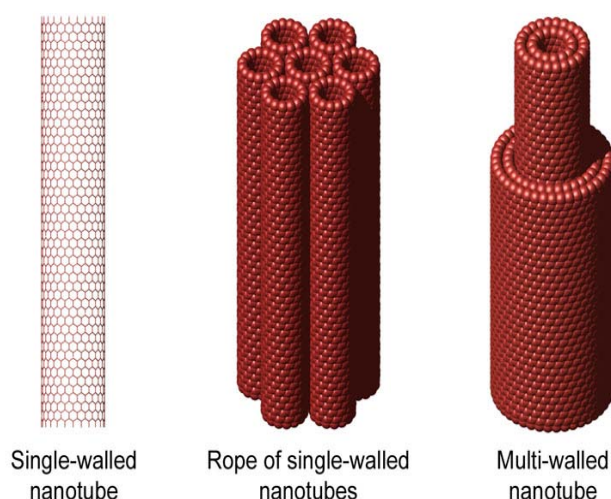


ภาพที่ 2.6 วัสดุประกอบแตงนาโนที่ได้จาก Silica Xerogel (Nanocomposite) [38]

2.5.4 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) [35, 39-40]

ท่อนาโนคาร์บอนมีโครงสร้างเป็นทรงกระบอก (Cylindrical Shape) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยมีขนาดระดับนาโนเมตรมีความยาวประมาณ 1 ล้านเท่าของความกว้างของมัน ท่อนาโนคาร์บอนมีด้วยกัน 2 ชนิด คือชนิดที่มีผนังซ้อนกัน 2-50 ชั้นเรียกว่า Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT) และชนิดที่มีผนังเดี่ยวเรียกว่า Single-Walled Carbon Nanotube (SWCNT) โดยลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนจะมีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ยาวเพียง 0.14 นาโนเมตรจึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนแข็งแรงกว่าเพชรและกราไฟต์ มีความยืดหยุ่นสูงนอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดงโดยนำไฟฟ้าได้ดีมากตามแนวยาวของท่อแต่เป็นฉนวนของท่อและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 2,800 องศาเซลเซียสภายใต้สุญญากาศและ 750 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะปกติ สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายท่อในภาวะสุญญากาศได้ ประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอน

- นำมาใช้ในอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ผลิตรจอภาพของโน้ตบุ๊ก พีดีเอและเกมส์
- ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด (Probe) หรือใช้เป็นปิเปตขนาดเล็มากสำหรับปลดปล่อยสารหรือโมเลกุล (Ultrasmall Pipette) เข้าสู่เซลล์เป้าหมายได้
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านไบโออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อประโยชน์ในการวิจัยด้านการแพทย์ใช้เป็นสารเสริมแรงให้วัสดุมีความแข็งแรงกว่าปกติ



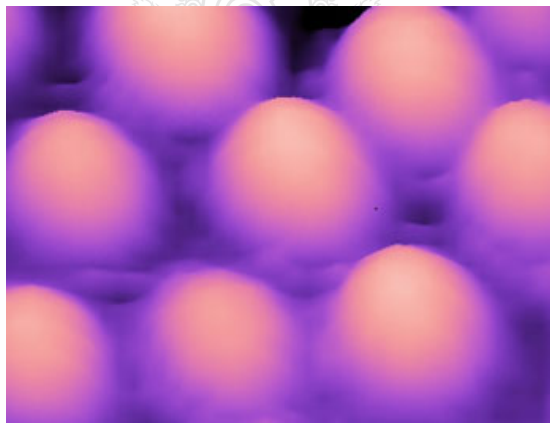
ภาพที่ 2.7 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) [41]

2.5.5 อนุภาคนาโนควอนตัม (Quantum Dots) [35]

อนุภาคนาโนควอนตัม (Quantum Dots) เป็นกลุ่มก้อนของสารกึ่งตัวนำ เช่น CdSe CdTe InP และอื่นๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวของอนุภาคนาโนควอนตัมคือ คุณสมบัติเชิงแสงเนื่องจากอนุภาคนาโนควอนตัมจะมีสีที่แตกต่างกันไปตามขนาดและส่วนประกอบของอนุภาคนาโนควอนตัมสามารถดูดซับแสง และปลดปล่อยแสงออกมาได้อย่างรวดเร็วซึ่งได้แสดงตัวอย่างของอนุภาคนาโนควอนตัม ดังภาพที่ 2.8 อนุภาคนาโนควอนตัมที่ได้จากแคดเมียมเซเลไนด์กับซิงค์ซัลไฟด์

ประโยชน์ของอนุภาคนาโนควอนตัม

- สามารถนำมาใช้แทนสีฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Dyes) ที่ใช้ในการวินิจฉัยและย้อมสีเซลล์สิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดขึ้นไปเป็นวิธีการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่ได้ในอนาคต
- สามารถใช้อนุภาคนาโนควอนตัมเป็นไดโอดเปล่งแสงแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor LEDs) หรือนำไปใช้แทนแสงเลเซอร์ในอุปกรณ์โทรคมนาคมแบบไฟเบอร์ออปติก
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น นาโนคอมพิวเตอร์แบบควอนตัมได้



ภาพที่ 2.8 อนุภาคนาโนควอนตัมที่ได้จากแคดเมียมเซเลไนด์กับซิงค์ซัลไฟด์ (Cadmium Selenide core and a Zinc Sulphide) (Quantum Dots) [42]

2.5.6 ฟิล์มบางนาโน (Nanofilms) [43]

ลักษณะของฟิล์มบางนาโนได้แสดงตัวอย่างไว้ดังภาพที่ 2.9 ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ โดยฟิล์มบางนาโนมีสมบัติพิเศษ ได้แก่ สร้างชั้นวัสดุที่มีความบางน้อยกว่า 100 nm บนผิวให้มี

สมบัติตามที่ต้องการเทคนิคที่ใช้มีหลายวิธี เช่น การตกสะสมไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition , PVD) การตกสะสมไอทางเคมี (Chemical Vapor Deposition , CVD) และการสปัตเตอริง (Sputtering) ซึ่งการตกสะสมไอทางกายภาพ และการสปัตเตอริงเป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางภายใต้สุญญากาศส่วนการตกสะสมไอทางเคมีไอหรือแก๊สเกิดปฏิกิริยาบนผิววัสดุพื้น (Substrate) ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้น ขึ้นกับอุณหภูมิของสับสเตรท และอุณหภูมิของผนังภายในความดันรวมและความดันย่อยของไอ อัตราการไหลของไอ และตัวกระตุ้นภายนอกเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ แสงและพลาสมาการใช้ประโยชน์จากสมบัติใหม่ๆ ในระดับนาโนวัสดุที่ใช้เคลือบมีหลากหลายชนิด เช่น พอลิเมอร์ โลหะ เซรามิก สารกึ่งตัวนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย

ประโยชน์ของฟิล์มบางนาโน

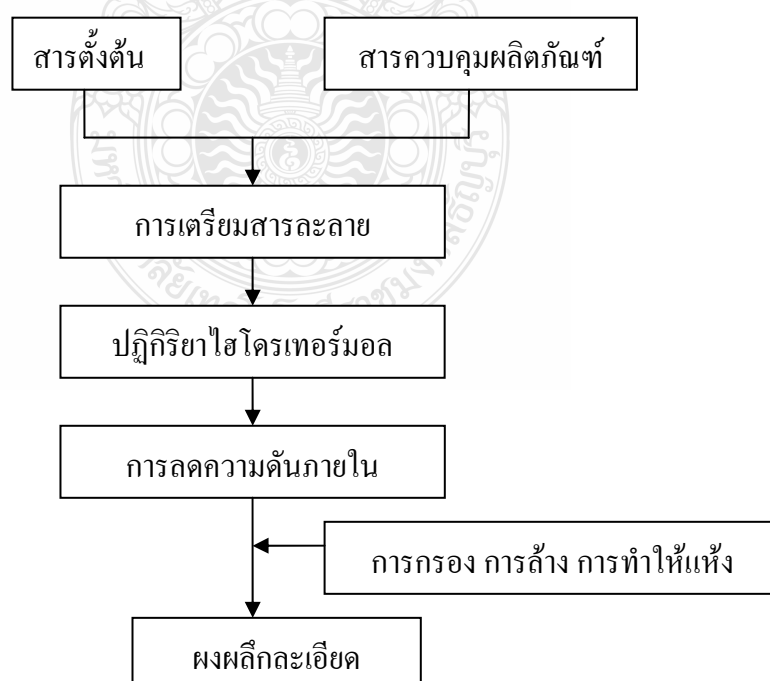
- เริงออปติก ได้แก่การจับแสง การกันแสง และกันแสงอัลตราไวโอเล็ต ความทึบแสงและโปร่งแสง การเรืองแสง ความสามารถในการป้องกันแสงสะท้อน
- เริงกล ได้แก่การป้องกันรอยขีดข่วน รอยถลอก เพิ่มความแข็งแรง ช่วยหล่อลื่น และเป็นชิ้นส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์เชิงกลขนาดไมโคร (Micro Electronic Mechanical System) ที่เรียกว่าระบบเมมส์ (MEMS)
- เริงอิเล็กทรอนิกส์นำไฟฟ้า เช่น Si ก็กเก็บพลังงานหรือไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า จอภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบโค้งงอได้ และอิเล็กทรอนิกส์ เช่น อินเดียมทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide, ITO)
- เริงเคมี ได้แก่ความสามารถในการกันน้ำ กันหมอก การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมี กันการแพร่ผ่าน และกันเชื้อโรค
- เริงอุณหภูมิ ได้แก่การป้องกันการสั่นสะเทือนของอะตอม และการกันความร้อน
- เริงแม่เหล็ก ใช้ในการเก็บข้อมูล เช่น สปินทรอนิกส์



ภาพที่ 2.9 ฟิล์มบางนาโนจากหยดน้ำ (Namofilms) [44]

2.6 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal Synthesis)

การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยของสารตั้งต้นในน้ำ เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงในภาชนะภายใต้ความดันเป็นการสังเคราะห์ทางเคมีของผลึก หรือผงเซรามิกออกไซด์ที่ปราศจากน้ำที่แตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ เช่น ซอล-เจล หรือการตกตะกอนร่วมโดยอาศัยอุณหภูมิและความดันในการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูป 2.10 อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิระหว่าง 100 องศาเซลเซียส จนถึง อุณหภูมิวิกฤต ที่ 374 องศาเซลเซียสและความดันสูงถึง 15 MPa สภาวะจำเพาะที่ใช้ในการรักษาเฟสของสารละลายให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนเฟส ผลโดยรวมของความดันและอุณหภูมิสามารถลดพลังงานอิสระสำหรับการเกิดเฟสที่เสถียรได้ที่ความดันปกติ [45] กลไกของกระบวนการเกิดอนุภาคเซรามิกออกไซด์อธิบายได้เป็น กระบวนการละลายและการตกตะกอน หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายใน (In-Situ) กลไกของการละลายและการตกตะกอนเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของสารตั้งต้นซึ่งเป็นออกไซด์ ไฮดรอกไซด์หรือองค์ประกอบของออกไซด์สามารถละลายเข้าสู่สารละลาย เกิดเป็นสารละลายอิ่มตัว เกิดเป็นปฏิกิริยาภายใต้สภาวะดังกล่าวข้างต้น และตกตะกอนเป็นอนุภาคของผลิตภัณฑ์ แรงกระตุ้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยามาจากความแตกต่างของการละลายได้ระหว่างเฟสออกไซด์และสารตั้งต้นที่ละลายได้น้อยที่สุด หรือสารอินทรีย์มีเดียท



ภาพที่ 2.10 แผนผังการสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [46]

ในหลายกรณี สารตั้งต้นแขวนลอยไม่สามารถละลายได้เพียงพอในน้ำ จึงต้องเติมมิเนอราไลเซอร์ (Mineralizer) เช่น เบส หรือกรด อนุภาคเซรามิกเกิดโดยผ่านกลไกการเปลี่ยนแปลงภายในที่อนุภาคแขวนลอยเกิดพอลิมอร์ฟิก (Polymorphic) หรือการเปลี่ยนแปลงเฟสทางเคมี [47] ในบางกรณีกลไกอาจเกิด ทั้งสองกรณีขึ้นกับสภาวะการสังเคราะห์ [48-49] กระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเทอร์มอลของผงอนุภาคเซรามิกมีข้อได้เปรียบ 2 ประการคือ สามารถกำจัดหรือลดให้น้อยลงของขั้นตอนการเผาแคลไซต์ ที่อุณหภูมิสูงและการใช้สารตั้งต้นราคาไม่แพงโดยเฉพาะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ ผงอนุภาคอิเล็กตรอนของเซรามิกของแบเรียมไททานเตด ($BaTiO_3$) เลดเซอร์โคเนตไททานเตด (PZT) เลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททานเตด (PLZT) บิสมัทโซเดียมไททานเตด (BNT) บิสมัทแลนทานัมโซเดียมไททานเตด (BLNT) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และทินไดออกไซด์ (SnO_2) และทินไดออกไซด์ (SnO_3)

2.6.1 ข้อได้เปรียบของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล สามารถสรุปได้ดังนี้ [50]

- กระบวนการนี้ใช้สารตั้งต้นที่มีราคาไม่แพง ได้แก่ ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ คลอไรด์ แอซีเตต และไนเตรต หรืออาจจะแอลกอฮอล์ ในบางกรณี
- สารตั้งต้นที่ระเหยที่อุณหภูมิก่อนการเกิดปฏิกิริยา สามารถควบคุมระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เพื่อรักษาปริมาณสัมพัทธ์ (Stoichiometry) ของปฏิกิริยาเกิดเป็นผงเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกหลายองค์ประกอบ ที่มีความบริสุทธิ์สูงได้
- กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส ในกรณีที่เทฟลอนเป็นภาชนะบรรจุสารภายในใช้อุณหภูมิไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของเทฟลอน การใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนักภายใต้ความดันพอเพียงที่จะสลายตัวสารตั้งต้นที่เสถียรและป้องกันการรวมตัวกันของสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ในปฏิกิริยาโซลิตสเตท (Solid-State)
- กระบวนการนี้สามารถผลิตอนุภาคสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ที่ควบคุมการกระจายของขนาดสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน เช่นการสังเคราะห์ผงเซรามิกเพอโรพสไกต์ (ABO_3) ที่เจือด้วยโลหะหลายชนิด ได้ขนาดไมโครเมตร หรือนาโนเมตร โดยควบคุมกระบวนการเกิดนิวเคลียส และการเติบโต
- ผงเซรามิกที่ผลิตด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไม่ต้องผ่านขั้นตอนพรีเซนเตอริง หรือการเผาแคลไซต์ กระบวนการนี้มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ผง PZT ที่มีความบริสุทธิ์สูงและองค์ประกอบที่แน่นอน เพราะ PbO ระเหยที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสและระเหยได้มากขึ้นที่อุณหภูมิการเผาแคลไซต์และซินเตอร์ตามปกติ

- การสังเคราะห์กระทำภายในระบบปิดซึ่งสารเคมี สามารถนำกลับมาใช้ได้ จึงเป็นกระบวนการที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

- กระบวนการนี้สามารถขยายกำลังผลิตสู่ระบบอุตสาหกรรม ในราคาที่ต้นทุนต่ำ พงษรามิกมีคุณภาพและความบริสุทธิ์สูงเหมือนเดิม

2.6.2 ข้อดีของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่

- เครื่องมือราคาค่อนข้างแพง
- มีข้อควรระวังเกี่ยวกับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความดันสูง
- การสึกกร่อนของเครื่องมือที่เกิดจากกรดหรือเบสที่เป็นมิเนอรัลไลเซอร์

2.7 วัสดุผสม (Composite Materials) [51]

วัสดุผสม คือ วัสดุที่เกิดจากการผสมวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด หรือมากกว่าเข้าด้วยกันอาจเป็นการผสมหรือการสร้างพันธะเข้าด้วยกัน โดยที่เนื้อของวัสดุผสมจะประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน ไม่กลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ได้คุณสมบัติรวมของวัสดุผสมที่ไม่สามารถหาได้จากวัสดุชนิดเดียวที่มีปัญหา ทั้งนี้ยังคงสามารถแยกสถานะ (Phase) ของวัสดุแต่ละประเภทในเนื้อของวัสดุผสมนั้น ได้วัสดุผสมประกอบด้วยสารพื้น (Matrix Phase) และสารเสริมแรง (Reinforcement Phase) การรวมกันของวัสดุที่เป็นตัวเสริมแรง (เป็นอนุภาคหรือเส้นใย) กับสารพื้นหรือวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งในบางกรณีจะถือว่าสารพื้นเป็นเสมือนกาวเชื่อมวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกันและปกป้องวัสดุเสริมแรงจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

2.7.1 วัสดุผสมสามารถแบ่งได้ดังนี้

- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composites)

เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Short Fiber)

เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber)

- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composites)

ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นแผ่นหรือชั้นเล็กๆ (Flake Composites)

ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (Filler Composites)

2.7.2 หลักการพิจารณาวัสดุว่าเป็นวัสดุผสมหรือไม่พิจารณาได้จากหลัก 3 ประการ

- ส่วนผสมของทั้งคู่ต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม และปริมาณมากกว่า 5%
- ส่วนผสมต้องมีสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นวัสดุผสมจึงมีสมบัติที่แตกต่างจากคุณสมบัติของส่วนผสม เช่น ในกรณีของพลาสติก ถึงแม้จะมีการเติมสารเติมแต่งลงไปมากมายเพื่อช่วยในการขึ้นรูปและเหตุผลในทางการค้า แต่พลาสติกดังกล่าวก็ไม่ถูกเรียกว่าเป็นวัสดุผสม
- ส่วนผสมต้องไม่ผสมกลมกลืนกันเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถแบ่งแยกเฟสอย่างชัดเจน

2.7.3 สมบัติของวัสดุผสมขึ้นอยู่กับส่วนต่างๆ ดังนี้

- การยึดติดระหว่างสารพื้นและสารเสริมแรง
- สมบัติของสารพื้นและสารเสริมแรง
- ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
- ปริมาณสารเสริมแรง
- กระบวนการผลิต
- การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- ตำแหน่งหรือช่องว่างภายในวัสดุผสม

2.7.4 องค์ประกอบของวัสดุผสม

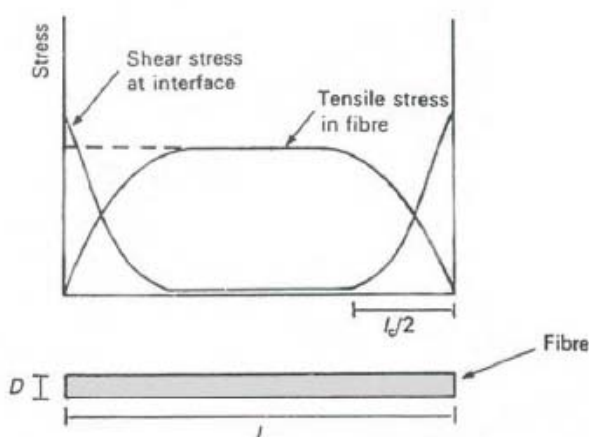
วัสดุผสมสามารถแบ่งส่วนประกอบได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

- สารพื้น (Matrix) คือ ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุผสม โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าสารเสริมแรง สารพื้นจะเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่องและปกคลุมส่วนที่เป็นสารเสริมแรงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อวัสดุผสมได้รับภาระภายนอกกระทำ ภาระที่กระทำจะถูกส่งผ่านจากสารพื้นไปสู่สารเสริมแรงซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่า เป็นผลให้เกิดการรับภาระได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุที่เป็นสารพื้นที่ไม่มีการเสริมแรง

- ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ ส่วนประกอบที่ช่วยทำให้สมบัติความแข็งแรงของวัสดุผสมดีขึ้น โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าสารพื้น เป็นส่วนรับแรงที่ส่งผ่านมาจากสารพื้น ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรง ซึ่งจะทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น

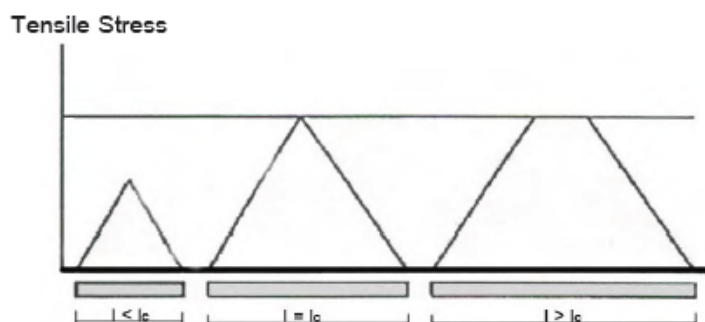
2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม

ปัจจัยในส่วนของอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยธรรมชาติ เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อสมบัติของวัสดุผสม วัสดุผสมที่มีเส้นใยสั้นเป็นสารเสริมแรงจะมีค่าวิกฤตของอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย (Critical Aspect Ratio, l/D Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เส้นใยรับความเค้นได้มากที่สุดในการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่เส้นใยและความเค้นเฉือนตามความยาวของเส้นใยที่วางตัวขนานกันกับทิศทางของภาระ (ดูภาพที่ 2.11) ส่วนในการเสริมแรงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในการผลิตวัสดุผสมควรจะมีค่ามากกว่าค่าอัตราส่วนความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤต เพื่อให้ค่าความเค้นที่มากที่สุดเคลื่อนที่ไปยังเส้นใยก่อนที่วัสดุผสมจะเกิดการเสียรูป หากอัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤตจะส่งผลทำให้เส้นใยไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเสริมแรง คือ เส้นใยสั้นกว่าจุดที่เกิดแรงเค้นมากที่สุดทำให้เส้นใยไม่สามารถรับแรงเค้นได้ ส่วนในกรณีที่อัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยสูงมากเกินไป ก็อาจจะทำให้เกิดการพันกันของเส้นใยในระหว่างการผสม เป็นผลทำให้เกิดปัญหาเส้นใยไม่กระจายตัวในระหว่างการผสมได้ เส้นใยเสริมแรงของวัสดุผสมจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุดค่าหนึ่ง เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ในการรับภาระที่ถูกส่งผ่านจากสารพื้นสู่เส้นใยได้ค่าความยาวอย่างน้อยที่สุดคานเรียกว่า ค่าความยาววิกฤต (Critical Length : l_c) แสดงดังภาพที่ 2.12



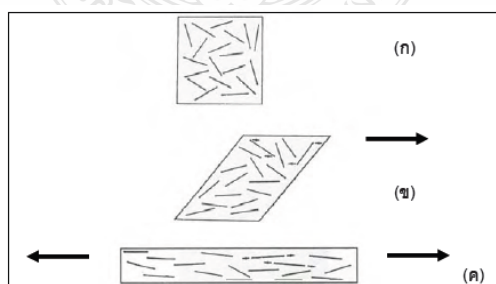
ภาพที่ 2.11 ค่าความเค้นดั่งที่เกิดขึ้นในเส้นใยและค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสเส้นใย

l = ความยาวของเส้นใย, D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤต



ภาพที่ 2.12 ผลของความยาวเส้นใยเสริมแรงที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย L = ความยาวของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤต

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม คือ การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง ซึ่งมีความสำคัญเท่าๆ กับความยาวของเส้นใยเสริมแรง การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุผสม การจัดเรียงตัวของเส้นใยในสารพื้นจะมีผลกับสมบัติไอโซโทรปิก (Isotropic) ของวัสดุคือ ถ้าหากเส้นใยจัดเรียงตัวกันในทิศทางที่สอดคล้องและเหมือนกันทุกพื้นที่แล้ว สมบัติโดยรวมของวัสดุผสมนั้นจะถือว่าเป็นไอโซโทรปิกแต่ถ้าการจัดเรียงตัวไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันเนื่องจากกรรมวิธีการผลิตหรือสาเหตุใดก็ตาม เช่นในวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นก็อาจจะทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปเป็นแอนไอโซโทรปิกได้ ในส่วนของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวต่อเนื่องก็มีสมบัติเป็นแอนไอโซโทรปิกได้เช่นกัน แต่จะอาศัยการจัดเรียงตัวในทิศทางที่ต้องการให้มีความแข็งแรงสูงสุดให้เป็นประโยชน์ เพื่อให้ได้ความแข็งแรงสูงสุดในทิศทางที่ต้องการ



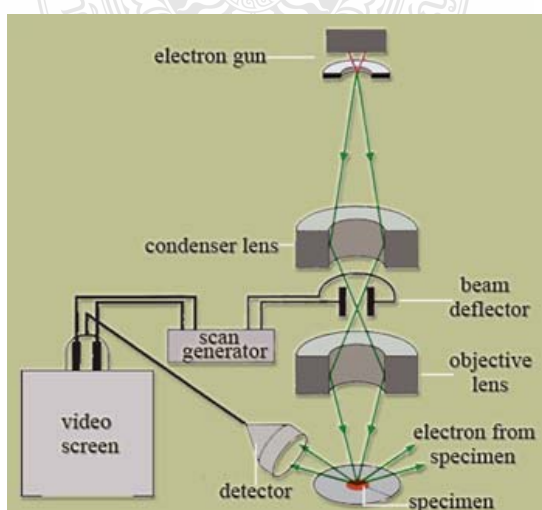
ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติ อย่างง่ายของก้อนวัสดุผสมเนื่องจากผลกระทบจากการไหล (ก) การกระจายตัวแบบสุ่ม (ข) การหมุนของเส้นใยเสริมแรงระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน (ค) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยืด

การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความหนืดของสารพื้นเมื่อมีการเติมเส้นใย การออกแบบแม่พิมพ์ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เนื่องจากการผลิตที่แตกต่างกันในหลายกระบวนการผลิตและผลกระทบจากกระบวนการไหลมีผลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติอย่างง่าย แสดงในภาพที่ 2.13

2.8 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุ

2.8.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) [52]

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM แสดงดังภาพที่ 2.14

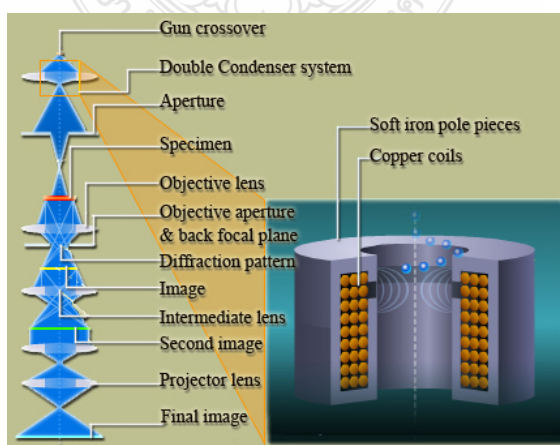


ภาพที่ 2.14 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM [52]

2.8.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบผ่าน (Transmission Electron Microscopy) [52]

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)

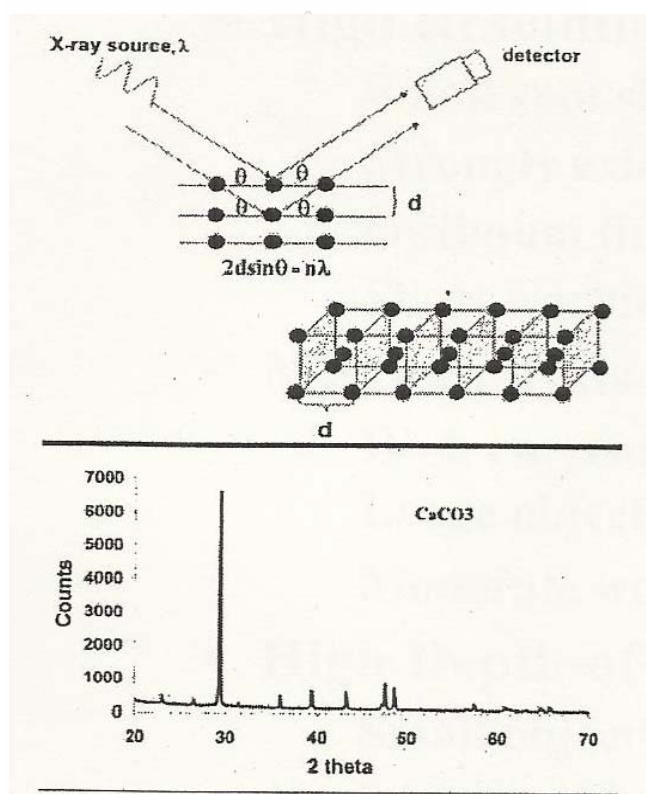
หลักการทำงานของเครื่อง TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (Projector Lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM [52]

2.8.3 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) [53]

เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ จากหลักการเบื้องต้นในปี ค.ศ. 1912 นาย W.L.Bragg ได้นำมาทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันขึ้นในปี 1948 และพัฒนามาเรื่อยๆ จนกระทั่งมีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานและวิเคราะห์ประมวลผล เพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น หลักการทำงานของเครื่อง XRD แสดงดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่อง XRD [53]

XRD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในกลุ่มนักวัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ สารประกอบและแร่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้ สามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสี ที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด โดยองค์กร

JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ ก็แตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิด จะมีรูปแบบ (XRD Pattern) เฉพาะตัว เปรียบเช่นเดียวกับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

จากหลักการทำงานของ XRD มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์วัสดุที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เหล็ก สูตรทางเคมีคือ Fe แต่มีโครงสร้างผลึกหลายรูปแบบ เช่น Body Center Cubic (BCC), Face Center cubic (FCC) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้สามารถบอกได้ว่าเหล็กตัวอย่างมีโครงสร้างแบบใด

2.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.9.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) [54]

การทดสอบแรงดึงถือได้ว่าเป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดก็ว่าได้สำหรับการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ โดยในการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานในทิศทางตรงกันข้ามกันเพื่อสร้างแรงดึงในชิ้นงาน ถึงแม้ในทางทฤษฎีการทดสอบประเภทนี้จะสามารถใช้งานในการทดสอบวัสดุทุกประเภท หากแต่ในทางปฏิบัติแล้ว การทดสอบแรงดึงมักจะใช้ในการทดสอบวัสดุประเภท โลหะและ โพลีเมอร์เป็นส่วนใหญ่

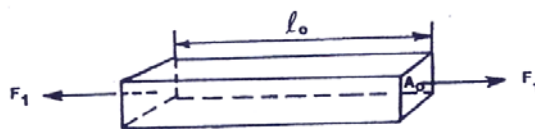
แรงที่ใช้ในการวัดความเค้น-ความเครียดโดยส่วนใหญ่เป็นการวัดภายใต้โหมดของแรงดึง (Tension) ดังภาพที่ 2.17 เมื่อให้แรงเข้าไป F_1 เพื่อทำให้ชิ้นงานยืดตัวออกและเมื่อสร้างความสัมพันธ์ของแรงที่ให้เป็นที่ขึ้นกับระยะยืด (Extension) ความเค้นเนื่องจากแรงดึงหรือความเค้นดึง (Tensile Stress; σ_1) สามารถคำนวณจากอัตราส่วนของแรงต่อพื้นที่เริ่มต้น ดังสมการ

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ_1 ความเค้นเนื่องจากการดึงตัวอย่าง

F_1 แรงที่ใช้ในการดึง (tensile force)

A_0 พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 2.17 ชิ้นงานภายใต้แรงดึง

ถ้าชิ้นงานถูกดึงด้วยความเค้นดึงจนมีความยาว L_1 จะพบว่าความเครียดเนื่องจากแรงดึงหรือความเครียดดึง (Tensile Strain; ϵ_1) หาได้จากการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นงานที่เวลาใด ๆ ต่อหน่วยความยาวเริ่มต้น ถ้าให้ L_0 เป็นความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน และ L_1 เป็นความยาว ณ เวลาที่เราสนใจ ดังนั้นความเครียดดึงสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการข้างล่าง

$$\epsilon_1 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{kt}{L_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ k คืออัตราในการยืด (rate of extension) และ t คือเวลา

ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็ง-เปราะอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก (Fracture) ผลที่ได้จากการวัดแรงกระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเราเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือความแกร่งต่อการดึง (Tensile Strength) ซึ่งแสดงดังสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ F คือแรง ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก และ A คือพื้นที่หน้าตัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักนั้น

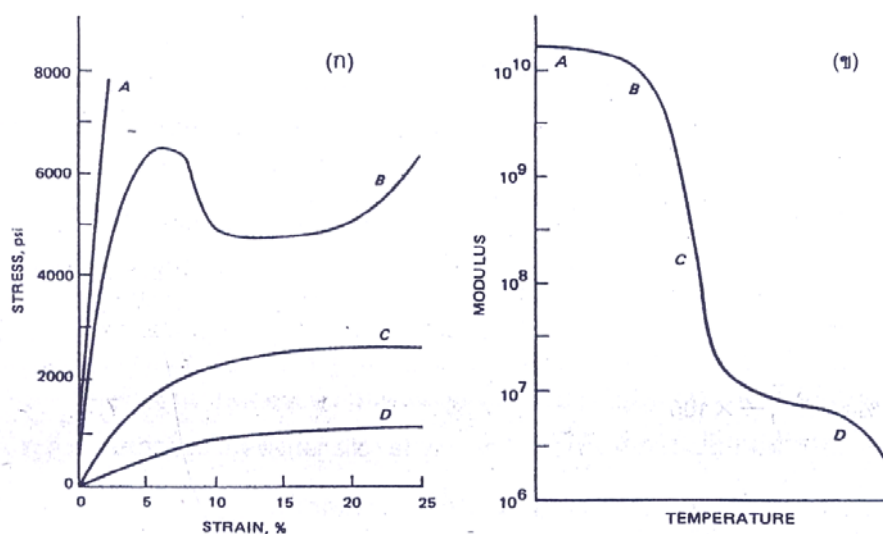
ในระหว่างกระบวนการดึง ชิ้นงานจะมีความยาวเพิ่มขึ้นแต่มีพื้นที่หน้าตัดลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นเราถือว่าปริมาตรของชิ้นงานมีค่าคงที่ (ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาในการดึงเพิ่มขึ้น) โดยทั่วไปความเค้นดึงมักวางอยู่บนพื้นฐานของพื้นที่หน้าตัดที่วัดได้ขณะเริ่มทำการทดสอบ (A_0) อย่างไรก็ตามเพื่อให้การทดสอบมีค่าถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในการคำนวณ

การยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break; ϵ) หรือการยืดตัวสูงสุด (Ultimate Elongation) สามารถเขียนในเทอมของเปอร์เซ็นต์ของความยาวต่อความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

$$\% \epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ L เป็นความยาวของชิ้นงาน ณ จุดที่เกิดการแตกหัก

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของโพลีเมอร์อสัญฐานแต่ละชนิดกับอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 2.18 (ก) และเส้นโค้งมอดูลัส-อุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 2.18 (ข) เมื่อเริ่มทำการทดสอบโพลีเมอร์ถูกทำให้เย็นตัวต่ำกว่าอุณหภูมิในสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ซึ่งโพลีเมอร์แสดงสมบัติเปราะคล้ายแก้ว (Brittle) ตามเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (A) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสมบัติของโพลีเมอร์จะค่อย ๆ เปลี่ยนผ่านสมบัติซึ่งมีความเหนียว (Ductile) เพิ่มขึ้นตามเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (B) ถ้าการเพิ่มอุณหภูมียังคงดำเนินต่อไปอีก สมบัติที่แสดงออกมาของโพลีเมอร์ค่อย ๆ เปลี่ยนจากความเหนียวเป็นความยืดหยุ่นซึ่งเป็นสมบัติของอีลาสโตเมอร์และยาง ตามเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (C) และ (D) ตามลำดับ ในวัสดุที่มีความยืดหยุ่นหรือยืดตัวสูง ถ้าเราดึงโพลีเมอร์ชนิดนี้ด้วยแรงซึ่งยังไม่สูงพอที่ทำให้โพลีเมอร์นั้นแสดงจุดคราก (Yield Point) เมื่อมีการปล่อยหรือลดแรงดึงซึ่งกระทำต่อวัสดุลง เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดของวัสดุสามารถผันกลับได้ (Reversible) หรือโพลีเมอร์ซึ่งถูกยืดตัวออกด้วยระยะยืดค่าหนึ่งสามารถหดตัวกลับสู่ความยาวเริ่มต้น (ระยะยืดเท่ากับศูนย์) การวัดความเค้น – ความเครียดของโพลีเมอร์อสัญฐานนั้นเราสามารถทำได้โดยการทดสอบชิ้นงานที่สถานะเดียวกัน (ทั้งเวลาและอุณหภูมิ) เพื่อผลิตเส้นโค้งต้นแบบ (Master Curve) เส้นโค้งต้นแบบนี้ใช้ในการทำนายข้อมูลระยะเวลาล่วงหน้าจากข้อมูลในระยะสั้น ๆ ที่ได้จากการทดลองในช่วงที่โพลีเมอร์แสดงสมบัติยืดหยุ่นเหมือนยาง



ภาพที่ 2.18 (ก) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของโพลิเมอร์ชนิดเดียวกัน เมื่อวัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน
 (ข) ข้อมูลของรูป ก เมื่อเขียนอยู่ในลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสและอุณหภูมิ

2.9.2 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Test) [55]

การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการส่งถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุ ค่าความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน (Shock Load) แม้พลังงานไม่สามารถสร้างและทำลาย แต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไปในหลายลักษณะ เช่น ถูกใช้ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุ และแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ เป็นต้น โดยการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักร ประการแรกต้องให้ชิ้นงานสามารถดูดซับพลังงานให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงของการยืดหยุ่น และประการที่สองคืออาศัยการห้วงบางรูปแบบเพื่อลดการดูดซับพลังงานของเครื่อง ในการทดสอบการกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ชิ้นทดสอบแตกหัก โดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่ง ดังสมการ

$$W = FD \quad (2.5)$$

เมื่อ W คืองาน (ปอนด์ฟุต หรือ นิวตันเมตร)

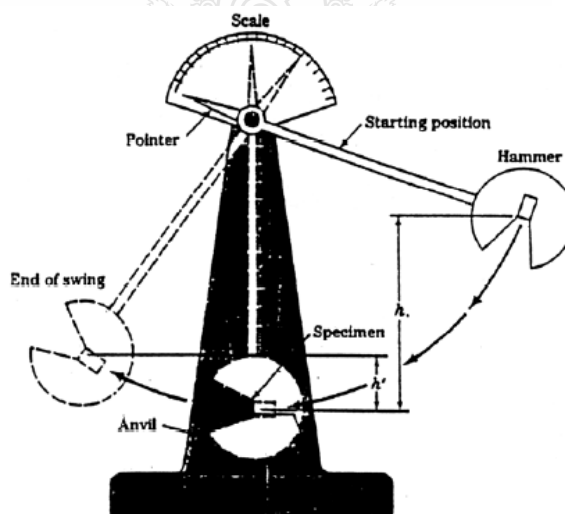
F คือแรงที่กระทำ (ปอนด์ หรือ นิวตัน)

D คือระยะทางในช่วงที่แรงกระทำ (นิ้ว หรือ เมตร)

วัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกคือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทกอย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักแน่นอนลงบน ชิ้นทดสอบด้วยความสูงค่าหนึ่ง ดังภาพที่ 2.19 แล้วทำการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานการกระแทกหรือความต้านทานการกระแทกของวัสดุจากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของ ลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทกด้วยสมการต่อไปนี้

$$E = w(h-h') \quad (2.6)$$

- หรือ = $mg(h-h')$ (ในหน่วยเมตริก)
 เมื่อ E คือพลังงานที่ได้จากการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (ปอนด์ฟุต หรือ นิวตันเมตร)
 w คือน้ำหนักของลูกตุ้ม (ปอนด์)
 m คือมวลของตุ้มน้ำหนัก (กิโลกรัม)
 h, h' คือความสูงของลูกตุ้มก่อนและหลังกระแทกตามลำดับ (ฟุต หรือ เมตร)
 g คืออัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)



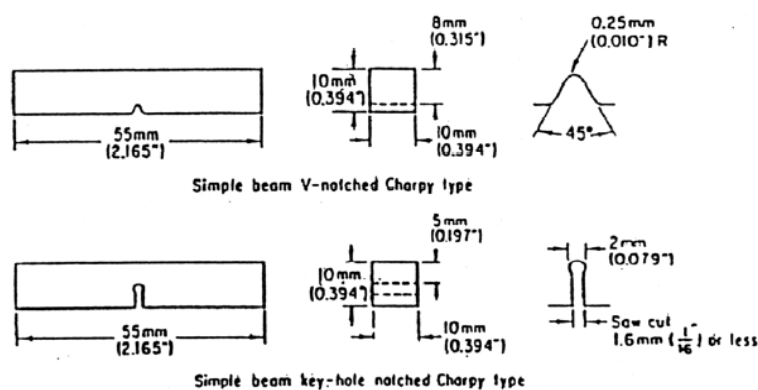
ภาพที่ 2.19 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก

การทดสอบที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ การทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอด (Charpy and Izod Impact Tests) โดยการทดสอบทั้งคู่นี้จะทำการใส่แรงกระทำด้วยการเหวี่ยงลูกตุ้มและใช้ชิ้นทดสอบที่มีร่องบากและมีขนาดเล็กและการทดสอบจะเป็นการใส่แรงด้วยการดัดงอ

การทดสอบทั้งสองแบบนี้ต่างกันที่การออกแบบชิ้นทดสอบและความเร็วของลูกตุ้มในการกระแทกชิ้นทดสอบ ในการทดสอบแบบชาร์ปีชิ้นทดสอบจะถูกยึดในลักษณะเป็นคานเดี่ยว (Single Beam) แล้วตีกระแทกที่บริเวณด้านหลังของ ร่องบาก ส่วนในการทดสอบแบบไอซอดจะยึดชิ้นงานในรูปของคานโยค และตีกระแทกที่ปลายอีกข้างหนึ่งด้านหน้าร่องบาก

2.9.2.1 การทดสอบแบบชาร์ปี (Charpy Test)

เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีปกติจะมีขนาด 220 ปอนด์ฟุตสำหรับทดสอบ โลหะ และ 4 ปอนด์ฟุตสำหรับชิ้นงานพลาสติก (ASTM E23) ลูกตุ้มประกอบด้วยแขนยึดลูกตุ้มที่ค่อนข้างเบาแต่แข็งแรงและมีก้อนน้ำหนักติดอยู่ที่ปลายลูกตุ้มนี้จะเคลื่อนผ่านระหว่างขาตั้งเครื่องสองขา โดยมีใบมีดติดไว้ที่ขอบด้านที่จะกระแทกกับชิ้นทดสอบ ซึ่งต้องกระทบกับชิ้นงานบริเวณด้านหลังและเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของร่องบาก

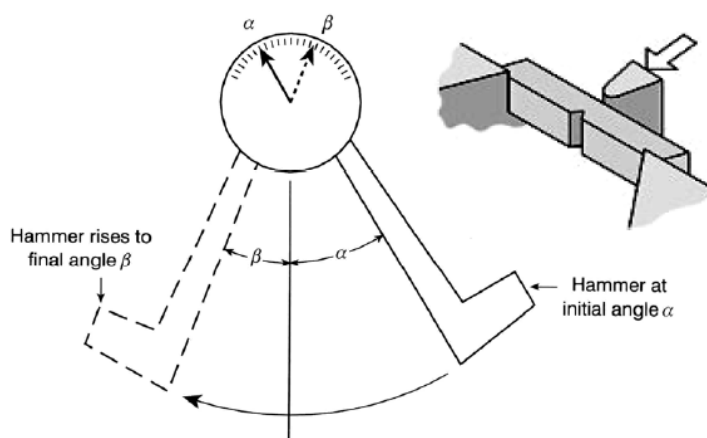


ภาพที่ 2.20 ชิ้นงานมาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี

ชิ้นทดสอบมาตรฐานมีขนาด 10 x 10 x 55 มิลลิเมตร และมีการบากตรงกลางชิ้นงาน ไว้ที่ด้านหนึ่ง ซึ่งบางการทดสอบต้องการร่องบากที่เป็นแบบรูกุญแจ (Keyhole Notch) หรือเป็นแบบตัวยู (U-Shaped Notch) ดังภาพที่ 2.20 โดยชิ้นทดสอบจะถูกวางไว้ระหว่างแท่นรองรับชิ้นงาน โดยวางให้ฝั่งตรงข้ามร่องบากหันไปในทางที่จะทำการกระแทก คือใบมีดที่ติดอยู่กับ ลูกตุ้ม จะต้องกระแทกเข้ากับด้านหลังร่องบากของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างแท่น รองรับชิ้นงาน ดังภาพที่ 2.21 จากนั้นทำการยกลูกตุ้มขึ้นไปยังมุมก่อนกระแทก แล้วปล่อยลูกตุ้ม เหวี่ยงลงมากระแทกกับชิ้นทดสอบ

ลูกตุ้มกระแทกต้องยกขึ้นด้วยมุมที่ทราบค่าแน่นอนคือ α ดังภาพที่ 2.21 ในทางทฤษฎี ถ้าลูกตุ้มไม่มีความต้านทานใดๆ เมื่อทำการปล่อยลูกตุ้มควรมีมุมหลังเหวี่ยงที่ด้านตรงข้าม

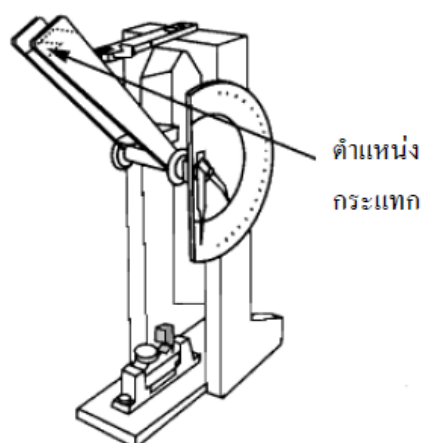
เท่ากับมุม α เท่าเดิม ซึ่งในความเป็นจริงจะมีความเสียดทานของเครื่อง ดังนั้นในการทดสอบ ควรรวมพลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานเหล่านี้ด้วย เมื่อทำการทดสอบให้ยกลูกตุ้มไปที่มุม α จากนั้นวางขึ้นทดสอบเข้ากับแท่นวาง ปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมาโดยให้เหวี่ยงอย่างอิสระ เมื่อลูกตุ้มเหวี่ยงกระทบกับขึ้นทดสอบจะเกิดการถ่ายพลังงานส่วนหนึ่งให้กับขึ้นทดสอบจน เกิดการแตกหัก จากนั้นลูกตุ้มจะเหวี่ยงเลยไปยังฝั่งตรงข้ามด้วยมุมยกเท่ากับ β



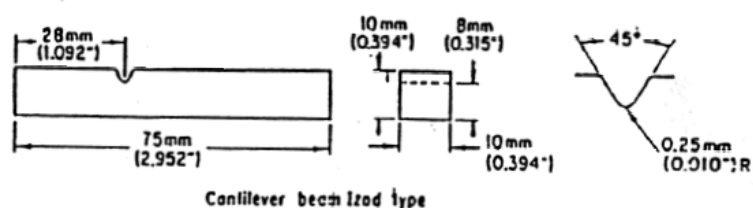
ภาพที่ 2.21 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี

2.9.2.2 การทดสอบแบบไอซอด (Izod Test)

เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอดปกติจะมีขนาด 120 ปอนด์ฟุต ส่วนการทดสอบ จะเป็นแบบเดียวกันกับแบบชาร์ปี ถึงแม้ว่าขึ้นทดสอบและรูปแบบการทดสอบจะต่างกัน ในการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด ลูกตุ้มจะกระแทกด้านหน้าของขึ้นทดสอบที่มีร่องบาก ดังภาพที่ 2.22 ซึ่งจะกลับกันกับการทดสอบแบบชาร์ปี ส่วนขึ้นทดสอบแบบไอซอดจะมีขนาด 10 x 10 x 75 มิลลิเมตร โดยมีมุมของร่องบาก 45° ลึก 2 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2.23 ความแข็งแรงการกระแทกของขึ้นทดสอบจะขึ้นอยู่กับค่ามุมหลังกระแทก ซึ่งปกติค่าพลังงานการกระแทก ในหน่วยปอนด์ฟุตสามารถอ่านได้โดยตรงจากหน้าปัดเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 2.22 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอด

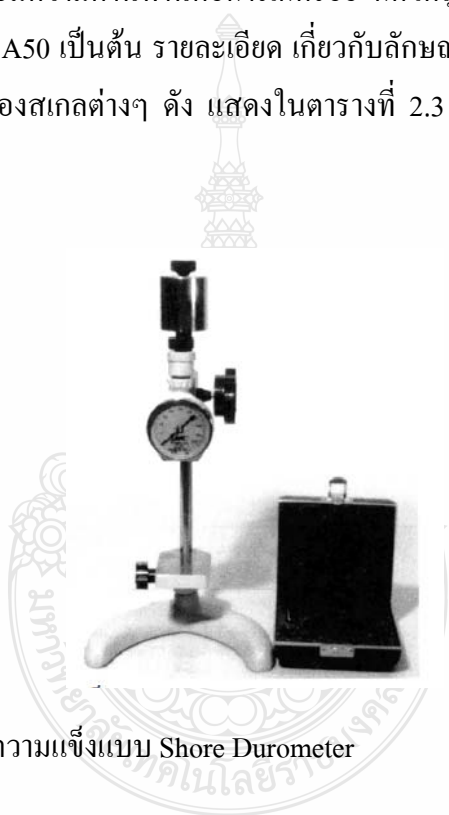


ภาพที่ 2.23 ชิ้นทดสอบมาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด

2.9.3 การทดสอบความแข็งแบบ Durometer [56]









Durometer มีหลายชนิด การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ โดยหลักการทำงานของเครื่องแต่ละแบบจะเหมือนกัน ต่างกันเฉพาะความคมของปลายแหลม ของหัวกด และขนาดของน้ำหนักกดที่ได้จากแรงส่งของสปริงขนาดต่างๆ การวัดค่าความแข็ง จะได้จากค่าความลึกของรอยกด โดยค่าความแข็งจะเริ่มจาก 100 ที่ความลึกรอยกดเท่ากับ ศูนย์ จนถึงค่าความแข็งเท่ากับศูนย์ที่ความลึกรอยกด 0.1 นิ้ว โดยน้ำหนักกดที่กระทำกับหัว กดจะแปรผกผันกับความลึกรอยกด กล่าวคือวัสดุแข็งที่ให้ความลึกรอยกดน้อยให้เลือกใช้ Durometer ที่มีน้ำหนักกดสูงๆ ส่วนวัสดุอ่อนที่ให้ความลึกรอยกดมากให้ใช้ชนิดที่มีน้ำหนัก กดต่ำๆ ชิ้นทดสอบควรมีความหนาอย่างน้อย 1/4 นิ้ว และในการทดสอบให้เว้นระยะจาก ขอบชิ้นทดสอบอย่างน้อย 1/2 นิ้ว ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบด้วย Durometer ชนิด หนึ่งไม่สามารถใช้เปรียบเทียบหรือแปลงค่าไปเป็นค่าความแข็งของ Durometer อีกชนิดหนึ่งได้

Durometer แบบ Shore เป็นเครื่องทดสอบด้วยมือซึ่งออกแบบให้ใช้ในการทดสอบความแข็งกับวัสดุอ่อน เช่น ยาง พลาสติก และวัสดุประกอบต่างๆ (Composites) ภาพที่ 2.24 แสดงเครื่องทดสอบ Durometer แบบ Shore ซึ่งมีสองชนิดพื้นฐานได้แก่ Shore A กับ D ทั้งสองชนิดนี้มีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกัน คือสปริงจะส่งน้ำหนักไปยังหัวกดซึ่งจะกดลงบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ความต้านทานต่อการเกิดรอยกดของพื้นผิวชิ้นทดสอบสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัด Durometer โดยแบบ A จะมีสปริงที่ให้น้ำหนักกดระหว่าง 56-822 กรัม ส่วนแบบ D น้ำหนักกดอยู่ในช่วง 0-10 ปอนด์ ทั้งสองแบบนี้อ่านค่าความแข็งได้จาก 0- 100 กล่าวคือวัสดุที่อ่านค่าได้สูงแสดงว่ามีความแข็งมากหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอย กดได้สูง ส่วนการแสดงผลหน่วยจะขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้เช่น 50A หรือ A50 เป็นต้น รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของหัวกด น้ำหนักกดที่ได้จากสปริง ลักษณะการใช้งานของสเกลต่างๆ ดัง แสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240



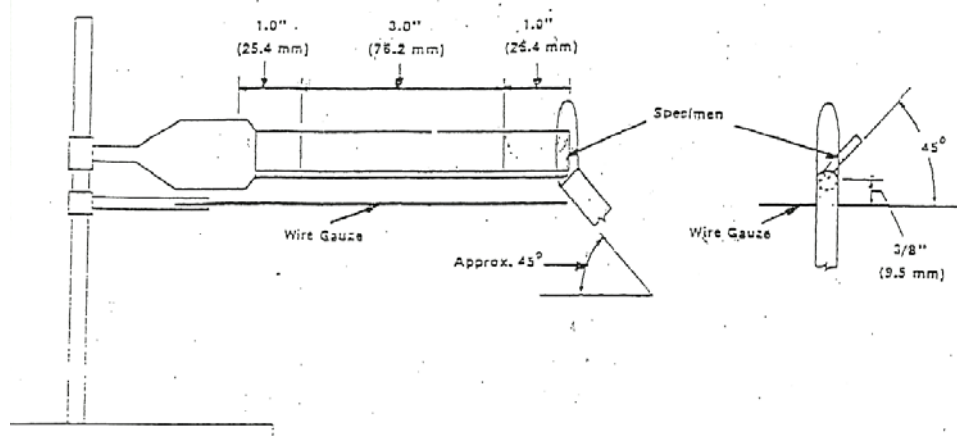
ภาพที่ 2.24 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งแบบ Durometer

สเกล	น้ำหนัก จากสปริง	รายละเอียด หัวกด	รูปหัวกด	ประเภทชิ้นงาน ที่ใช้ในการทดสอบ
A	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหนังเทียม wax หรือวัสดุ กลุ่ม elastomer ที่อ่อนนุ่ม
B	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือ elastomer ที่มีความ แข็งไม่มากนัก
C	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็ง ปานกลาง
D	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็ง มาก
DO	4.5 kgf 10 lbs	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"		ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอง เส้นใยชนิดหนาแน่น
O	821 gf 1.81 lbs	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"		ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอง เส้นใยชนิดนุ่ม
OOO	113 gf 4.0 oz	ครึ่งทรงกลม ขนาด 1/2"		ยางหรือวัสดุที่อ่อนนุ่มมาก เช่น open cell foam
SL	142 gf 50 oz	วงกลม ขนาด Ø 0.5"		โฟมพลาสติก หรือโฟมยาง

2.10 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL-94

UL 94 คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟด้วยวิธี Bunsen Burner Flammability ซึ่งสามารถทดสอบได้ 2 แบบคือ แบบ HB Test และแบบ V Test



ภาพที่ 2.25 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL-94HB

HB Test คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟของชิ้นงานตามแนวนอน ลักษณะการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.25 โดยนำชิ้นงานพลาสติกมาเผาด้วยเปลวไฟเป็นเวลานาน 30 วินาที กำหนดระยะเวลาของชิ้นงานตามแนวนอนห่างจากเปลวไฟไม่เกิน 25.4 มิลลิเมตร

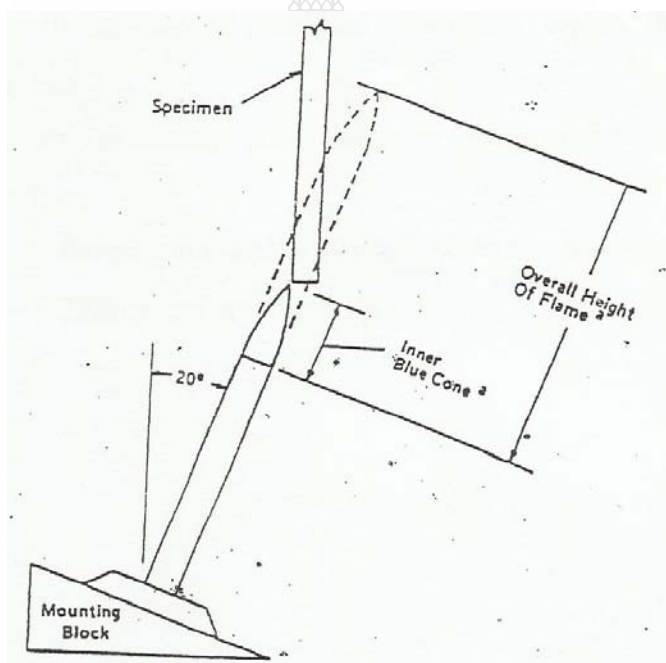
V Test คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟของชิ้นงานตามแนวตั้ง ลักษณะการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.26 โดยใช้เปลวไฟที่มีความแรงเป็น 2 เท่าของ HB Test สำหรับการทดสอบแบบ V Test จะมีการแปรระดับการติดไฟด้วยดังนี้

V-0 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 10 วินาที

V-1 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 30 วินาที

V-2 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 30 วินาที

โดย V-1 และ V-2 จะแตกต่างกันตรงที่ V-2 สำลีได้ตะเกียงจะติดไฟจากหยดพลาสติกที่หล่นลงมาแต่ V-1 ไม่ติดไฟ



ภาพที่ 2.26 การทดสอบการลามไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL-94V

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การสังเคราะห์อนุภาคนาโน และการนำอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปผสมในพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดงานฉีดและเปรียบเทียบกับวัสดุนาโนที่มีขายในท้องตลาด

3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน

เนื่องจากการสังเคราะห์แผ่นแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในปัจจุบันนี้ สามารถทำการสังเคราะห์ได้ในขนาดห้องทดลองเท่านั้น ทำให้ในการสังเคราะห์แต่ละครั้งนั้นได้ปริมาณอนุภาคนาโนประมาณ 0.2-0.5 กรัมต่อครั้ง โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีลักษณะดังภาพที่ 3.1



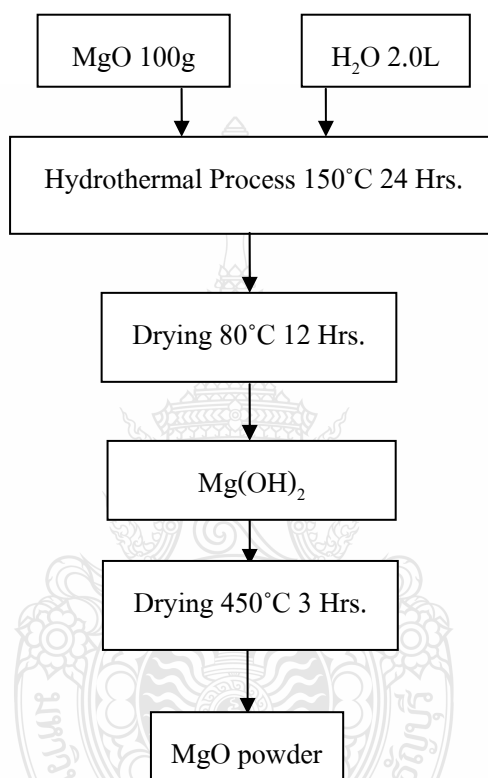
ภาพที่ 3.1 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ [57]

และจากการพัฒนาการสังเคราะห์นาโนไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ของ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีห์ และคณะ [58] ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยวิธี Hydrothermal โดยใช้เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร โดยวิธีการดังกล่าวจะมีข้อเด่นที่แตกต่างจากวิธีต่างๆ ก็คือ

- ต้นทุน เครื่องมือ วัสดุและสารเคมี มีราคาถูก หาซื้อได้ง่ายในประเทศ
- วิธีการสังเคราะห์ง่าย และสะดวก ไม่ยุ่งยาก

- ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำ (ประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส)
- ไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
- มีโอกาสที่จะขยายขนาดการผลิตเป็นหลักกิโลกรัมได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการสังเคราะห์โดยทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์โดยทำการสังเคราะห์ตามกระบวนการที่แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตวัสดุนาโนแมกนีเซียมออกไซด์แบบไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ที่ใช้ในการทดลอง

ซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ดังภาพที่ 3.3 โดยโครงสร้างของตัวถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมภายในบุด้วยเทปลอน มีฝาปิด



ภาพที่ 3.3 เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร[58]

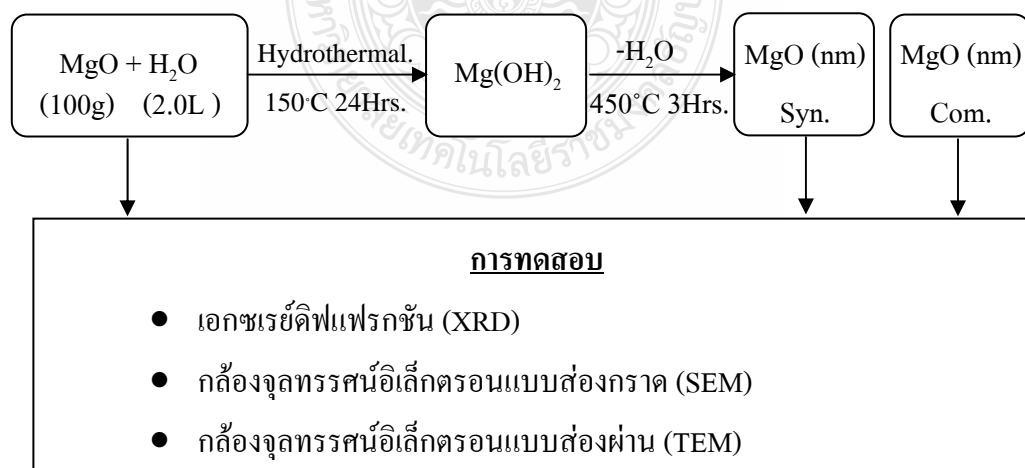
3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอนที่ดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ระยะการทดลอง คือ

3.2.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 24 ชั่วโมง

3.2.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 3.4

3.2.3 การนำอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในพลาสติกโพลีโพรพิลีนและทำการทดสอบสมบัติเชิงกล



ภาพที่ 3.4 แผนผังการทดสอบแมกนีเซียมออกไซด์

3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์

3.3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตร
- น้ำกลั่น (H₂O)

3.3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์

- เครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร ดังภาพที่ 3.3
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.5



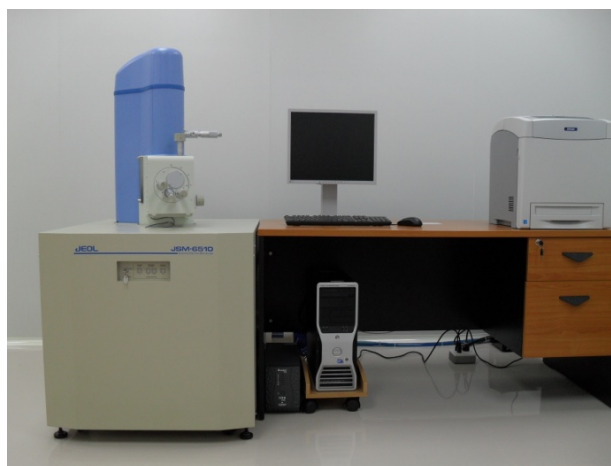
ภาพที่ 3.5 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

- เตาเผาซีร็อก CARBOLITE รุ่น CWF1200 ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 เตาเผาอุณหภูมิสูง ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM6510 ดังแสดงในภาพที่ 3.7



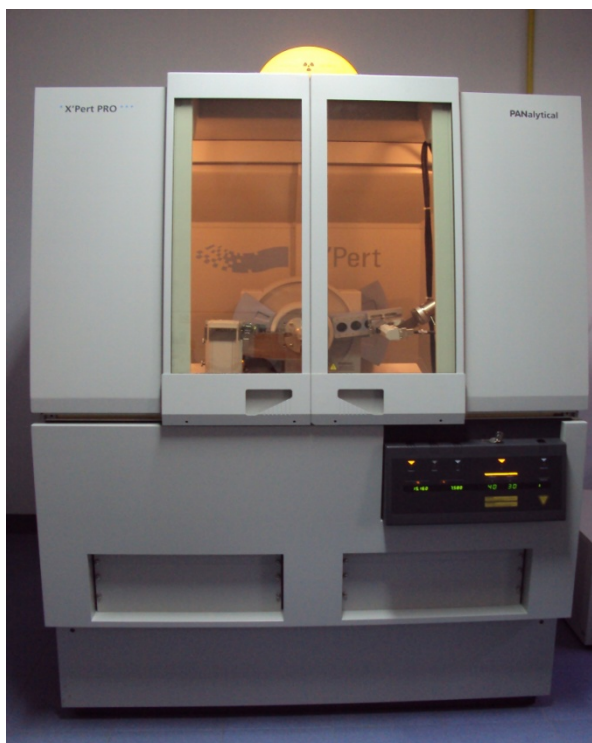
ภาพที่ 3.7 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM 2010 ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) ณ ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ (MTEC)

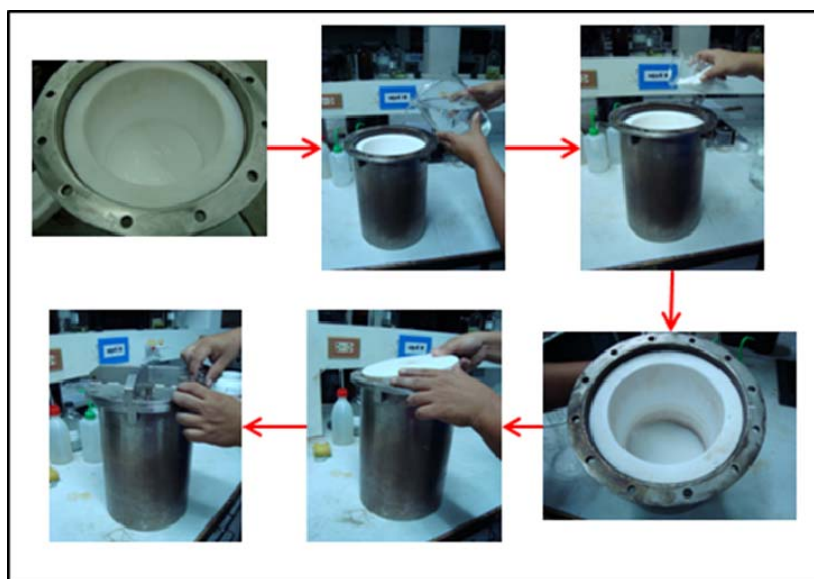
- เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) ดังแสดงใน
ภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

3.4.1 ใส่แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสารลงไปในถังปฏิกรณ์ (Autoclave) ของเครื่องสังเคราะห์ที่ทำมาจากเทปลอนจากนั้นเติมน้ำกลั่น (H_2O) จำนวน 2 ลิตร ลงไปในถังสังเคราะห์ของเครื่องสังเคราะห์ และใส่แมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับไมโครเมตรลงไปจำนวน 100 กรัม แล้วจึงปิดฝาถังของเครื่องสังเคราะห์ให้แน่น ดังแสดงขั้นตอนดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมสารใส่ในถังปฏิกรณ์ (Autoclave)

3.4.2 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องสังเคราะห์

3.4.3 เปิดเครื่องและตั้งอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

3.4.4 ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน

3.4.5 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แล้วปิดเครื่องสังเคราะห์และปล่อยให้เย็นตัวด้วยบรรยากาศ

3.4.6 เมื่อเย็นตัวแล้ว จึงเปิดฝาดังเครื่องสังเคราะห์ จะพบว่าแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใส่ลงไปนั้นมีสภาพเป็นสารสีขาวและอยู่ในสภาพตกตะกอน

3.4.7 ทำการเทน้ำที่แยกตัวออกมาจากตะกอนทิ้งไปจะเหลือเพียงสารที่ตกตะกอนสีขาว

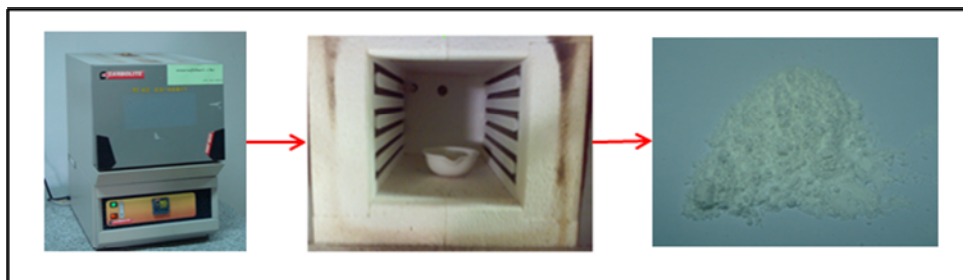
ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ลักษณะของแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์

3.4.8 นำสารที่ได้ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้สารที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว

3.4.9 นำสารที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การนำสารที่ได้ไปให้ความร้อนในเตาเผา

3.4.10 จากนั้นจึงไปวิเคราะห์ และตรวจสอบ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของรูปร่าง ขนาดและโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนด้วยวิธี

ก. วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD)

ข. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ค. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)

3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโน

การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโน โดยอนุภาคนาโนที่ศึกษา คืออนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เพื่อศึกษาสมบัติของอนุภาคนาโน ดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคนาโนด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

XRD เป็นเครื่องมือที่วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโน โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ดังนี้

- บดตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ละเอียดแล้วใส่ลงในเบ้าแก้วโดยเกลี่ยให้เต็มแล้วกดให้แน่น

- นำตัวอย่างเข้าเครื่อง XRD เพื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น โดยเทียบกับตารางค่ามาตรฐาน โดยทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาตัวอย่างผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของอนุภาคนาโน โดยทำการทดลองดังนี้

- นำตัวอย่างมาวางบน Stub ด้วยเทปสองหน้าหรือกาว
- นำตัวอย่างไปฉาบผิวด้วยทอง โดยเครื่อง Ion Sputter
- นำตัวอย่างไปส่องดูโครงสร้างทางกายภาพด้วยเครื่อง SEM

3.5.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

TEM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาตัวอย่างผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของอนุภาคนาโนว่าจะมีลักษณะที่เป็นท่อหรือว่าเป็นเส้นตรง โดยจะนำอนุภาคนาโนมาทำการทดลอง ดังนี้

- นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ในหลอดทดลอง โดยใส่สารละลายเอทานอล
- ทำให้ตัวอย่างแตกตัว โดยใส่ในเครื่องอัลตราโซนิกส์ นาน 30 นาที
- หยดสารละลายที่เตรียมไว้ลงบนกริดทองแดง
- ทำให้กริดแห้ง โดยใช้คอมไฟส่องให้ความร้อน
- นำกริดที่เตรียมได้ดังภาพที่ 3.13 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM โดยทำการทดสอบที่

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ



ภาพที่ 3.13 การเตรียมกริด

3.6 การนำอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ผสมในโพลีโพรพิลีน

3.6.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองคือ

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร เกรด 1124-500G จากบริษัท Ajax Finechem : Commercial MgO (μm)

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคนาโนเมตร เกรด 549649-5G จากบริษัท ซิกมา -แอลดริช (Sigma-Aldrich) : Commercial MgO (nm)

- แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคนาโนเมตร ที่ได้จากการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร : Synthesized MgO (nm)

- โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) ชนิดที่ใช้ในงานฉีด เกรด P840J ผลิตโดยบริษัท Thai Polypropylene

3.6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุ

- เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer)

- เครื่องบดพลาสติก

3.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

- เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine)

3.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบโพลีโพรพิลีน

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester)

- เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Tester)

- เครื่องทดสอบความแข็ง (Shore Durometer)

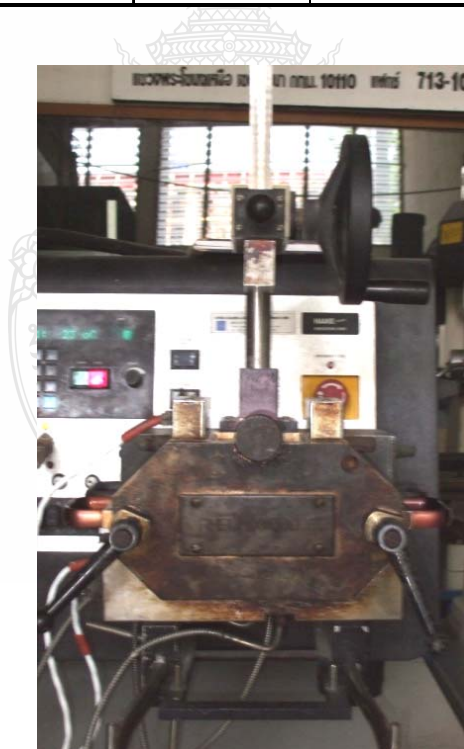
- เครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุ (Flamability Tester)

3.6.5 วิธีการเตรียมโพลีโพรพิลีน

การเตรียมโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ที่อัตราส่วน 0.1, 0.5 และ 1.0% ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ดังภาพที่ 3.14 โดยสภาวะที่ใช้ในการผสมคืออุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบใบกวน 40 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการผสม 8 นาที จะได้วัสดุที่มีรูปร่าง ดังภาพที่ 3.15

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมของโพลีโพรพิลีนและแมกนีเซียมออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตรที่	ปริมาณที่ใช้ผสม (g)			
	PP	Commercial MgO(μm)	Synthesized MgO(nm)	Commercial MgO(nm)
1	100.00	-	-	-
2	99.90	0.10	-	-
3	99.50	0.50	-	-
4	99.00	1.00	-	-
5	99.90	-	0.10	-
6	99.50	-	0.50	-
7	99.00	-	1.00	-
8	99.90	-	-	0.10
9	99.50	-	-	0.50
10	99.00	-	-	1.00



ภาพที่ 3.14 เครื่องผสมแบบปิด Haake Rheodrive Mixer



ภาพที่ 3.15 ลักษณะโพลีโพรพิลีนที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด

จากนั้นนำโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เย็นตัวแล้วไปบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติก ดังภาพที่ 3.16 จะได้โพลีโพรพิลีนที่บดเป็นเม็ดดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.16 เครื่องบดพลาสติก



ภาพที่ 3.17 ลักษณะของโพลิโพรพิลีนที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

นำพลาสติกที่ได้จากการบดไปฉีดขึ้นรูปให้เป็นชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ Battenfeld รุ่น BA250 CDC ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังภาพที่ 3.18 โดยสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปคืออุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แรงฉีด 80 บาร์ได้ชิ้นทดสอบดังแสดงในดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.18 เครื่องฉีดพลาสติก



ภาพที่ 3.19 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป

3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์

หลังจากได้ชิ้นงานทดสอบดังภาพที่ 3.19 แล้ว นำไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆ คือ ทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ทดสอบความแข็งของวัสดุ (Shore Durometer) ทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และทดสอบสมบัติการลามไฟ (Flammability)

3.7.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

- ทำการตัดแต่งชิ้นงานที่ได้จากการฉีดจะได้ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ดังภาพที่ 3.20 โดยเตรียมแบทช์ละ 10 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.20 ชิ้นงานสำหรับทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

- นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester ดังภาพที่ 3.21 โดยนำตัวอย่างหนีบที่หัวจับยึด และกดเซตค่าแรงดึงที่เครื่องให้เป็นศูนย์ และกด “เริ่ม” เพื่อเริ่มการทดสอบการทดสอบเสร็จสิ้นเมื่อชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน
สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

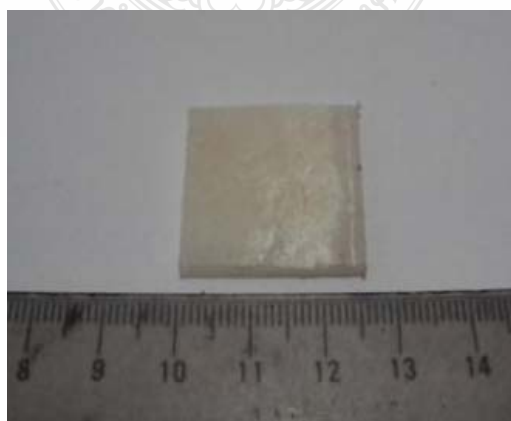
- | | |
|---------------------|-------------|
| 1) อุณหภูมิการทดสอบ | 23°C |
| 2) Speed | 50 mm./min. |
| 3) Load Cell | 20 KN. |
| 4) Gage Length | 115 mm. |



ภาพที่ 3.21 เครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Tester)

3.7.2 การทดสอบความแข็งแรงโดยใช้วิธี Shore Durometer

- เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการตัดชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป จากนั้นเลื่อยเป็นชิ้นงานทดสอบขนาดประมาณ 25x25 มม. ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer

- ทำการทดสอบความแข็งโดยด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบ Shore Durometer รุ่น 409 ดังภาพที่ 3.23 โดยเลือกใช้การทดสอบแบบสเกล D



ภาพที่ 3.23 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer

- วางชิ้นทดสอบบนแท่นวางชิ้นงาน
- ทำการหมุนยกแท่นชิ้นงานขึ้นให้หัวทดสอบกดลงบนชิ้นงานและยก Load ขนาด 5 กิโลกรัมขึ้นค้างไว้เป็นเวลา 10 วินาที
- อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัทม์

3.7.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

การเตรียมชิ้นทดสอบโดยนำชิ้นทดสอบที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปมาทำการตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 63.5 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.24 จากนั้นนำไปทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ด้วยเครื่องบากชิ้นงานดังภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.24 ชิ้นทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256



ภาพที่ 3.25 เครื่องบากชิ้นงาน

โดยมีขั้นตอนในการเตรียมคือ

- วางชิ้นงานในแนวนอน บนที่ใส่ชิ้นงานแล้วจับชิ้นงานด้วยตัวยึดและให้ชิ้นงานสัมผัสกับใบมีด

- เปิดเครื่อง ใบมีดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยความเร็ว 0.3-0.7 เมตรต่อวินาที

- หมุนแท่นที่วางชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนไปข้างหน้าใบมีดจะบากชิ้นงานตามที่ต้องการ (2.54 มิลลิเมตร)

หลังจากทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐานแล้วต้องพักชิ้นทดสอบไว้ 1 วัน จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทกดังภาพที่ 3.26



ภาพที่ 3.26 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

โดยขั้นตอนการทดสอบคือ

- ทำการวัดความกว้างและหนาของแต่ละชั้นทดสอบ
- เลือกชนิดก้อนที่พลังงานต่ำสุด (2 จุด) และทำการจับยึดกับเครื่อง
- ยกก้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้น
- วางชั้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐาน โดยให้ตรงมุมแหลมของรอยอยู่ตรงตำแหน่งของตัวจับขึ้นงาน
- กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน
- ถ้าตัวอย่างไม่เกิดการแตกหัก ให้เปลี่ยนก้อนที่มีค่าพลังงานสูงขึ้น จนกว่าจะทำให้ตัวอย่างแตกหัก
- ถ้าเกิดการแตกหัก อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก
- นำค่าพลังงาน (J) มาคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 256

3.8 การทดสอบสมบัติการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์

3.8.1 เตรียมชั้นทดสอบโดยนำชั้นทดสอบที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปมาทำการตัดให้มีขนาดกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 127 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตรตามมาตรฐานการทดสอบ UL-94HB ดังภาพที่ 3.27



ภาพที่ 3.27 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการลามไฟของวัสดุ

3.8.2 นำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุดังภาพที่ 3.28 โดยทำการจับยึดตามมาตรฐานการทดสอบ UL-94HB



ภาพที่ 3.28 เครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุ



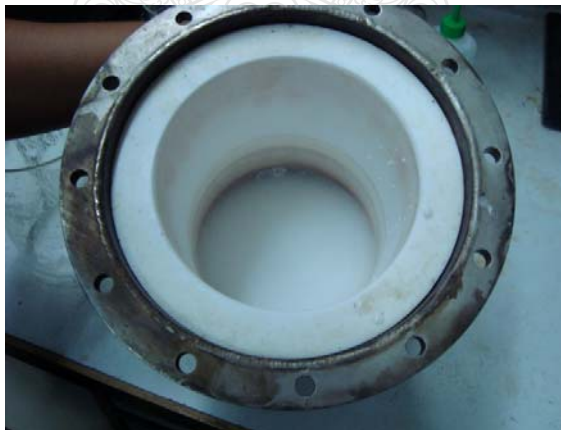
บทที่ 4

ผลการทดลอง

หลักการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในอนุภาคระดับนาโนเมตร สามารถทำการสังเคราะห์ได้ในขนาดห้องทดลองเท่านั้นทำให้ได้ปริมาณอนุภาคนาโนประมาณ 0.2-0.5 กรัมต่อครั้ง โดยการทดลองขยายขนาดการสังเคราะห์ประมาณ 100-200 เท่า ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร มาทำการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในอนุภาคระดับนาโนเมตร

4.1 ผลการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร

การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตรด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าหลังจากแมกนีเซียมออกไซด์ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) แมกนีเซียมออกไซด์ที่ใส่ลงไปนั้นกลายเป็นสารสีขาวขุ่นดังรูป ที่ 4.1



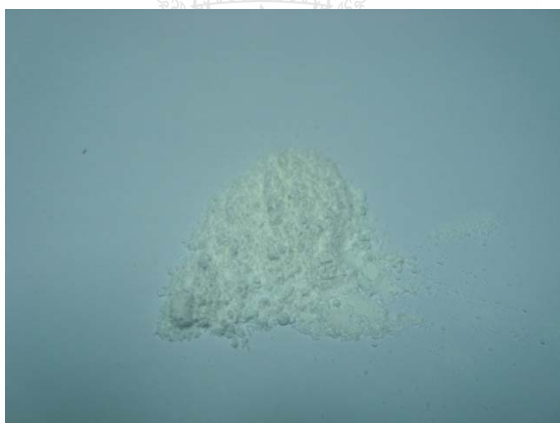
ภาพที่ 4.1 ลักษณะของสารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

จากนั้นตัดสารที่สังเคราะห์ได้ใส่ในบีกเกอร์จะได้สารสีขาว ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของสารเมื่อตักออกมาจากถังสังเคราะห์

จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำวัสดุที่ผ่านการอบแล้วไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วจะได้วัสดุที่มีลักษณะเป็นผงจับเป็นก้อนเล็กๆ ดังภาพที่ 4.3



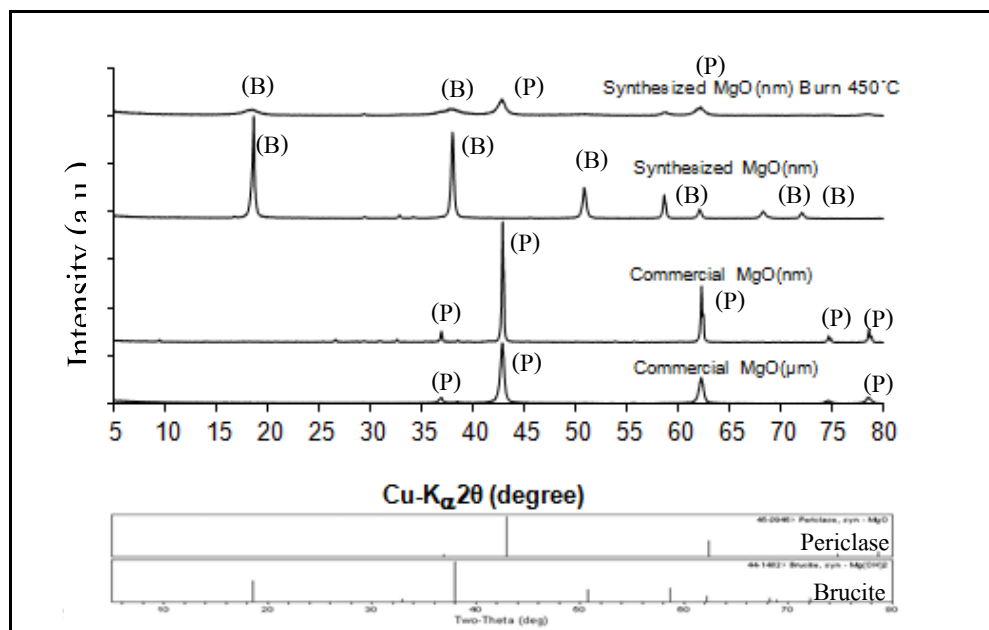
ภาพที่ 4.3 ลักษณะของวัสดุที่ผ่านการอบได้ความชื้นเรียบร้อยแล้ว

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้

จากการวิเคราะห์ตรวจสอบ และศึกษาสมบัติต่างของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Spectroscopy, XRD) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) นั้นมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.1 ผลการตรวจสอบเฟสของสารที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

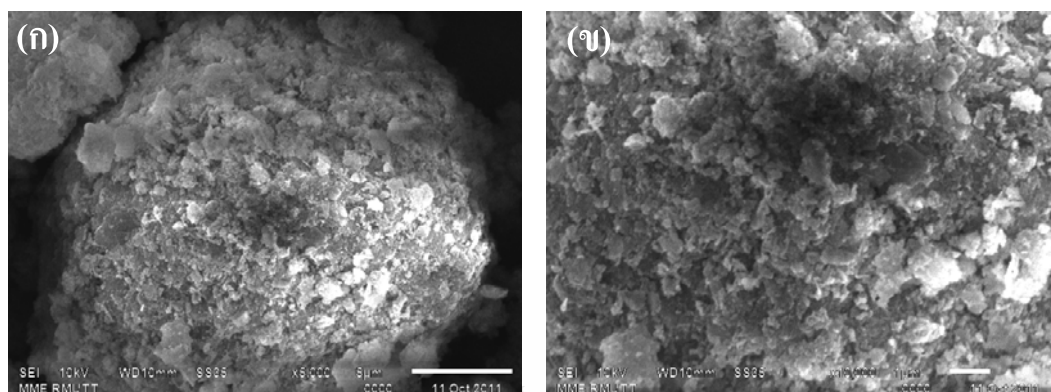
การศึกษาทดสอบหาโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ในการแสดงรูปแบบของแมกนีเซียมออกไซด์ก่อนสังเคราะห์ และที่สังเคราะห์ได้ ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์, B = Brucite, P = Periclase

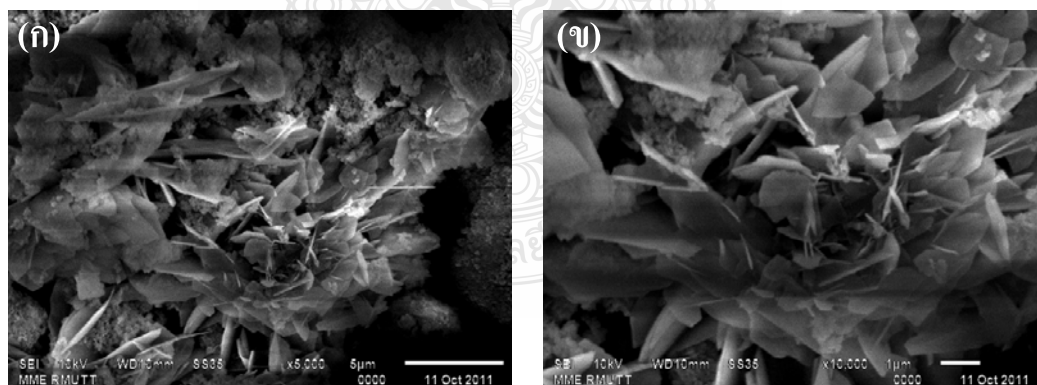
โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล Joint Committee Powder Diffraction Standards ; JCPDS files ปรากฏว่าอนุภาคนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบเฟสหลักที่ตำแหน่ง 18.63° , 32.84° , 38.00° , 50.84° , 58.64° , 62.08° , 68.28° และ 72.06° เมื่อเปรียบเทียบกับ JCPDS files ตรงกับหมายเลข 44-1482 ปรากฏเป็นเฟสของ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ที่มีเฟสเป็น Brucite เมื่อนำ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบเฟสหลักที่ตำแหน่ง 36.95° , 42.82° , 62.24° , 74.56° และ 78.66° โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ JCPDS files ตรงกับหมายเลข 45-0946 ปรากฏเป็นเฟสของ MgO ซึ่งมีเฟสเป็น Periclase

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)



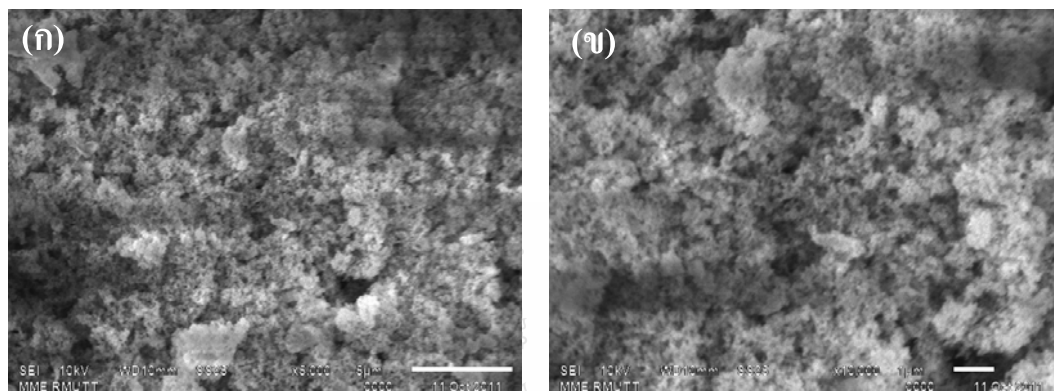
ภาพที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์คาร์บอนใยระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า

จากภาพที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแมกนีเซียมออกไซด์คาร์บอนใยระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย 5,000 และ 10,000 เท่าพบว่า มีลักษณะรูปร่างแบบก้อนกลม



ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์คาร์บอนใยระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า

จากภาพที่ 4.6 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแมกนีเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 5,000 และ 10,000 เท่าพบว่ามีลักษณะรูปร่างแบบแผ่นที่มีความหนาในระดับนาโนเมตร

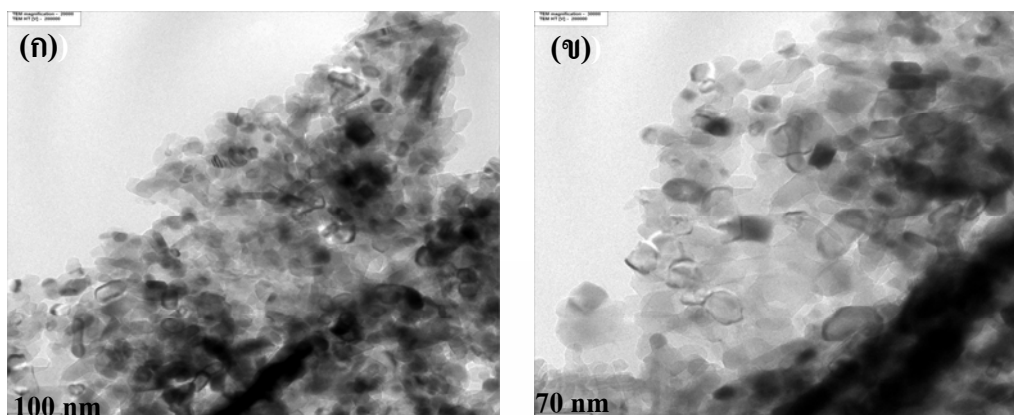


ภาพที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่าและ (ข) 10,000 เท่า

จากภาพที่ 4.7 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย 5,000 และ 10,000 เท่าพบว่ามีลักษณะรูปร่างแบบก้อนกลม

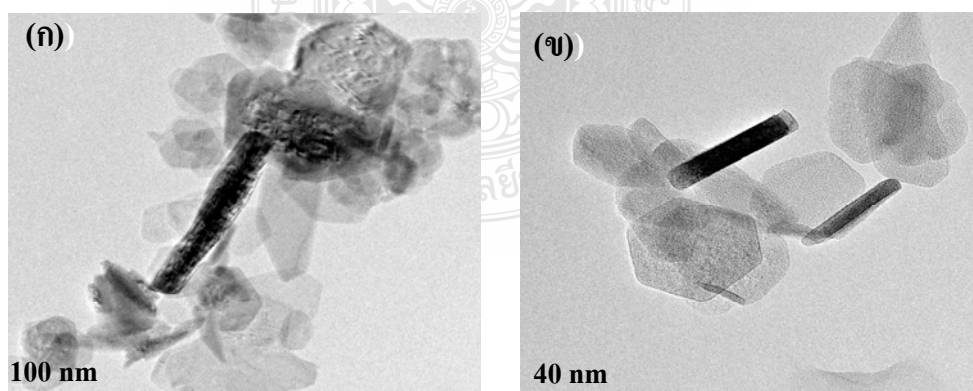
จากผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างค่อนข้างเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้พิจารณาขนาดอนุภาคค่อนข้างยาก ซึ่งการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนนั้นอาจจะประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆหลายอนุภาครวมกัน แต่การวิเคราะห์จาก SEM นั้นอาจจะไม่ทราบถึงขนาดที่แท้จริงของอนุภาค ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่แท้จริงโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งสามารถเห็นได้ว่าอนุภาคแต่ละอนุภาคนั้นมีขนาดที่แท้จริงและลักษณะรูปร่างเป็นอย่างไร ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)



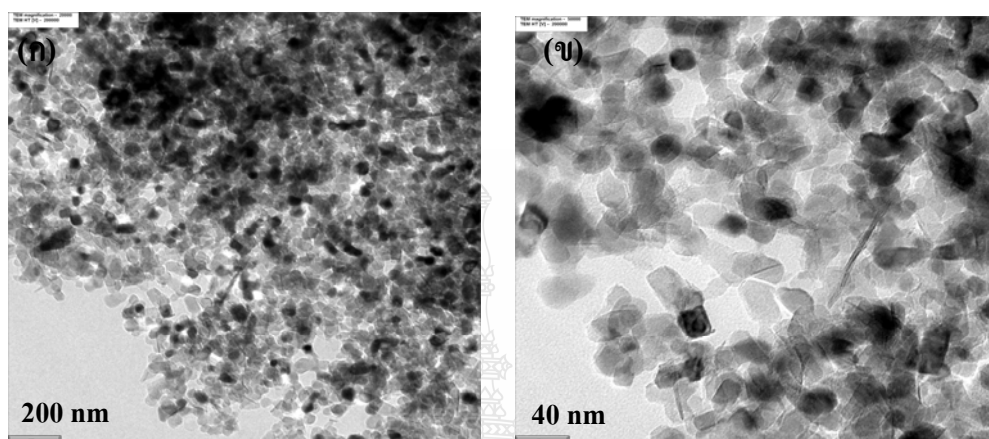
ภาพที่ 4.8 ภาพถ่าย TEM ของอนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า และ (ข) 30,000 เท่า

จากภาพที่ 4.8 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์อนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคไมโครเมตรที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 และ 30,000 เท่าพบว่าโครงสร้างเป็นแบบก้อนกลมภายในเป็นของแข็งไม่กลวง โดยมีขนาดอนุภาคประมาณ 50-100 nm



ภาพที่ 4.9 ภาพถ่าย TEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่าและ (ข) 50,000 เท่า

จากภาพที่ 4.9 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์อนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์ อนุภาคระดับนาโนเมตรจากการสังเคราะห์ที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 และ 50,000 เท่าพบว่ามีลักษณะรูปร่างแบบแผ่น (Plate) ภายในเป็นของแข็งไม่กลวง โดยมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณ

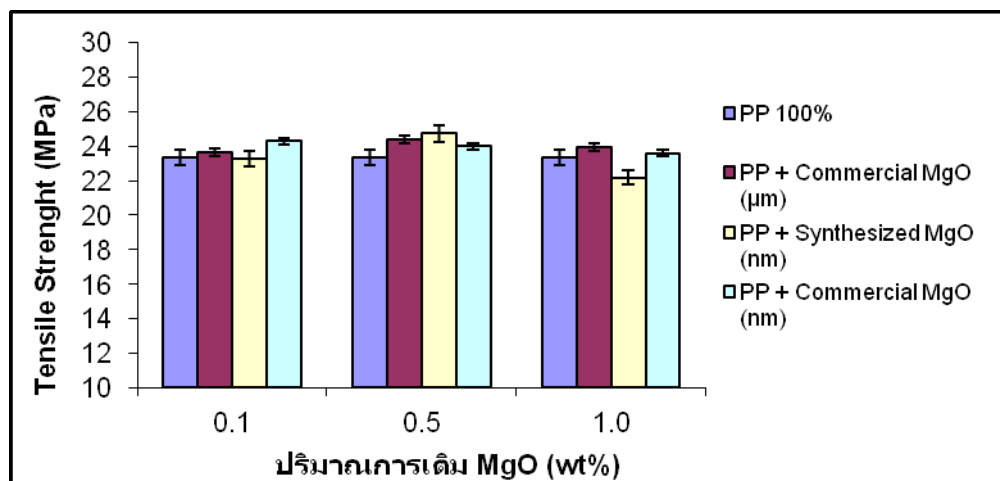


ภาพที่ 4.10 ภาพถ่าย TEM ของแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า

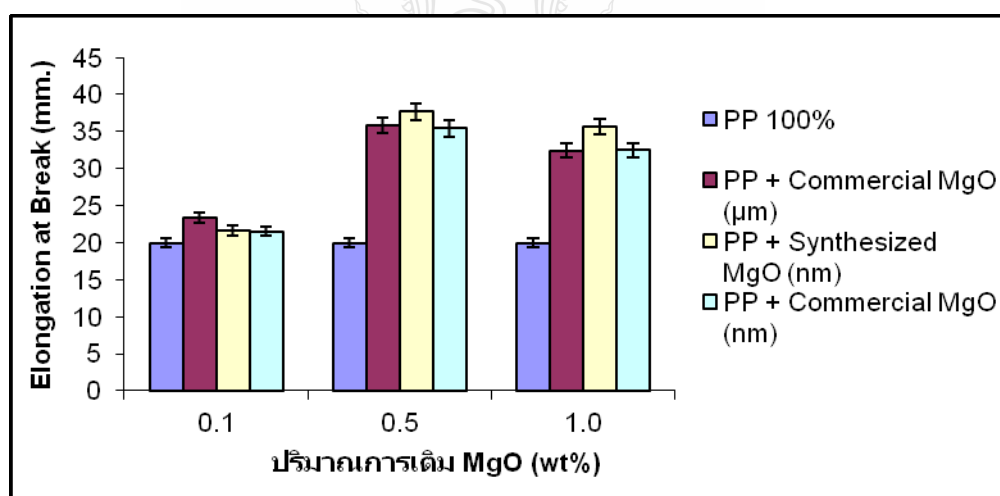
จากภาพที่ 4.10 เป็นภาพถ่ายที่แสดงผลจากการวิเคราะห์อนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่กำลังขยายเท่ากับ 10,000 และ 50,000 เท่าพบว่ามีลักษณะรูปร่างแบบก้อนกลมภายในเป็นของแข็งไม่กลวง โดยมีขนาดประมาณ 30-50 nm

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตร

4.3.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (ASTM D638)



ภาพที่ 4.11 ค่าความต้านทานแรงดึงของโพลีโพรพิลีน

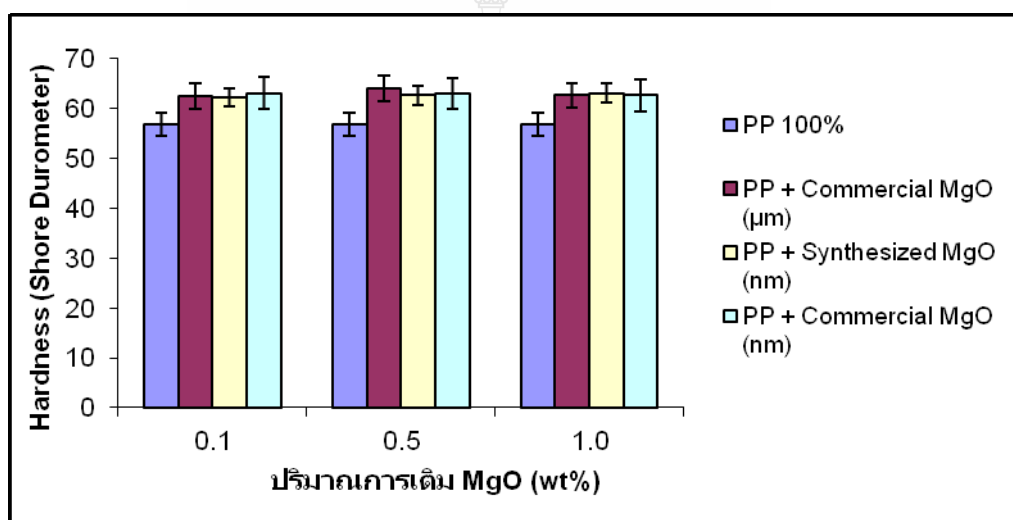


ภาพที่ 4.12 ค่าระยะยืดสูงสุดของโพลีโพรพิลีน

จากภาพที่ 4.11 พบว่าการเติมอนุภาคแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตรในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) มากนักแต่เพิ่มระยะยืด (Elongation) ของโพลีโพรพิลีน ดังแสดงในภาพที่ 4.12 โดยจากกราฟจะสังเกตเห็นว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยในช่วงการเติม 0.5% และส่งผลให้โพลีโพรพิลีนมีระยะยืดที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการเติม 0.5% โดยแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์และที่เตรียมได้ส่งผลให้โพลีโพรพิลีนมีระยะการยืดตัวที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Genevive C. Onuegbu และคณะ [59] แสดงให้เห็นว่าการเติมอนุภาคที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนักไม่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงและค่าระยะยืดมากนัก โดยจะทำการตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งบนพื้นที่ผิวและภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีน ซึ่งจะทำการทดสอบในหัวข้อต่อไป

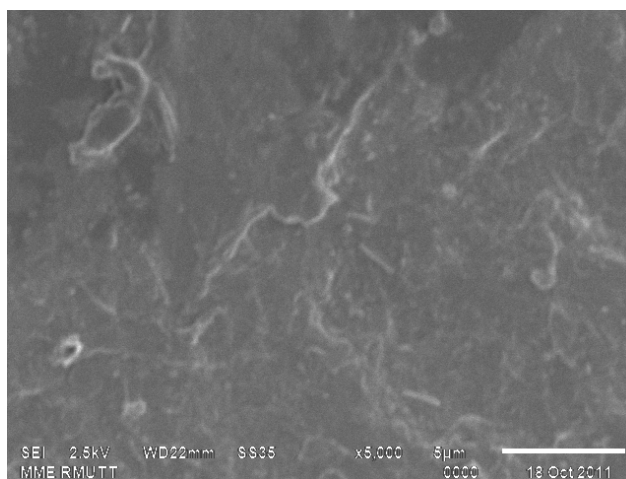
4.3.2 การทดสอบค่าความแข็งของวัสดุ (ASTM D2240)



ภาพที่ 4.13 ค่าความแข็งของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D2240

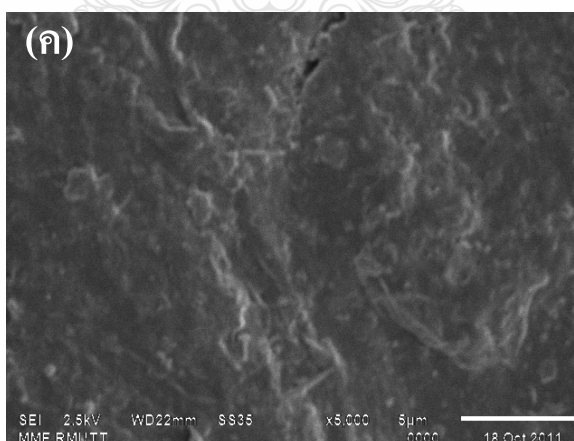
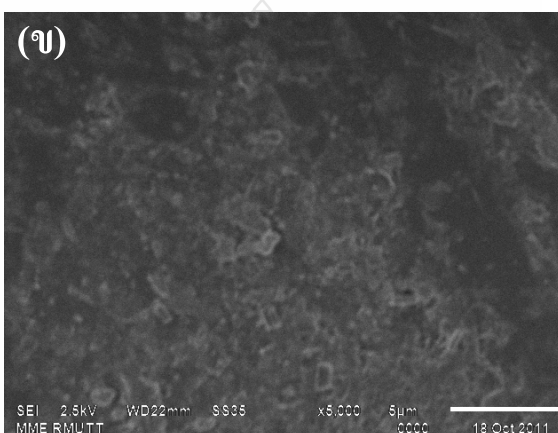
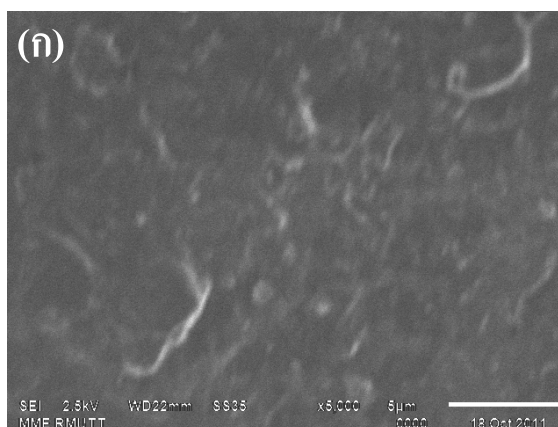
จากภาพที่ 4.13 เป็นผลการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งเมื่อเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนพบว่าส่งผลทำให้โพลีโพรพิลีนมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคส่งผลทำให้หัวกดทดสอบมีโอกาสกระทบกับอนุภาคที่เติมลงไปสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโพลีโพรพิลีนเพิ่มมากขึ้น โดยการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรให้ผลที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 จึงได้ทำการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ โดยได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4.14-4.17

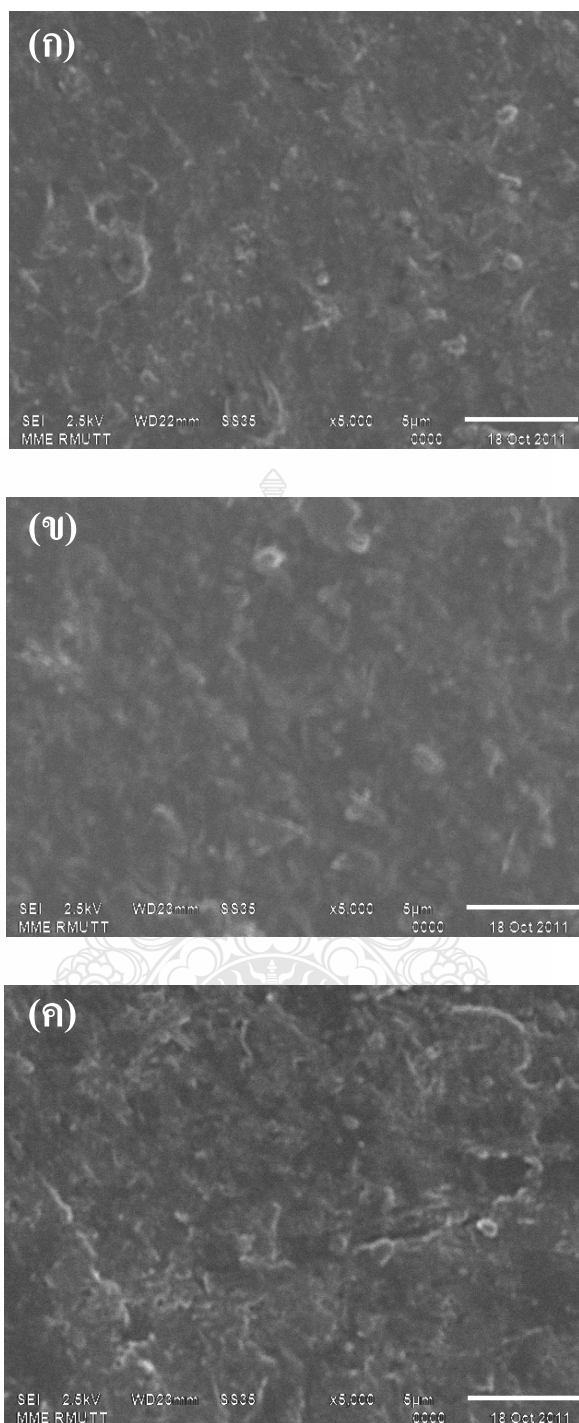


ภาพที่ 4.14 ภาพ SEM พื้นที่ผิวของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า

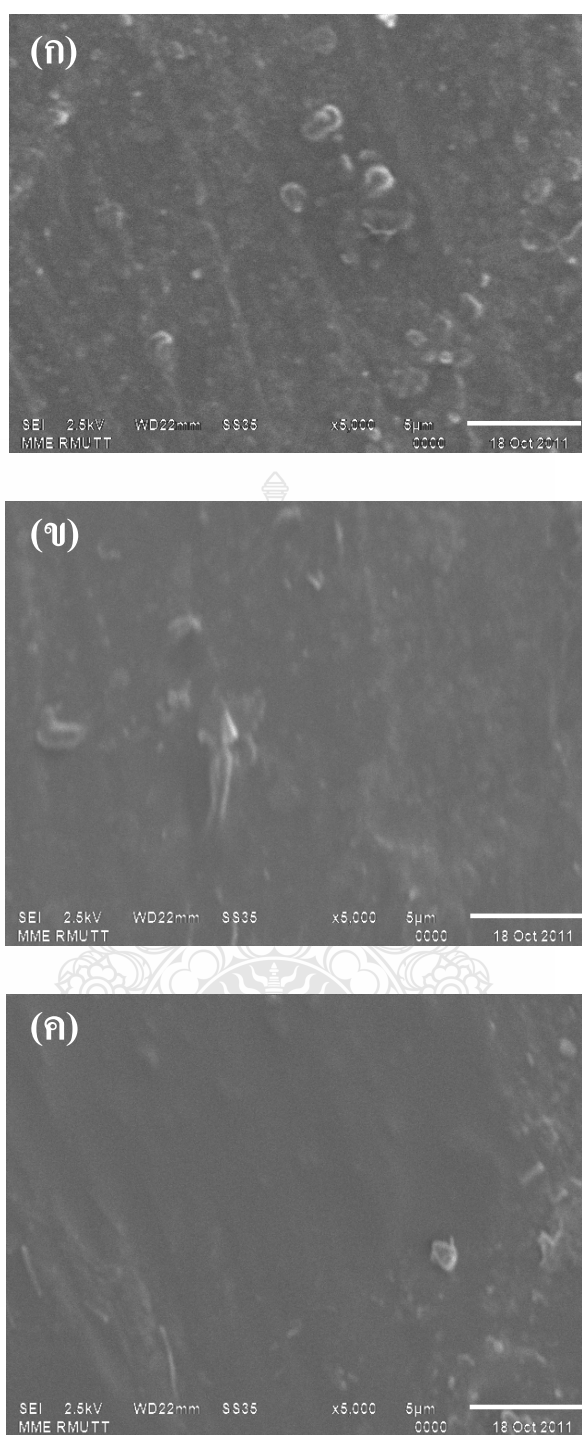




ภาพที่ 4.15 ภาพ SEM พื้นผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า



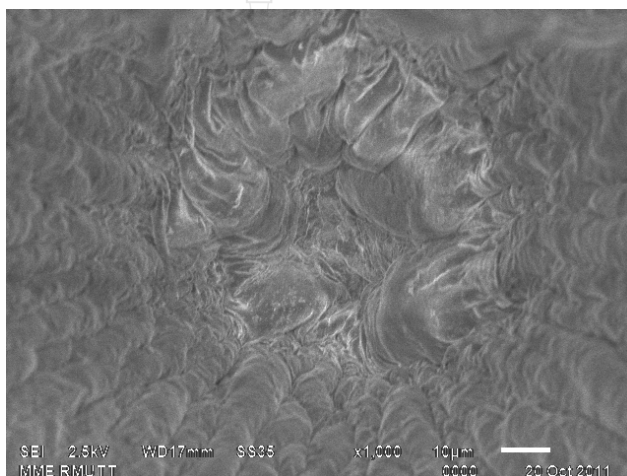
ภาพที่ 4.16 ภาพ SEM พื้นผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้จากการผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า



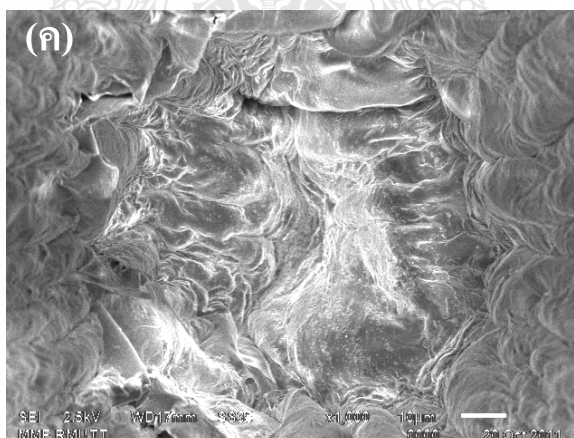
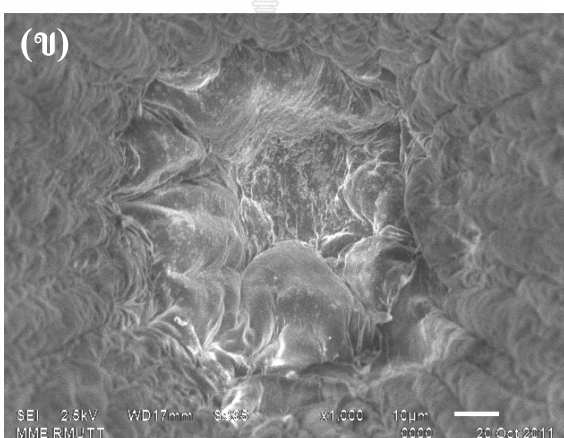
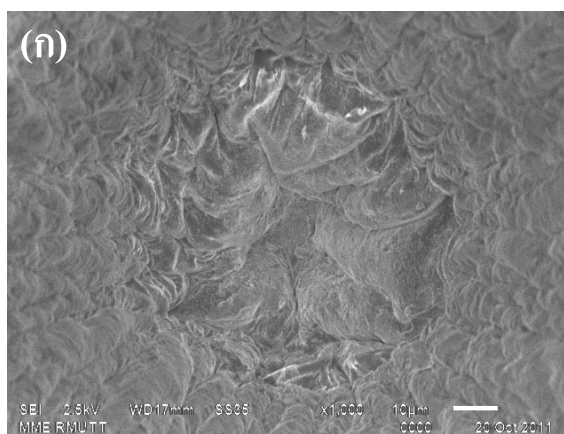
ภาพที่ 4.17 ภาพ SEM พื้นผิวของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า

จากภาพที่ 4.14-4.17 เป็นผลการตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคต่างๆบนพื้นผิวของโพลีโพรพิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคไมโครเมตรเชิงพาณิชย์และระดับนาโนเมตรที่เตรียมได้มีการกระจายตัวบนพื้นผิวของโพลีโพรพิลีนดีกว่าแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ซึ่งมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน โดยสามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบดังภาพที่ 4.16 (ค) และภาพที่ 4.17 (ค)

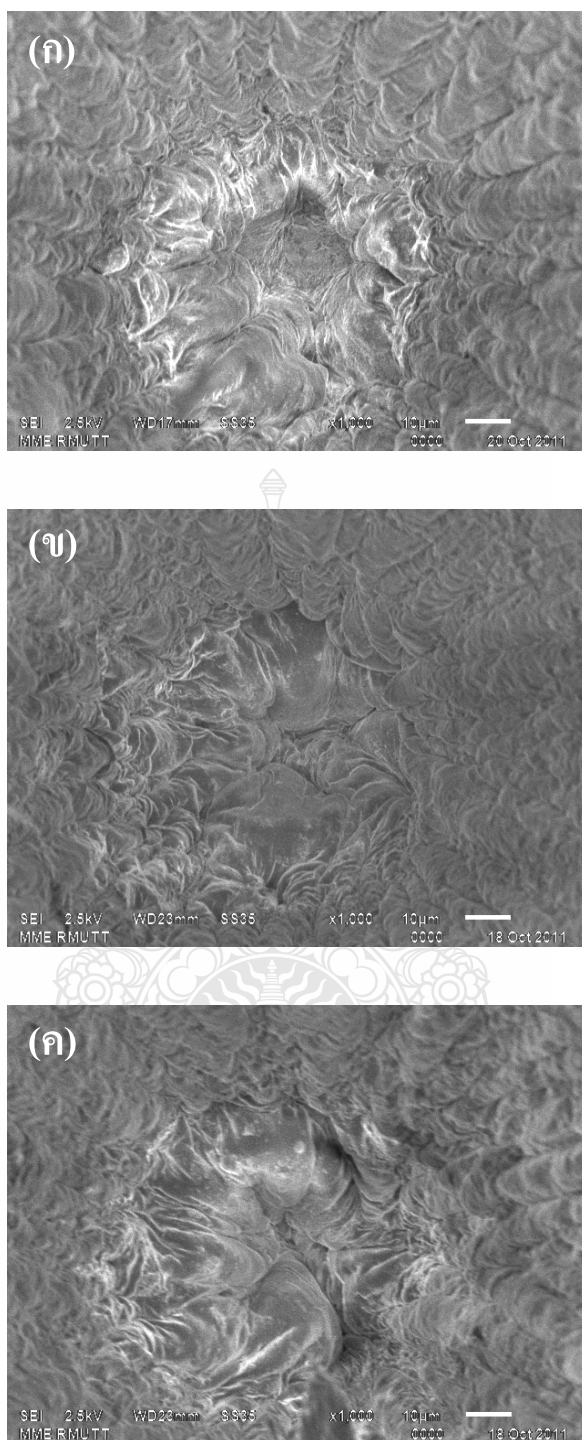
และจากผลการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 จึงได้ทำการวิเคราะห์สภาพพื้นที่รอยกดของโพลีโพรพิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยนำชิ้นงานที่ทำการทดสอบความแข็งมาเพิ่มขึ้นทดสอบโดยได้ผลการทดสอบดังนี้



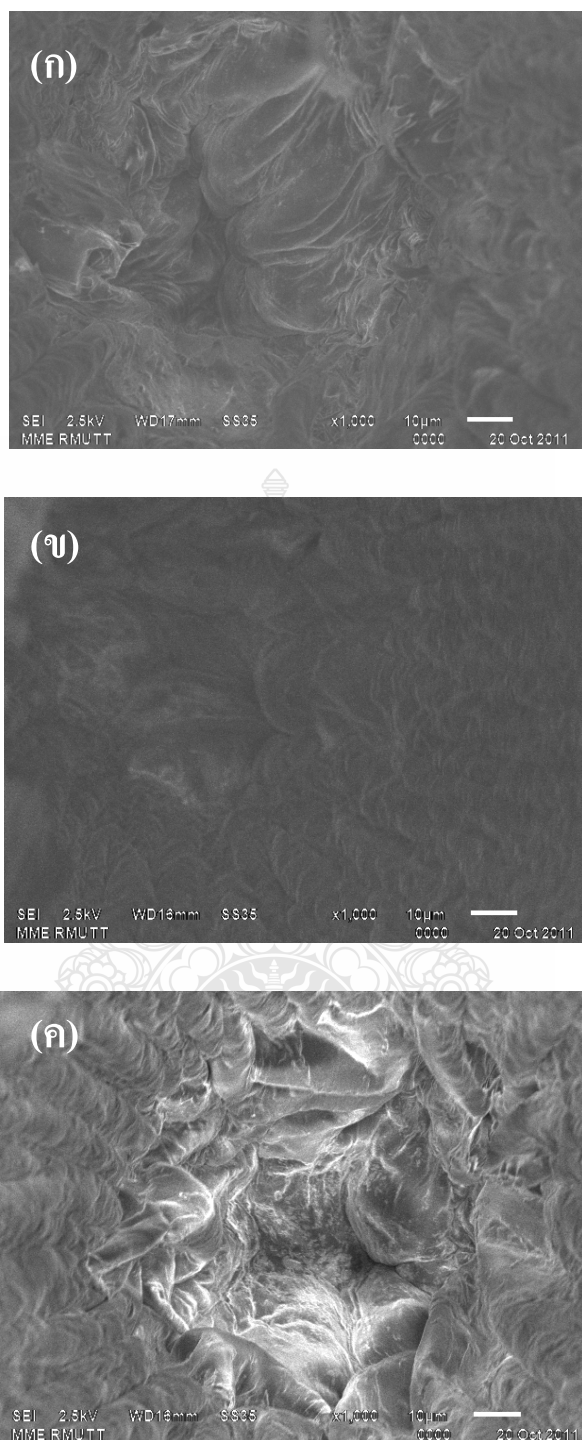
ภาพที่ 4.18 ภาพ SEM พื้นที่ย่อยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า



ภาพที่ 4.19 ภาพ SEM พื้นที่ย่อยกจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า



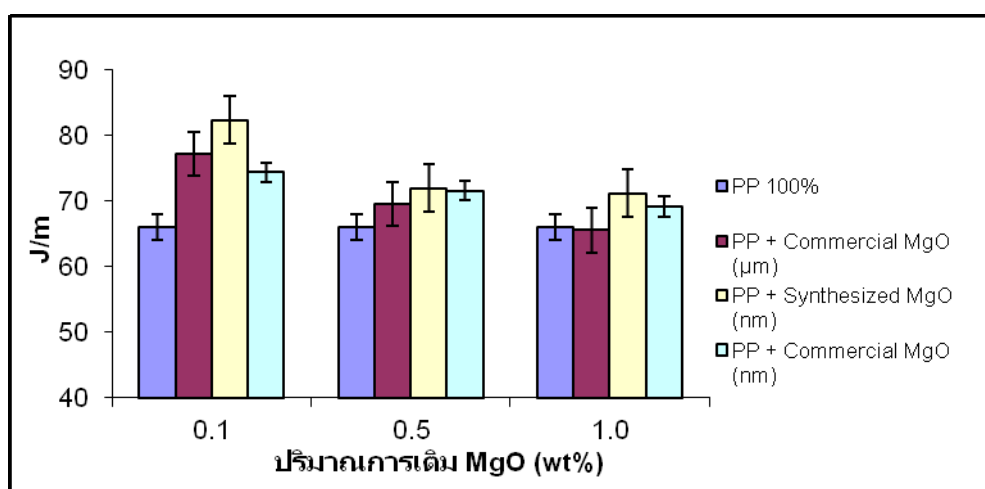
ภาพที่ 4.20 ภาพ SEM พื้นที่ย่อยกจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้จากการผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า



ภาพที่ 4.21 ภาพ SEM พื้นที่ย่อยกจากการทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer ของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 1,000 เท่า

จากภาพที่ 4.18-4.21 เป็นผลการตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคต่างๆบนพื้นที่รอยกดทดสอบความแข็งของโพลีโพรพิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคต่างๆบนรอยกดทดสอบความแข็งส่งผลทำให้ห้วกมีโอกาสรอบกับอนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์ที่เติมลงไป ส่งผลทำให้ค่าความแข็งของวัสดุเพิ่มมากขึ้น

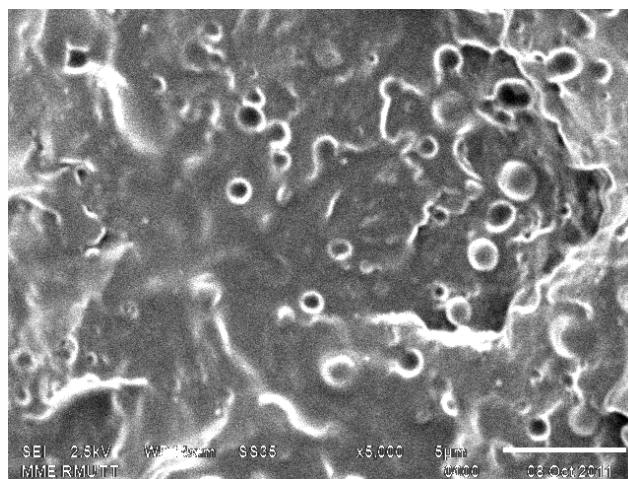
4.3.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (ASTM D256)



ภาพที่ 4.22 ค่าทนต่อแรงกระแทกของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

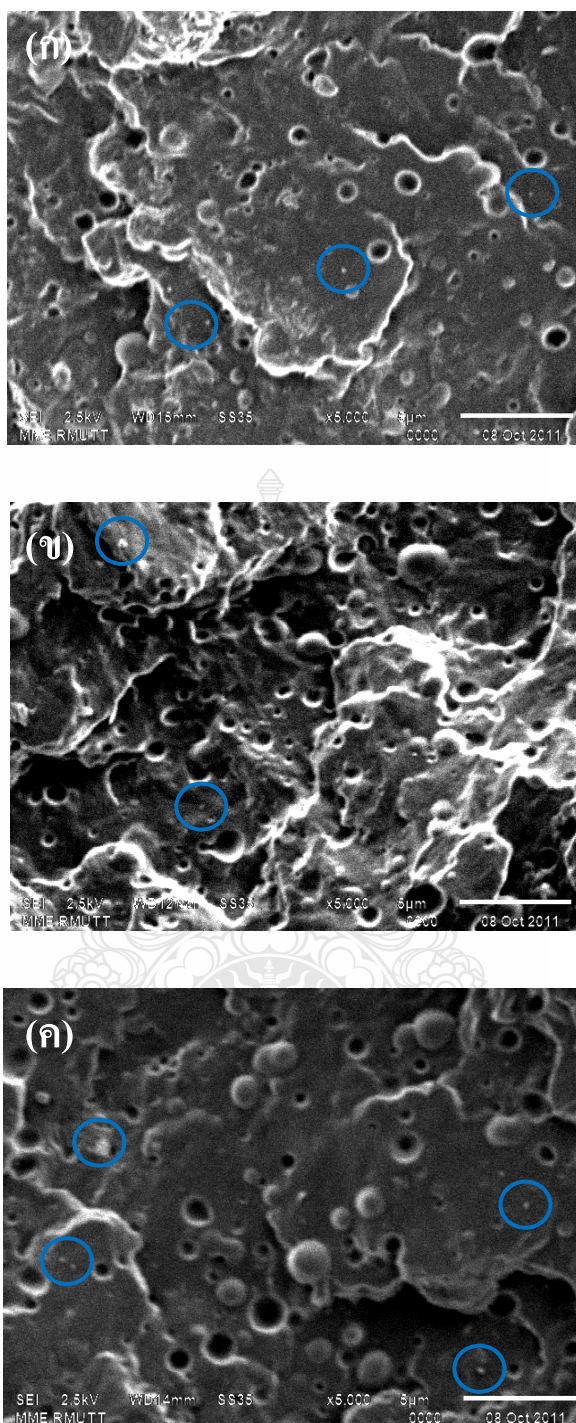
จากภาพที่ 4.22 พบว่าผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้และแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์ลงในโพลีโพรพิลีนมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นในช่วงการเติม 0.1% เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์จะกระจายตัวในโพลีโพรพิลีนและทำหน้าที่ช่วยในการรับแรงกระแทกในพื้นที่ที่เกิดรอยแตกหักจึงส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น [59] และมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการผสมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสมบัติในการรวมตัวกันของอนุภาคระดับนาโนเมตรส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง [33] โดยการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่เตรียมได้ให้ผลค่าการทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าและแมกนีเซียมออกไซด์อนุภาคระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรเชิงพาณิชย์

จากผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกจึงได้ทำการตรวจสอบพื้นที่รอยแตกหัก โดยทำการจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบแรงกระแทก มาเป็นชิ้นทดสอบโดยได้ผลการทดสอบดังนี้

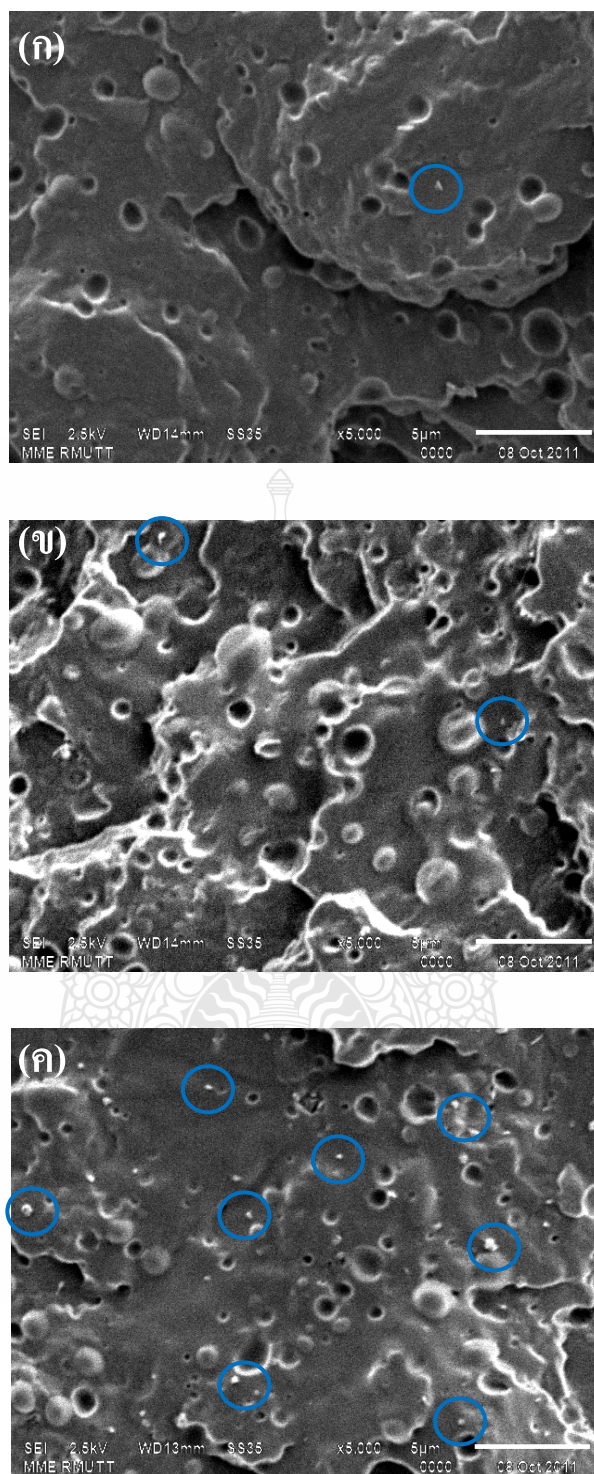


ภาพที่ 4.23 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีน 100% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า

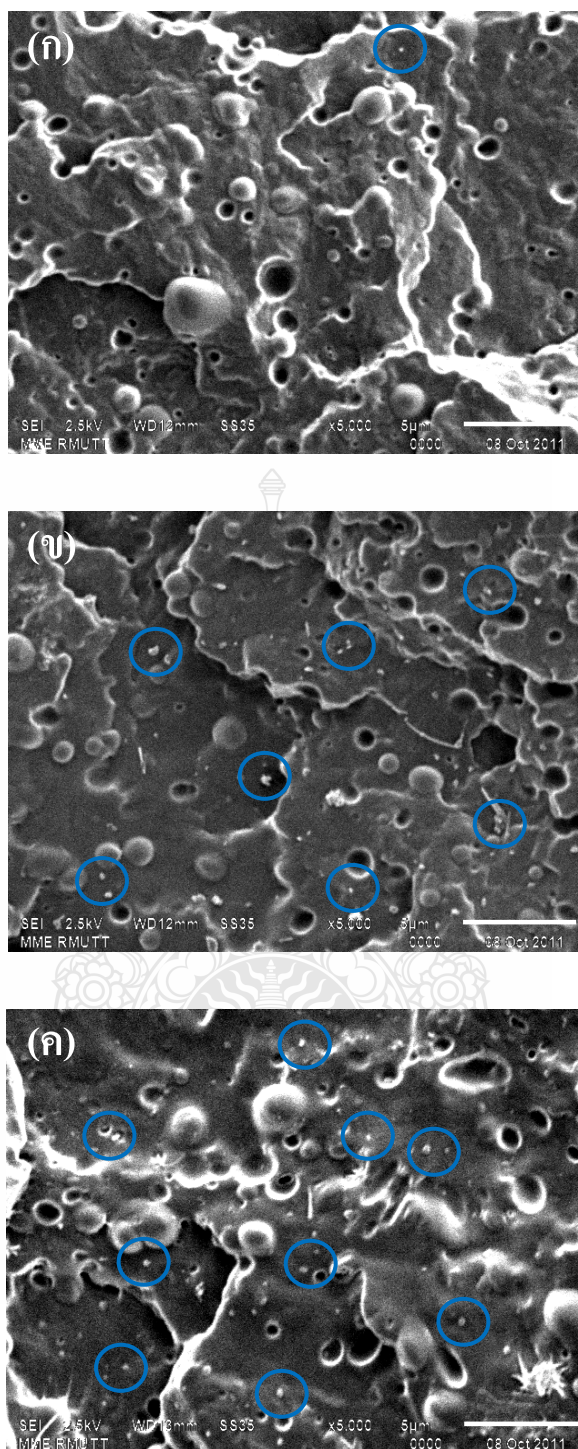




ภาพที่ 4.24 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP- μm 0.1% (ข) PP- μm 0.5% และ (ค) PP- μm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า



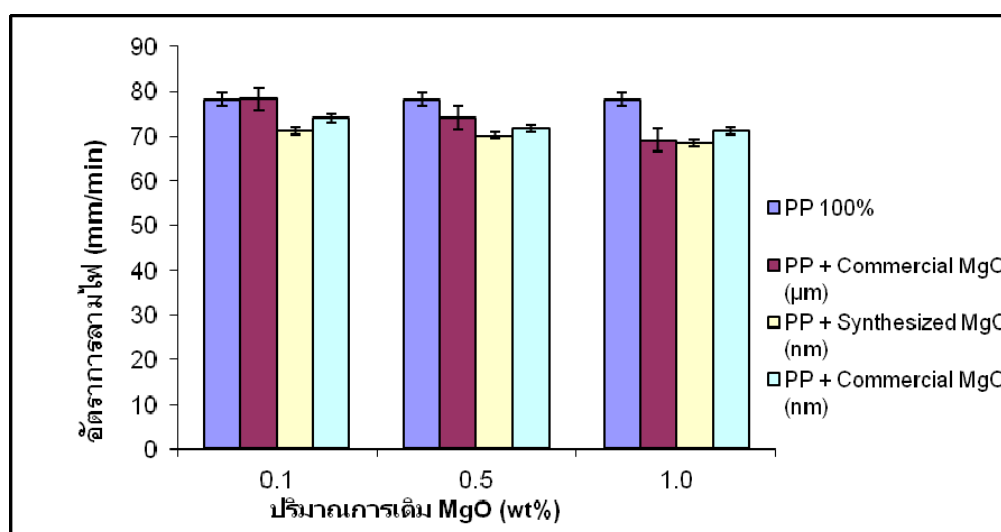
ภาพที่ 4.25 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่ได้จากการสังเคราะห์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า



ภาพที่ 4.26 ภาพ SEM ของผิวภาคตัดขวางของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาค ขนาดนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ที่การผสม (ก) PP-nm 0.1% (ข) PP-nm 0.5% และ (ค) PP-nm 1.0% ที่กำลังขยายขนาด 5,000 เท่า

จากภาพที่ 4.23-4.26 เป็นผลการตรวจสอบการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคต่างๆในโพลีโพรพิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการกระจายตัวของแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคต่างๆอยู่ในโพลีโพรพิลีน โดยแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้และแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรเชิงพาณิชย์มีการกระจายตัวที่ดีกว่าระดับอนุภาคไมโครเมตรเชิงพาณิชย์

4.3.4 การทดสอบการลามไฟของวัสดุ (UL-94HB)



ภาพที่ 4.27 ค่าอัตราการลามไฟของโพลีโพรพิลีนที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 4.27 พบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งขนาดอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรลงไปโพลีโพรพิลีนนั้นส่งผลต่ออัตราการลามไฟของโพลีโพรพิลีนมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยในการหน่วงไฟ [26] และแมกนีเซียมออกไซด์มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ($2,827 \pm 30^{\circ}\text{C}$) [27] ส่งผลทำให้อัตราการลามไฟลดลง โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราการลามไฟของแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่ได้จากการสังเคราะห์มีอัตราการลามไฟต่ำที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การสังเคราะห์แผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในระดับอนุภาคนาโนเมตรจากแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและผลิตโดยฝีมือคนไทย โดยทำการทดลองสังเคราะห์ด้วยเครื่องสังเคราะห์ขนาด 4 ลิตร มาทำการสังเคราะห์ และศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น รูปร่าง ขนาด โครงสร้างผลึก ฯลฯ ของแผ่นนาโนที่เตรียมได้ และทำการศึกษาผลกระทบของการเติมแผ่นนาโนในโพลีโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ ซึ่งได้ผลการทดลองโดยสรุปดังนี้

5.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ในอนุภาคระดับนาโนเมตร

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นแบบแผ่นนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณ ซึ่งวิธีการเตรียมนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

5.2 ผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน

5.2.1 การทดสอบค่าความเค้นแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638

จากผลการทดสอบโพลีโพรพิลีนที่มีการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ลงไป พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงนั้นไม่แตกต่างกับแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์มากนัก แต่ส่งผลให้ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) เพิ่มขึ้น

5.2.2 การทดสอบความแข็งของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM D 2240

จากผลการทดสอบการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้และแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์ในโพลีโพรพิลีนส่งผลทำให้โพลีโพรพิลีนมีสมบัติความแข็งที่เพิ่มขึ้น

5.2.3 การทดสอบการค่าทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

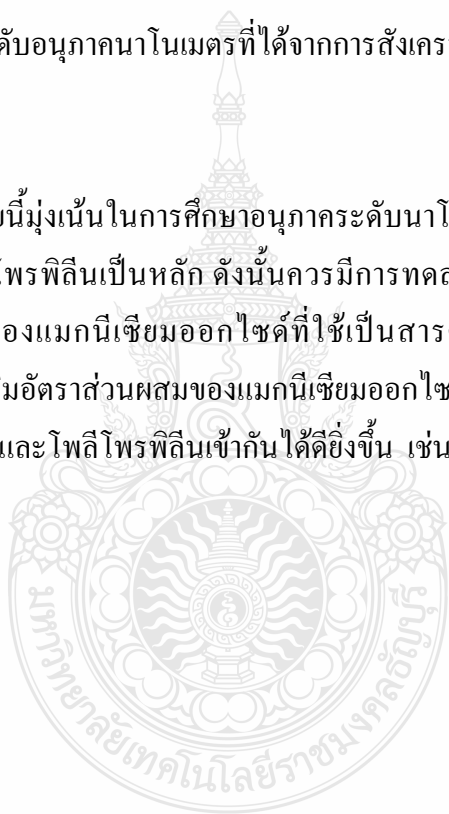
จากผลการทดสอบการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้และแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์ลงในโพลีโพรพิลีนมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น โดยการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่เตรียมได้มีค่าการทนแรงกระแทกมากกว่าแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรเชิงพาณิชย์

5.2.4 การทดสอบอัตราการลามไฟตามมาตรฐาน UL-94HB

จากการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้และแมกนีเซียมออกไซด์เชิงพาณิชย์ลงในโพลีโพรพิลีนส่งผลทำให้โพลีโพรพิลีนมีอัตราการลามไฟลดลงตามปริมาณการผสมโดยแมกนีเซียมออกไซด์ระดับอนุภาคนาโนเมตรที่ได้จากการสังเคราะห์มีอัตราการลามไฟต่ำที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาอนุภาคระดับนาโนเมตรและผลกระทบของสมบัติทางกลเมื่อเติมเข้าในโพลีโพรพิลีนเป็นหลัก ดังนั้นควรมีการทดลองปรับตัวแปรอื่นๆที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่ ขนาดของแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นหรือแร่ที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมออกไซด์ การเพิ่มอัตราส่วนผสมของแมกนีเซียมออกไซด์ หรือการเติมสารเชื่อมประสานเพื่อให้แมกนีเซียมออกไซด์และโพลีโพรพิลีนเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น เช่น มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์โพลีโพรพิลีน (MAgPP)



รายการอ้างอิง

- [1] ประสงค์ ศาสตร์ประเสริฐ. “การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเหล็กที่ถูกห่อหุ้มโดยชั้นคาร์บอนด้วยกระบวนการตกตะกอนไอเคมี.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549
- [2] อลูมินาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548
- [3] Rao, C. N. R. and Nath, M. “Inorganic nanotubes”, *Dalton Trans.*, **1** (2003) 1-24.
- [4] Patzke G. R., Krumeich F. and Nesper R., “Oxidic nanotubes and nanorods – anisotropic modules for a future nanotechnology”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41** (2002) 2446-2461.
- [5] Huang, M., Mao, S., Feick, H., Yan, H., Wu, Y., Kind, H., Weber, E., Russo, R. and Yang, P. “Room-temperature ultraviolet nanowire nanolasers”, *Science*, **292** (2001), 1897-1899.
- [6] Pan, Z. W., Dai, Z. R. and Wang, Z. L. “Nanobelts of semiconducting oxides”, *Science*, **291** (2001) 1947-1949.
- [7] Fujishima, A., Rao, T. N. and Tryk, D. A. “Titanium dioxide photocatalysis”, *J. Photochem. Photobiol. C:Photochem. Rev.*, **1** (2000), 1-21.
- [8] Kasuga, T., Hiramatsu, M., Hoson, A., Sekino, T., and Niihara, K. “Formation of titanium oxide nanotube”, *Langmuir*, **14** (1998) 3160-3163.
- [9] Seo, D. S., Lee, J. K. and Kim, H. J. “Preparation of nanotube-shaped TiO₂ powder”, *Cryst. Growth*, **229** (2001) 428-432.
- [10] Yuan, Z. Y., Zhou, W. and Su, B. L. “Hierarchical interlinked structure of titanium oxide nanofibers”, *Chem. Commun.*, **11** (2002) 1202-1203.
- [11] Zhang, Q., Gao, L., Sun, J. and Zheng, S. “Preparation of long TiO₂ nanotubes from ultrafine rutile nanocrystals”, *Chem. Lett.*, **31** (2002) 226-227.
- [12] Tsai, C. C., and Teng, H., “Regulation of the physical characteristics of titania nanotube aggregates synthesized from hydrothermal treatment”, *Chem. Mater.*, **16** (2004) 4352-4358.
- [13] Suzuki, Y. and Yoshikawa, S. “Synthesis and thermal analyses of TiO₂-derived nanotubes prepared by the hydrothermal method”, *J. Mater. Res.*, **19** (2004) 982-985.

- [14] Yoshida, R., Suzuki, Y. and Yoshikawa, S. "Effects of synthetic conditions and heat treatment on the structure of partially ion-exchanged titanate nanotubes", *Mater. Chem. Phys.*, **91** (2005) 409-416.
- [15] Yoshida, R., Suzuki, Y. and Yoshikawa, S. "Synthesis of TiO₂(B) nanowires and TiO₂ anatase nanowires by hydrothermal and post-heat treatments", *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 2179-2185.
- [16] Pavasupree, S., Suzuki, Y., Kitiyanan, A., Pivsa-Art, S. and Yoshikawa, S. "Synthesis and characterization of vanadium oxides nanorods", *J. Solid State Chem.*, **178** (2005) 2152-2158.
- [17] www.bpi.dpim.go.th.
- [18] Jimmy C. Yu., Anwu Xu, Lizhi Zhang, Ruiqi Song, and Ling Wu. "Synthesis and Characterization of Porous Magnesium Hydroxide and Oxide Nanoplates", *J Phys. Chem. B*, **108** (2004) 64-70
- [19] Kake Zhu, Juncheng Hu, Cristian Kubel, and Ryan Richard "Efficiency Preparation and Catalytic Activity of MgO (111) Nanosheet." *Angew. Chem. Int. Ed.*, **45** (2006), 7277-7281
- [20] Haisia Niu, Qing Ying, Kaibin Tang, Yi Xie, " A simple solution calcination route to porous MgO nanoplates.", *Microporous and Mesoporous Materials*, **96** (2006) 428-433
- [21] C. Henrist, J.-P. Mathieu, C. Vogels, A. Rulmont, R. Cloots " Morphological study of magnesium hydroxide nanoparticles precipitated in dilute aqueous solution." , *Science*, **249** (2006) 428-433
- [22] Li Yan. Jing Zhuang, XiaomingSun, Zhaoxiang Diang, Yadong Li, "Formation of rod-like Mg(OH)₂ nanocrystallites under hydrothermal conditions and the conversion to MgO nanorods by thermal dehydration", *Material Chemistry and Physics*, **76** (2002), 119-122.
- [23] Ashok Kumar, Jitendra Kumar, "On the synthesis and optical absorption studies of nano-size magnesium oxide powder", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **69** (2008) 2764-2772.
- [24] Z. Cui, G.W. Meng, W.D. Huang, G.Z. Wang, L.D. Zhang, " Preparation and characterization of MgO Nanorods", *Material Research Bulletin*, **35** (2000) 1653-1659.

- [25] มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และคณะ, “สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีพอลิไธรีนผสมสารหน่วงไฟ”, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา **15** (2553) 2, หน้า 57-66.
- [26] M. Sain, S.H. Park, F. Suhara, S. Law, “Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fiber – PP Composites Containg Magnesium Hydroxide.”, *Polymer Degradation and Stability*, **83**(2004) 363-367.
- [27] <http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=695>
- [28] <http://www.magspecialties.com/students.htm#Physical%20Properties>
- [29] ปรีชา พหลเทพ. 2544. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [30] http://thamapring.com/Pingpong_web/Polymer.htm
- [31] <http://eco-town.dpim.go.th/webdatas/articles/ArticleFile61.pdf>
- [32] สุนันท์ พานิชพันธ์, “การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี”, 2549
- [33] ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ “เอกสารประกอบการเรียนรู้หลักสูตรวัสดุนาโน”
- [34] <http://www.nanotect.or.th>
- [35] ยอดหทัย เทพธรานนท์, และประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. “นาโนเทคโนโลยีชูเปอร์จิว.” กรุงเทพฯ. 2545.
- [36] <http://www.ims.vanderbilt.edu/.../image002.jpg>
- [37] <http://www.stherb-nano-breast-serum.com>.
- [38] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Nanofiberm>
- [39] P. Guay, B. L. Stansfield and A. Rochefort, On the Control of Carbon Nanostructures for Hydrogen Storage Applications, *Carbon* **42** (2004) 2187-2193
- [40] <http://www.nanoarchitecture.net/images/580.jpg>
- [41] E. Wu, K.C. Chen and J.D. Mackenzie, in : Better Ceramics Through Chemisty, Materials Research Society Symp. Proc., Vol.32, ed. C.J. Brinker, D.E. Clark and D.R. Ulrich (North-Holland, Amsterdam, (1984) 169.
- [42] www.rmutphysics.com/charud/oldnews/67/index67.htm

- [43] สิริชัย ภีบาลจอมมี.” การกำจัดสีของน้ำเสียสีข้อมด้วยกระบวนการโฟโตแคตาลิติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียมไดออกไซด์.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2543. หน้า 15.
- [44] CERAM Reserch Ltd. “Titanium Dioxide-Titania (TiO₂).” [Online]
- [45] O. Carp, C. L. Huisman and A. Reller, “Photoinduced reactivity of titanium dioxide”, *Prog. Solid State Chem.*, **32** (2004) 33-117.
- [46] J.L. Rehspringer, P. Poix, J.C. Bernier, “Synthesis of glass “precursor” BaO,TiO₂ .nH₂O by gel processing”, *J. Non, Cryst. Solids*, **82** (1986) 286-292.
- [47] F. Chaput, J.pP. Builot, “Alkoxide-hydroxide route to syntheltize BaTiO₃ – based powders”, *J. Am. Ceram. Soc.*, **73** (1990) 942-948.
- [48] A. Mosset, I. Gauteir-Lunean, J. Galy, P. Streholw, H. Schmidt., “Sol-gel processed BaTiO₃ : Structural evolution from the gel to the crystalline powder”, *J. Non. Cryst. Solids* **100** (1988) 339-344.
- [49] J.P. Grammayico, J. M. Porto Lopez, *J. Mat. Sci, Material in Electronics*, **3** (1992) 82-86.
- [50] S. Phanichpant, T. Tunkasin, P. Yhavornyutikarn, G. Rujijanukul, P. Youme. “Preparation of Barium Titanate Powders by Sol-Gel Method ”, proceedings of the International Conference on Materials Technology : Recent Developments and Future Potential, (1997) 242-248.
- [51] http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/u_ratanakamnuan/CH441-Polymers-Additives-BW.
- [52] <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- [53] <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/april/radio4-1.htm>
- [54] [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-6.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-6.pdf)
- [55] [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-8.pdf)
- [56] [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-7.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-7.pdf)
- [57] K. Byrappa, T. Adschiri, “Hydrothermal Technology for Nanotechnology.”, *Science*, **83** (2007) 117-166.

- [58] สรพงษ์ ภาวสุปรีชและคณะ, “การเตรียมและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงของแผ่นบางนาโน TiO_2 ด้วยชุดถังปฏิกรณ์ที่ผลิตเองในประเทศ”, เอกสารการประชุมวิชาการการพัฒนาอนาคตชนบทไทย : ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 27-29 มกราคม 2554.
- [59] Genevive C. Onuegbu, Issac Ogbennaya Igwe, “The effects of filler contents and particle sizes on the mechanical and end-use properties of snail shell powder filled polypropylene.” *Material Science and Application*, **2** (2011) 811-817

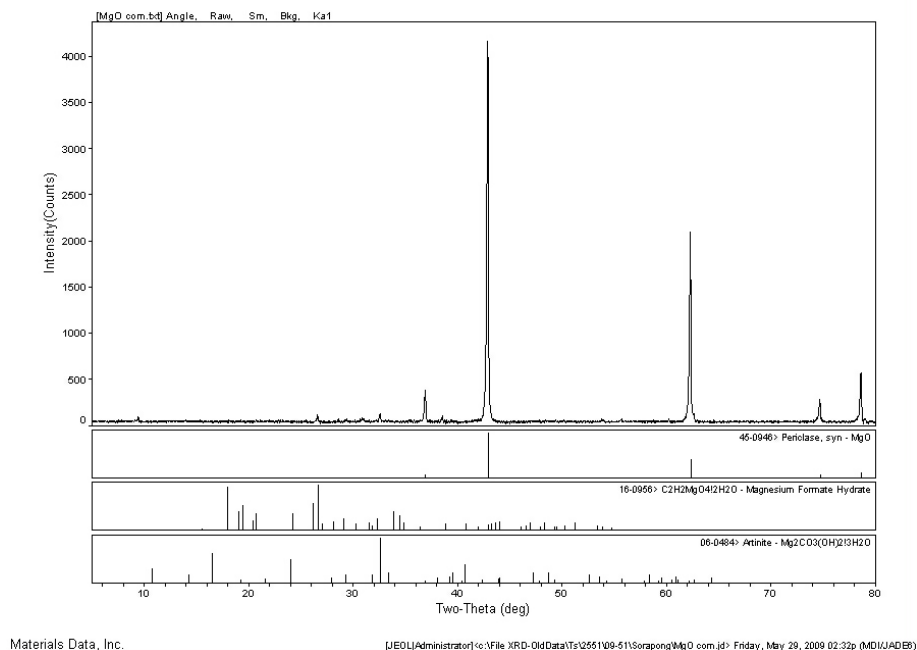


ภาคผนวก

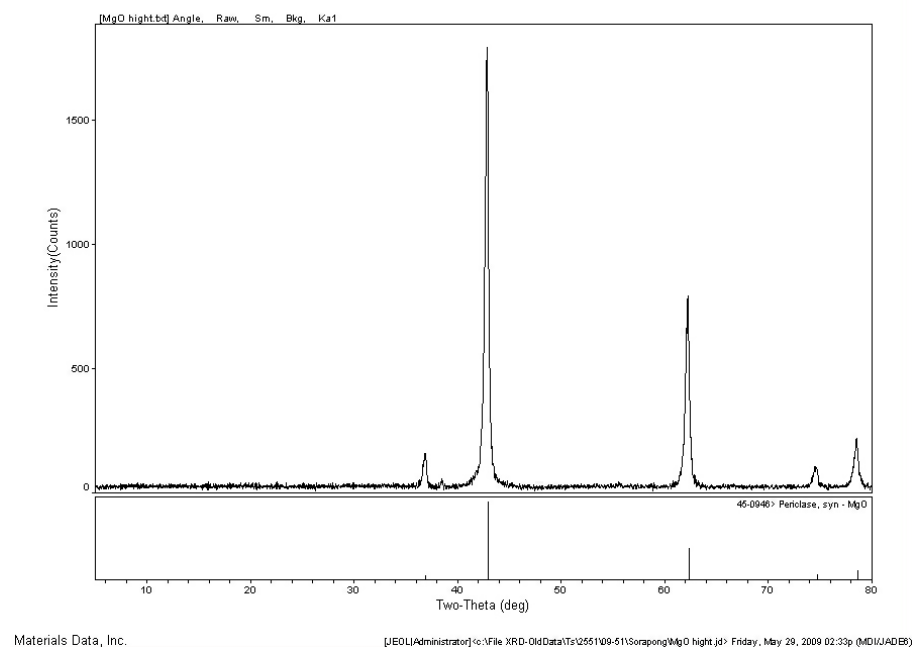


ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบ

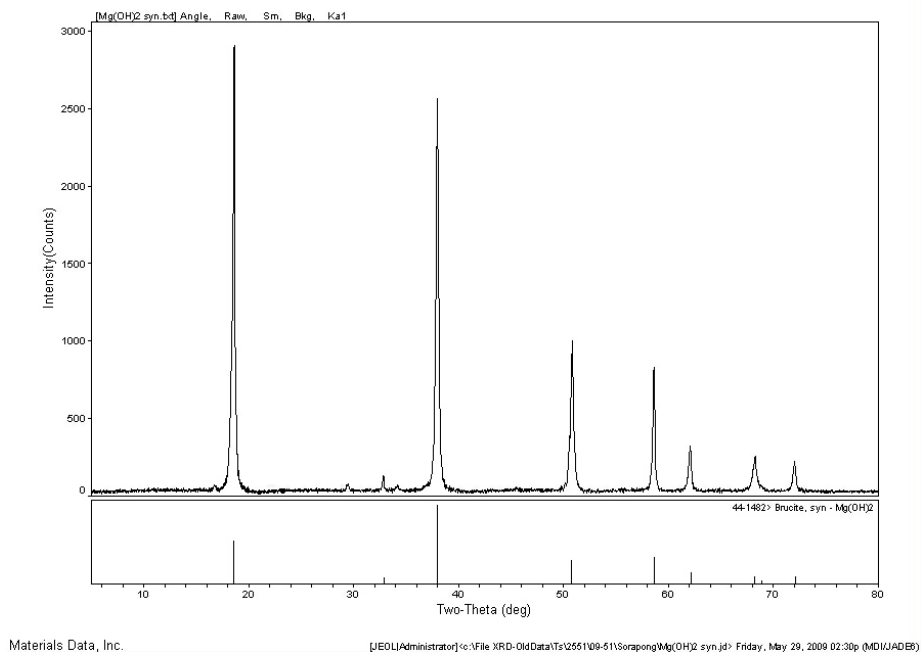




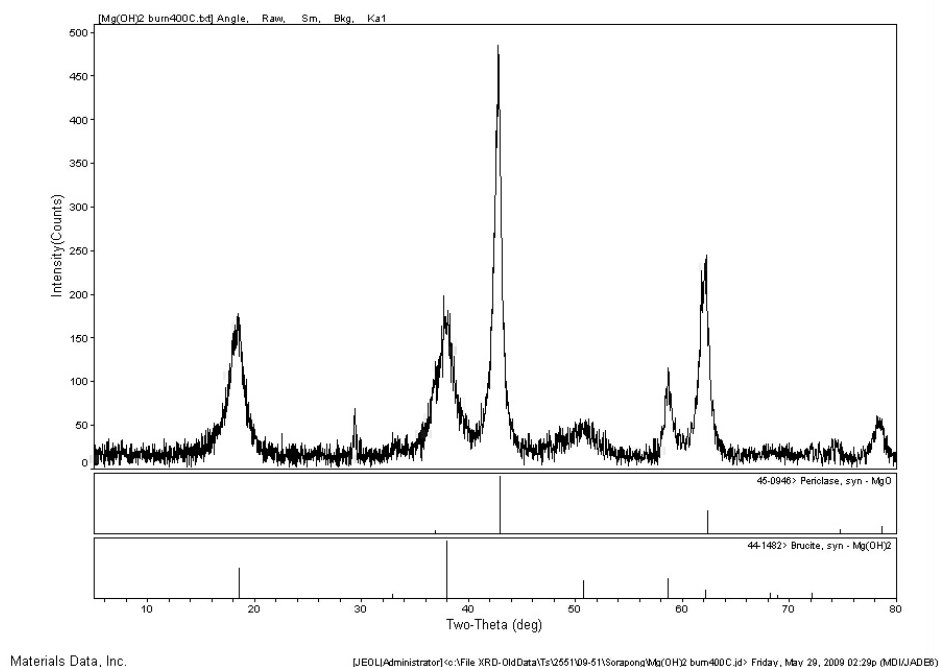
ภาพที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์



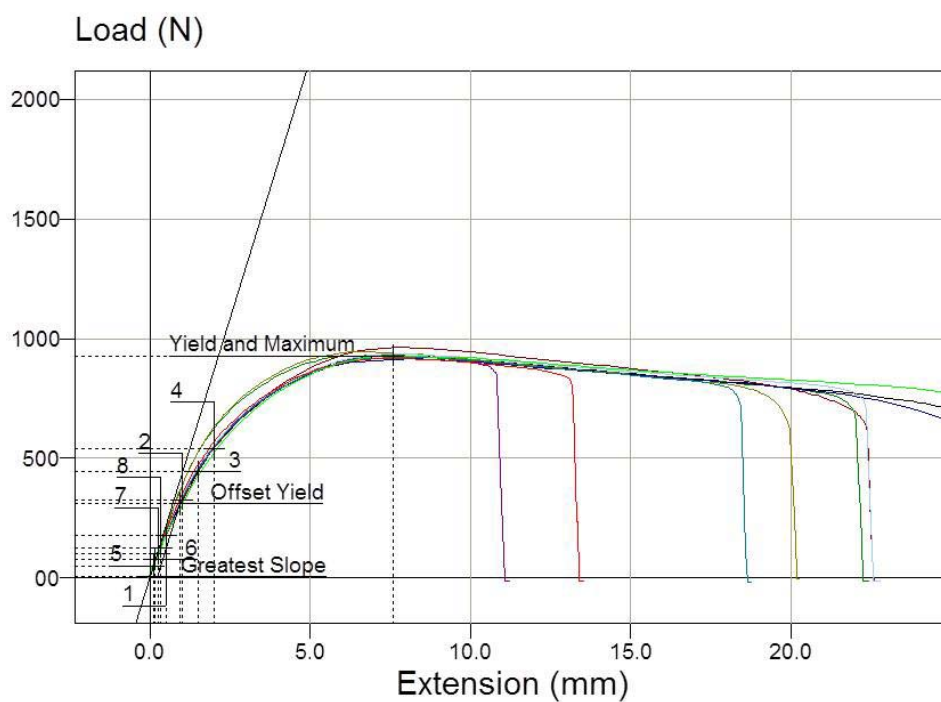
ภาพที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์



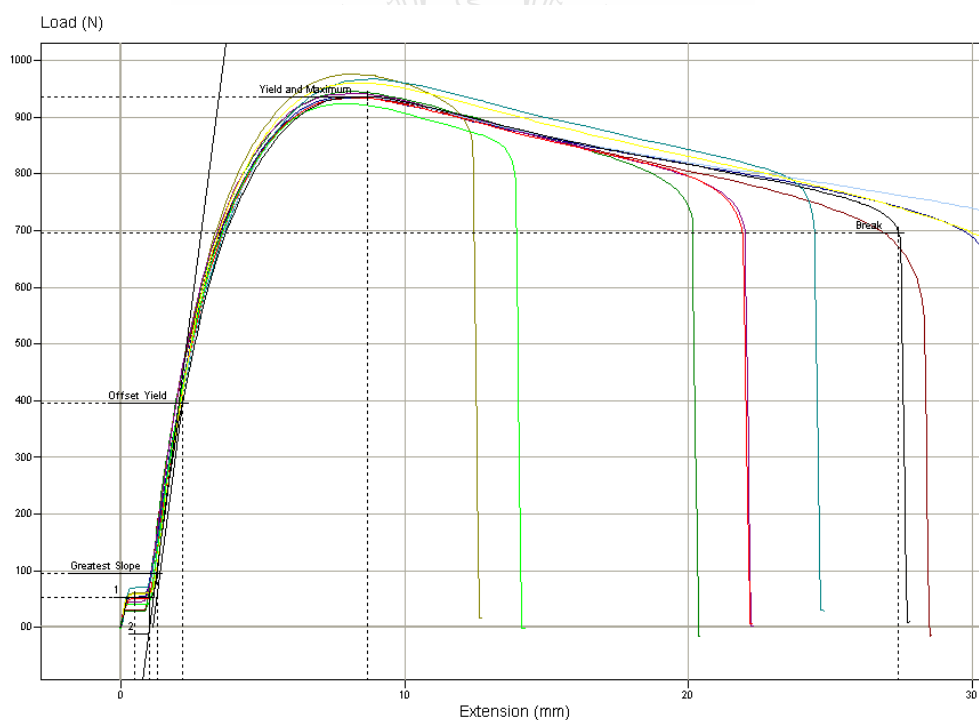
ภาพที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร หลังการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



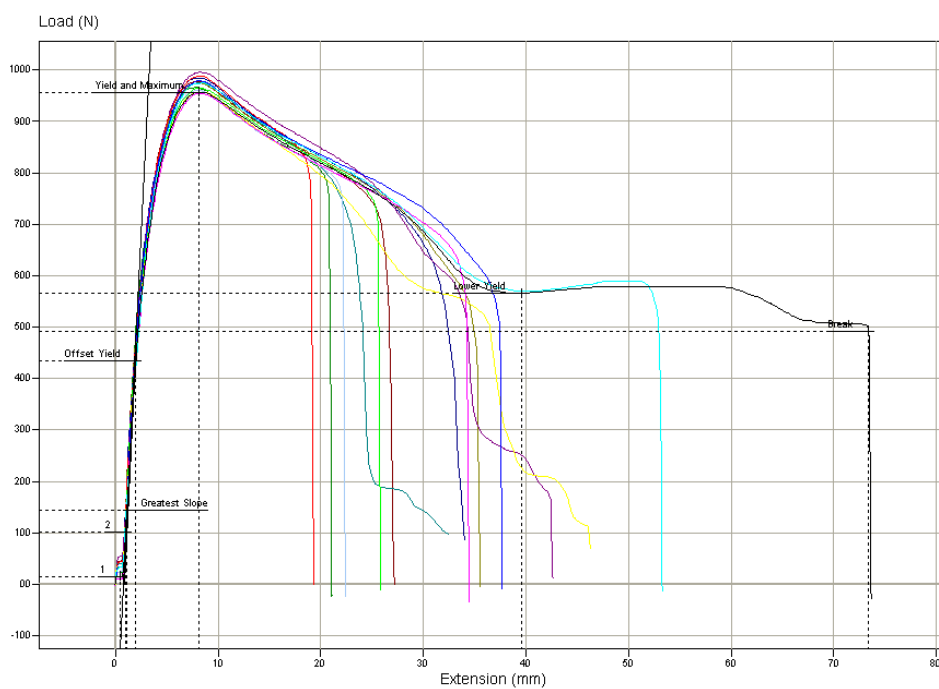
ภาพที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



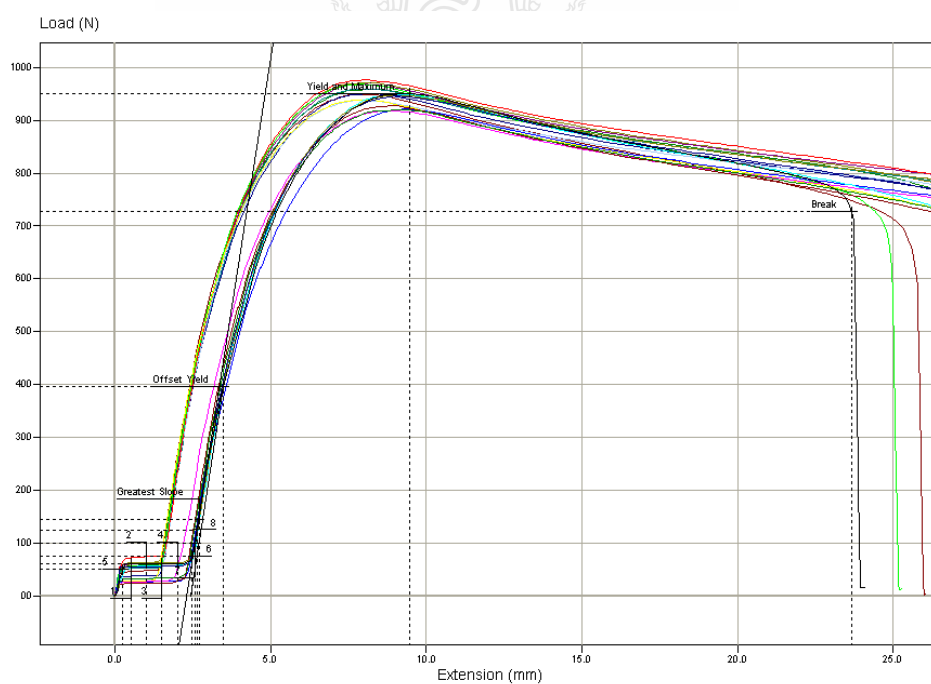
ภาพที่ ก.5 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลีโพรพิลีน 100%



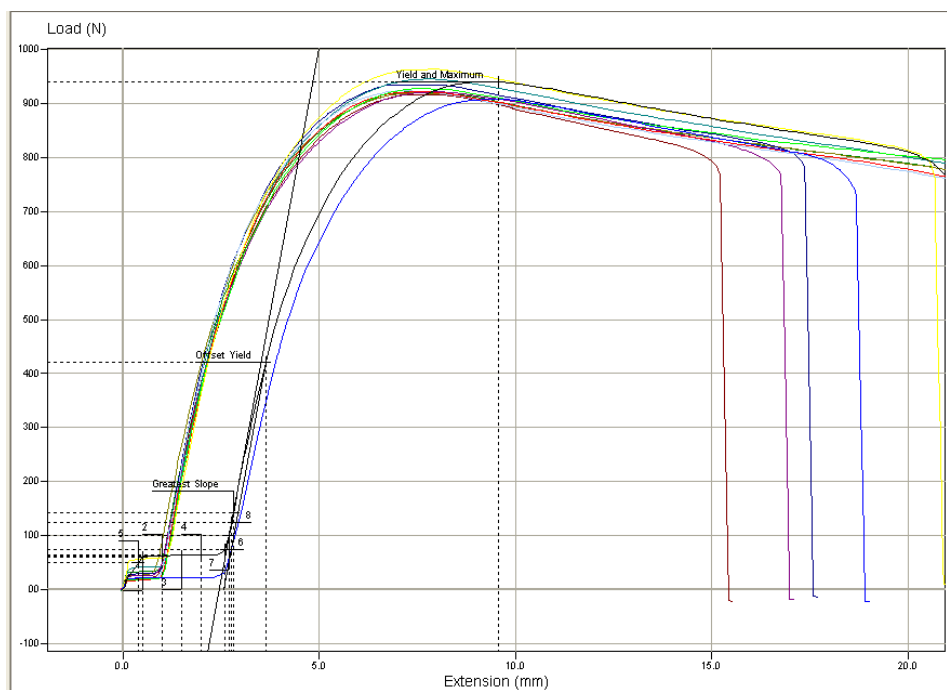
ภาพที่ ก.6 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ 0.1%



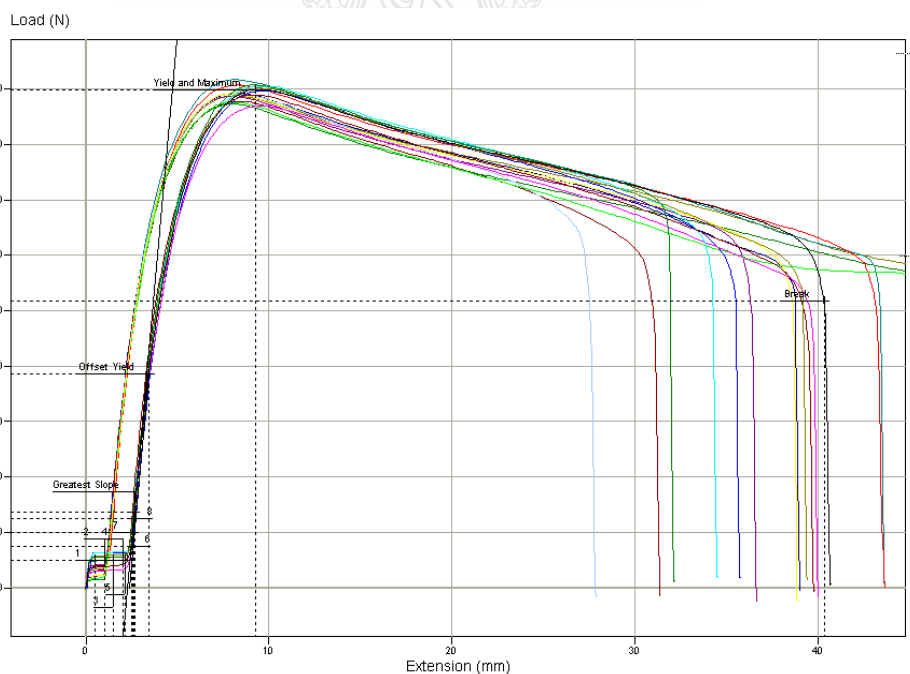
ภาพที่ ก.7 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ 0.5%



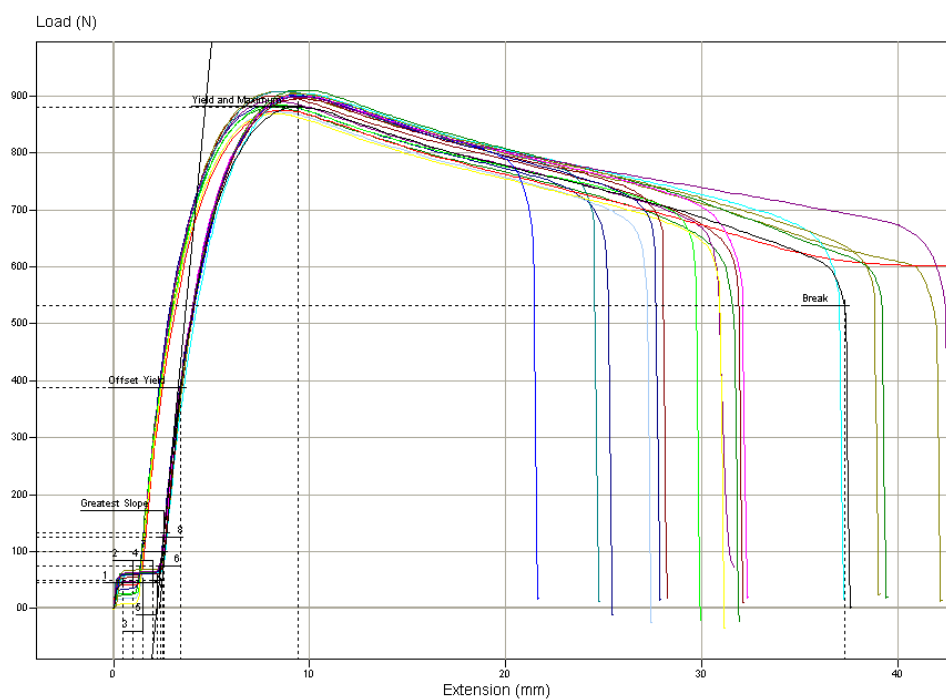
ภาพที่ ก.8 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ 1.0%



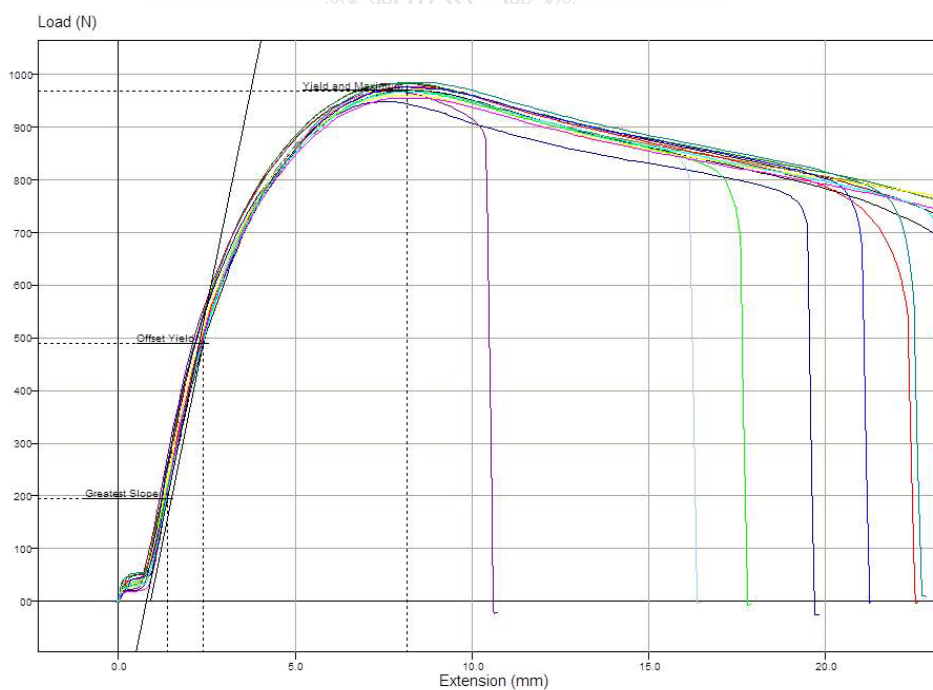
ภาพที่ ก.9 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ 0.1%



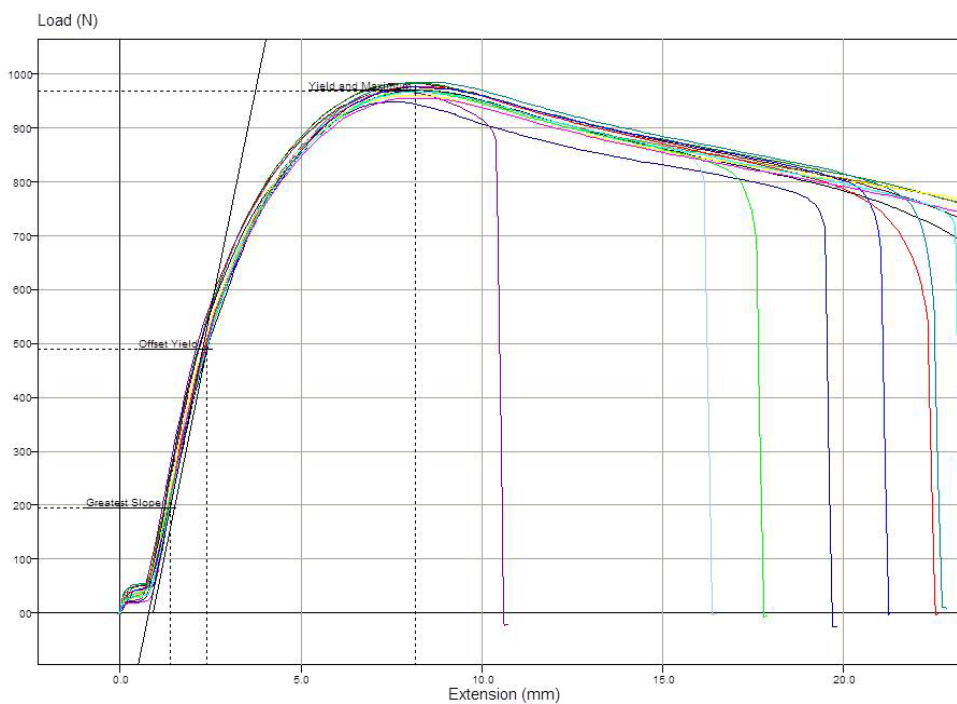
ภาพที่ ก.10 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ 0.5%



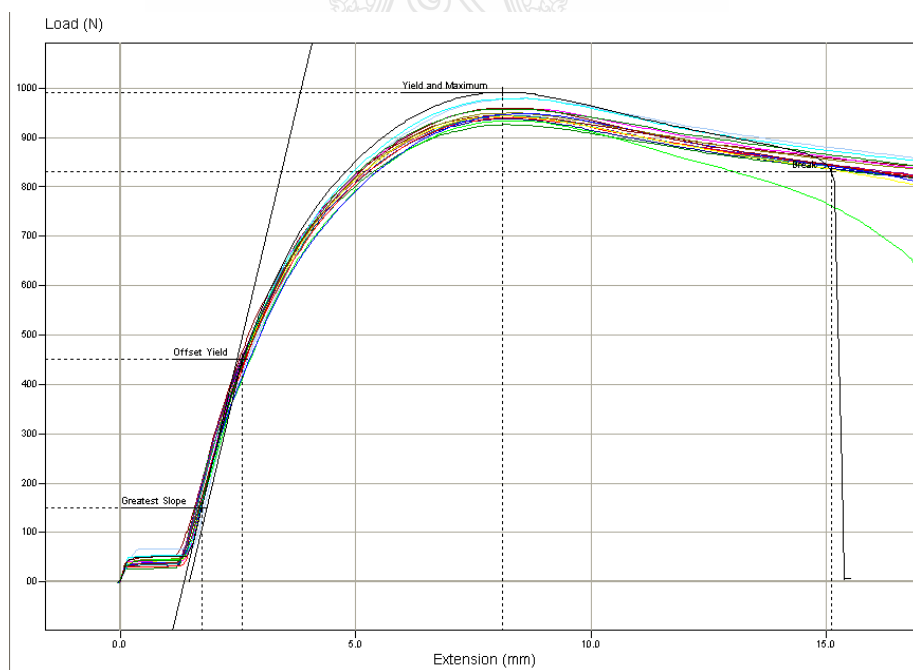
ภาพที่ ก.11 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ 1.0%



ภาพที่ ก.12 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ 0.1%



ภาพที่ ก.13 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ 0.5%



ภาพที่ ก.14 กราฟผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์
อนุภาคระดับนาโนเมตรเชิงพาณิชย์ 1.0%

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (Tensile Strength (MPa)) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ของโพลีโพรพิลีนที่เติมด้วย MgO

MgO (wt%)	PP100%	PP+MgO(μm)	PP+MgO(nm) 450°C 3Hrs.	PP+MgO(nm) Com.
0.10%	23.34	23.65	23.26	24.29
0.50%	23.34	24.37	24.73	23.98
1.00%	23.34	23.95	22.19	23.60

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าการยืดตัวเฉลี่ย (Elongation at Break) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ของโพลีโพรพิลีนที่เติมด้วย MgO

MgO (wt%)	PP100%	PP+MgO(μm)	PP+MgO(nm) 450°C 3Hrs.	PP+MgO(nm) Com.
0.10%	19.91	23.37	27.09	21.53
0.50%	19.91	35.88	37.67	35.41
1.00%	19.91	32.41	35.99	32.48

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าความแข็งเฉลี่ย (Shore Durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ของโพลีโพรพิลีนที่เติมด้วย MgO

MgO (wt%)	PP100%	PP+MgO(μm)	PP+MgO(nm) 450°C 3Hrs.	PP+MgO(nm) Com.
0.10%	56.90	62.50	62.20	63.10
0.50%	56.90	63.90	62.60	63.00
1.00%	56.90	62.60	63.10	62.60

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกเฉื่อย (J/m) ตามมาตรฐาน ASTM D256 ของ โพลีโพรพิลีนที่เติมด้วย MgO

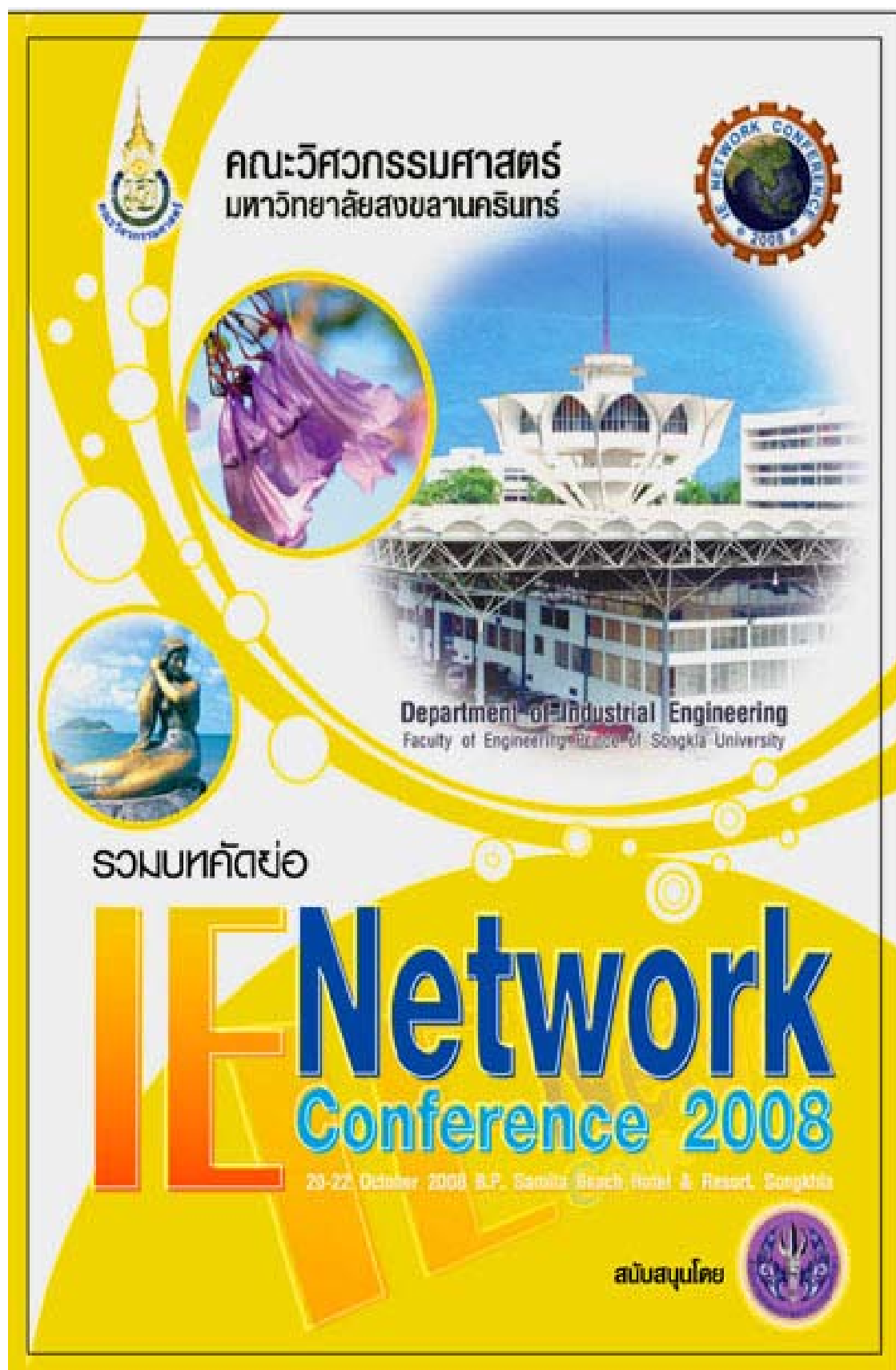
MgO (wt%)	PP100%	PP+MgO(μm)	PP+MgO(nm) 450°C 3Hrs..	PP+MgO(nm) Com.
0.10%	66.00	77.20	82.40	74.40
0.50%	66.00	69.60	72.00	71.60
1.00%	66.00	65.60	71.20	69.20



ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบอัตราการลามไฟตามมาตรฐาน UL-94HB ของโพลีโพรพิลีนที่เติมด้วย MgO (มิลลิเมตร/นาที)



MgO (wt%)	PP100%	PP+MgO(μm)	PP+MgO(nm) 450°C 3Hrs.	PP+MgO(nm) Com.
0.10%	78.254	78.289	71.157	74.062
0.50%	78.254	74.125	70.211	71.684
1.00%	78.254	69.124	68.472	71.136




ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่




คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์





Department of Industrial Engineering
 Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

รวมมหัศจรรย์

IE Network
Conference 2008

20-22 October 2008 S.P. Samita Beach Hotel & Resort, Songkhla

สนับสนุนโดย 



**สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางความร้อนของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ขนาด
อนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรในโพลีโพรพิลีน**
**Electrical and Thermal Properties of Micro/Nano Magnesium Oxide Addition
in Polypropylene**

นพดล เบี้ยทอง ศิริชัย ต่อสกุล* สรพงษ์ ภาสุปรีย์**

*ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

**ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Nophadon Biathong Sirichai Torsakul* Sorapong Pavasupree**

*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

**Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางความร้อนของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่มีขนาดอนุภาคไมโครเมตร (μm) และนาโนเมตร (nm) โดยนำมาผสมกับโพลีโพรพิลีน (PP) เกิดเส้นใยโดยการผสมในอัตราส่วน 0, 0.1, 0.3, และ 0.5 wt% สำหรับ MgO (μm) และ MgO (nm) โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer, HAAKE) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป และนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้มาทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า, ทดสอบสมบัติทางความร้อนและการลามไฟของวัสดุ [UL-94 (HB)] โดยเปรียบเทียบกับโพลีโพรพิลีนบริสุทธิ์ พบว่าผลการทดลองสมบัติทางไฟฟ้าของ MgO (μm) และ MgO (nm) โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดค่าลงเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของโพลีโพรพิลีนที่ผสม MgO (μm) และ MgO (nm) ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

(Tg), อุณหภูมิในการจัดเรียงตัว (Tc) และอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Tm) เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย (Td) สูงขึ้นมากกว่า 80°C (โดยเติม MgO เพียงเล็กน้อย 0.1-0.5 wt%) และมีอัตราการลามไฟลดลง
คำหลัก แมกนีเซียมออกไซด์ โพลีโพรพิลีน ไมโครเมตร นาโนเมตร

Abstract

The purpose of this report is to study on electrical and thermal properties of micro/nano magnesium oxide addition in polypropylene. The compositions of $\mu\text{m}/\text{nm}$ MgO addition are 0, 0.1, 0.3 and 0.5 wt% by using internal mixer (HAAKE). The results showed that; (1) Dielectric constant of the $\mu\text{m}/\text{nm}$ MgO addition did not change so much. The volumetric resistance of the prepared material was decreased



when the amount of $\mu\text{m/nm}$ MgO increased. (2) Thermal properties were studied on Glass Transition Temperature (Tg), Critical Temperature (Tc), Melting Temperature (Tm) and Degradation Temperature (Td) of the prepared materials. It was found that Tg, Tc and Tm were not effected so much. Interestingly, the small amount of $\mu\text{m/nm}$ MgO addition (0.1-0.5 wt%) in PP could increased Td of the prepared materials more than 80°C . The flamability of the prepared materials decreased as the $\mu\text{m/nm}$ MgO addition was increased.

Keywords: Magnesium Oxide, Polypropylene, Micrometer, Nanometer

1. บทนำ

การเติมอนุภาคของวัสดุเข้าไปในเมทริกซ์เป็นเทคนิคที่เปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุที่มีมานาน นับตั้งแต่มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์วัสดุ ซึ่งการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นับเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อเป็นการยกระดับคุณภาพของสินค้าเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงแนวโน้มในอนาคตที่นาโนเทคโนโลยีจะมีบทบาทมากขึ้นเป็นลำดับ [1]

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเด่นทางไฟฟ้าและความร้อน เป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์มากมายหลายประการเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก โดยใช้ทำเตาหลอมเหล็ก ในทางการเกษตรใช้เป็นแร่ธาตุเสริมอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือใช้ทำท่อนก้นน้ำคลองส่งน้ำไปนาในทางการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ยาสีฟัน ใช้เป็นยาล้างสารพิษในท้อง ยาเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร และยาลดความอ้วน เป็นต้น สำหรับทางด้านสิ่งแวดล้อมใช้ในการตกตะกอนสารโลหะหนักในบ่อน้ำบาดาลเสีย ในทางเคมีใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเกลือซัลเฟตและไนเตรท เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ในการก่อสร้างใช้เป็นซีเมนต์ที่ทนทานต่อการผุกร่อนนอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง กระดาษ เยื่อกระดาษ สี กาว ผ้าเบรก และฉนวนกันความร้อนบนเซมิ-คอนดักเตอร์ [2-4] และยังมีการผสมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารต้าน

ทานหรือชะลอการติดไฟจึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากที่สุดอย่างหนึ่ง

โพลีโพรพิลีนเป็นวัสดุที่มีการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานซึ่งถ้าจะเฉพาะเจาะจงในการใช้งานทางไฟฟ้าอย่างเช่น ก่อแบบเตาในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หรือเป็นทางด้านสิ่งทอ อย่างเช่น พรม ผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น [5] ซึ่งการใช้งานที่แตกต่างกันนี้ทำให้ต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามต้องการ

อย่างไรก็ตามยังมีแนวคิดว่าการเติมอนุภาคไมโครเมตรเข้าไปในโพลีเมอร์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับกันมากในขณะนี้ โดยการการใช้สารเติมแต่งในโพลีเมอร์มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติ ให้เหมาะสมกับการใช้งานและความต้องการของตลาดมากขึ้น [6] โดยการเติมกลุ่มของสารประเภทออกไซด์ของโลหะที่มีอนุภาคนาโน เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซิลเวอร์ออกไซด์ (AgO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) [7,8] การวิจัยครั้งนี้จึงนำเอาแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรมาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดเส้นใย และนำมาทำการศึกษสมบัติที่เกิดขึ้นได้แก่ การทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก การทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุและการทดสอบการลามไฟของวัสดุ

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ

- เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) ชนิดที่ใช้ในการทำเส้นใย เกรด HP 561R ผลิตโดยบริษัท HCM Polymer and Associate of PTT & Basell

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร เกรด MW06261 จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคนาโนเมตร เกรด MW04383 จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)

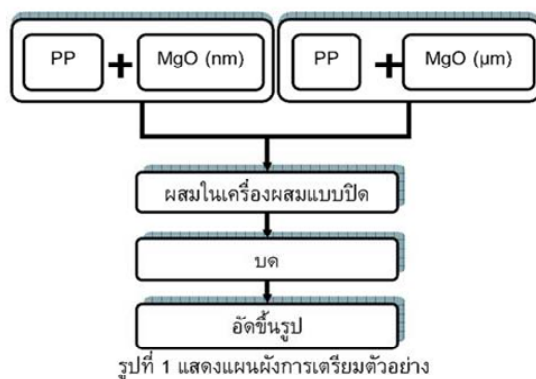
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer ; HAAKE)
2. เครื่องบดพลาสติก
3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)



4. เครื่องมือทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Impedance and grind-phase analyzer)
5. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี(Differential scanning calorimetry ; DSC)
6. เทอร์โมกราวิเมทรีอินนาไลซิส (Thermogravimetric analysis ; TGA)
7. เครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุ (Flammability tester)

วิธีในการเตรียมตัวอย่างดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 1



การเตรียมเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ในการผสมพลาสติกโพลีโพรพิลีนกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่าง PP กับ MgO (nm) หรือ MgO (µm)

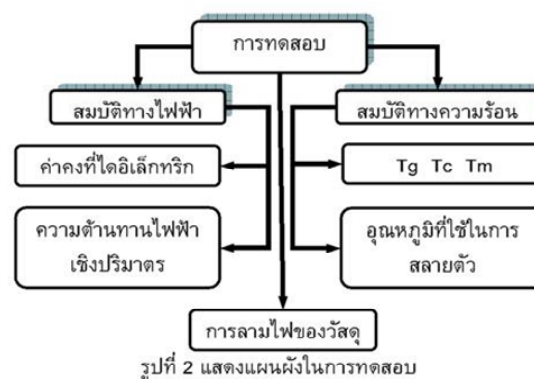
สูตรที่	ปริมาณที่ใช้ผสม (g)		
	PP	MgO (nm)	MgO (µm)
1	100	-	-
2	100	0.1	-
3	100	0.3	-
4	100	0.5	-
5	100	-	0.1
6	100	-	0.3
7	100	-	0.5

สภาวะที่ใช้ในการผสมคือ

- อุณหภูมิ 180°C
- ความเร็วใบกวน 30 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 8 min

จากนั้นนำตัวอย่าง PP ที่ทำการผสมแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ 1 วัน นำไปบดให้มีขนาดเล็กแล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยหลังจากกระบวนการนี้จะไดตัวอย่าง 2 ลักษณะคือ แบบเป็นเม็ดและแบบเป็นแผ่น โดยแบบเป็นแผ่นจะถูกนำมาตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ

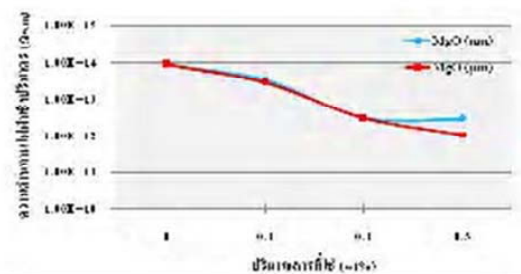
ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบโดยในการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรและค่าคงที่ไดอิเล็กทริก โดยจะใช้ตัวอย่างที่มีขนาดกว้าง 3 นิ้ว, ยาว 3 นิ้วและหนา 3 มิลลิเมตร ในส่วนของการทดสอบการลามไฟของวัสดุจะใช้ตัวอย่างที่มีขนาดกว้าง 0.5 นิ้ว, ยาว 5 นิ้วและหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีแผนผังในการทดสอบดังรูปที่ 2



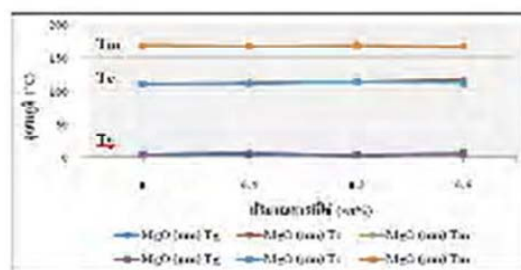
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานเชิงปริมาตรไฟฟ้าลดลง และ MgO (µm) จะมีการลดลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรอย่างต่อเนื่อง แต่ MgO (nm) หลังจากเพิ่มปริมาณขึ้นจาก 0.3 wt% เป็น 0.5 wt% ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อาจเป็นผลมาจากอนุภาคที่ใช้เกิดการแตกตัวแล้วเกิดประจุไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ [9] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3



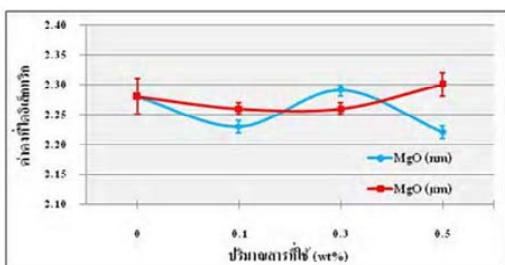
รูปที่ 3 กราฟความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP



รูปที่ 5 กราฟอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm ของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

3.2 การทดสอบค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นผลมาจากตัวอย่างอนุภาคนาโนเมตรและไมโครเมตรในแต่ละอัตราส่วนเกิดการจับเรียงตัวของไฟฟ้าสอดคล้องกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ [10] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



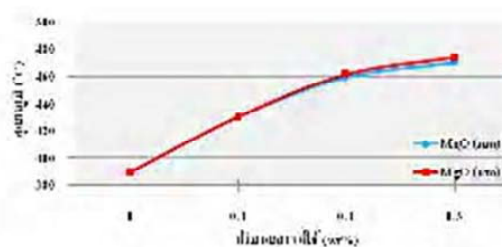
รูปที่ 4 กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

3.3 การวิเคราะห์ผลหาอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm เกิดการเปลี่ยนแปลง อาจเป็นผลมาจาก PP เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิที่น้อยกว่าสารเคมีที่ใช้ และใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไปทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง [11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5

3.4 การทดสอบหาอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัว (Td)

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเมื่อเปรียบเทียบการใช้ในปริมาณการผสมที่เท่ากันก็ไม่มีผลแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวจะเป็นการวัดน้ำหนักที่หายไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ดังนั้นการที่จะทำให้ PP เกิดการสลายตัวจะใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียงค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีการผสม MgO ลงใน PP จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น เพราะอุณหภูมิที่ใช้จะถูกแบ่งออกให้กับ PP และให้กับสารเคมีที่ใส่เข้าไป ทำให้ PP ได้รับอุณหภูมิที่ต่ำลงส่งผลให้ทนอุณหภูมิได้สูงขึ้น และเมื่อใช้อัตราส่วนที่มากขึ้น อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก [11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6



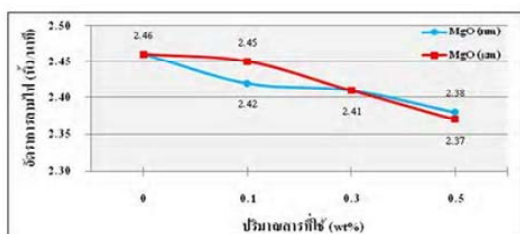
รูปที่ 6 กราฟอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติม MgO µm/nm เข้าไปเพียง 0.5wt% ก็สามารถทำให้ค่า Degradation temperature (Td) หรือค่าการทนต่อความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 80°C ผลเนื่องมาจาก MgO ที่เติมลงไปมีสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้สูง ส่งผลทำให้เส้นใยทนต่อความร้อนได้มากขึ้น



3.5 การทดสอบการลามไฟ

จากการทดสอบการลามไฟของวัสดุ [UL-94 (HB)] พบว่าการผสม MgO (nm) และ MgO (μm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการลามไฟลดลง โดยรวมแล้วอัตราการลามไฟมีอัตราที่ลดลงเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดองค์ประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง [11] ผลการทดสอบแสดงใน รูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตราการลามไฟของ MgO (nm) และ MgO (μm) เมื่อผสมกับ PP

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าสมบัติทางความร้อน และการลามไฟสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า

ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดต่ำลง เนื่องจากอนุภาคที่ใช้เกิดการแตกตัวแล้วเกิดประจุไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้และการเกาะตัวกันขณะผสมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

การที่จะทำให้ PP เกิดการสลายตัวจะใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียงค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีการผสม MgO (nm) และ MgO (μm) ลงใน PP จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพราะอุณหภูมิที่ใช้จะถูกแบ่งออกให้กับ PP และให้กับ MgO (nm) และ MgO (μm) ที่ใส่เข้าไปทำให้ PP จะสามารถทนอุณหภูมิได้อย่างจำกัด

4.3 การลามไฟ

อัตราการลามไฟลดลงเนื่องจาก MgO (nm) และ MgO (μm) ที่เติมลงไปจะช่วยชะลอการติดไฟป้องกันไม่ให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็วโดยการตัดองค์ประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการ

ลามไฟลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (MRG5180124) และ เครือข่ายวิจัยด้านสิ่งทอ (Textiles Collaborative Research Consortium, Textiles CRC, NANOTEC, Thailand)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. สุคนธ์ พานิชพันธ์ 2549. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 90-91
- [2] Jimmy C. Yu., Anwu Xu, Lizhi Zhang, Ruiqi Song, and Ling Wu (2004) "Synthesis and Characterization of Porous Magnesium Hydroxide Nanoplates", J Phys. Chem. B 2004, 108, pp.64-70
- [3] Kake Zhu, Juncheng Hu, Christian Kubel, and Ryan Richard. (2006) "Efficiency Preparation and Catalytic Activity of MgO (111) Nanosheet" Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, pp.7277-7281
- [4] Haisia Niu, Qing Ying, Kaibin Tang, Yi Xie. (2006) "A Simple Solution Calcinations Route to Porous MgO Nanoplates.", Science, 2006, pp.-428-433
- [5] ปรีชา พหลเทพ. 2544. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- [6] บรรณเลข ตรีนิล.เทคโนโลยีพลาสติก(ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น),2546
- [7] อรุษา สรวารี.สารตกแต่งพอลิเมอร์ เล่ม1.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2546
- [8] A.M. Thayer, Nanomaterials, Chemical and Engineering News ,2003,81, pp.15-22
- [9] Weawkamol Leelapompisit 2004. "Conductivity improvement of carbon black filled polypropylene (PP) polystyrene (PS) blend by controlling morphology." Mahidol University.

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2551

20-22 ตุลาคม 2551



- [10] เจริญ นาคะสรรค์. 2545. เทคโนโลยีเบื้องต้นทาง
พลาสติก.สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร, กรุงเทพฯ.
- [11] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์
ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัย
รามคำแหง, กรุงเทพฯ

IE NET
Industrial Engineering Network Conference
2009

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552
Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ





การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
21-22 ตุลาคม 2552

การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบ ของการเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีด

นพดล เบี้ยทอง¹ ศิริชัย ท่อสกุล¹ สรพงษ์ ภาสุปรีย์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมแผ่นนาโน (Nanoplate) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและศึกษาถึงผลกระทบของการเติมแผ่นนาโนที่เตรียมได้ในโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดงานฉีดต่อสมบัติเชิงกล หลังจากทำการเตรียมวัสดุนาโนโดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว นำวัสดุที่สังเคราะห์ได้มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่ามีรูปร่างเป็นแบบแผ่นในขนาดนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณจากนั้นนำแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดที่อัตราส่วน 0,0.1,0.5,1.0,3.0,5.0 และ 10.0 wt% และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ การทนต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงของวัสดุและอัตราการลามไฟของวัสดุ พบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนส่งผลให้มีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นและมีอัตราการยึดตัวลดลง ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้ค่าความ

ต้านทานแรงกระแทกลดลง สมบัติด้านความแข็งแรงพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุ และผลการทดสอบอัตราการลามไฟพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟลดลงอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลังจากเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดทำให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ลดลงและมีผลทำให้อัตราการลามไฟลดลง

คำสำคัญ แมกนีเซียมออกไซด์ โพลีโพรพิลีน ไฮโดรเทอร์มอล วัสดุนาโน

1. บทนำ

การเติมอนุภาคของวัสดุเข้าไปในเมทริกซ์เป็นเทคนิคที่เปลี่ยนสมบัติของวัสดุที่มีมานาน นับตั้งแต่มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์วัสดุ ซึ่งการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นับเป็นสิ่งจำเป็นในการยกระดับคุณภาพของสินค้าและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการให้สูงขึ้น

โดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงแนวโน้มในอนาคตที่นาโนเทคโนโลยีจะมีบทบาทมากขึ้นเป็นลำดับ [1]

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเด่นทางไฟฟ้าและความร้อน เป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์มากมายหลายประการเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก โดยใช้ทำเบ้าเตาหลอมเหล็ก ในทางการเกษตรใช้เป็นแร่ธาตุเสริมอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือใช้ทำทำนบกั้นน้ำคลองส่งน้ำไปนาในทางการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ยาสีฟัน ใช้เป็นยาล้างสารพิษในท้อง ยาเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร และยาลดความอ้วน เป็นต้น สำหรับทางด้านสิ่งแวดล้อมใช้ในการตกตะกอนสารโลหะหนักในบ่อบำบัดน้ำเสีย ในทางเคมีใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเกลือซัลเฟตและไนเตรท เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ในการก่อสร้างใช้เป็นซีเมนต์ที่ทนทานต่อการผุกร่อนนอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง กระดาษ เยื่อกระดาษ สี กาว ผ้าเบรค และฉนวนกันความร้อนบนเซมิ-คอนดักเตอร์ [2-4] และยังมีผสมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารต้านทานหรือชะลอการติดไฟจึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากที่สุดอย่างหนึ่ง

ปัจจุบันมีการวิจัยการสังเคราะห์นาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในรูปแบบต่าง ๆ แต่ปัญหาก็คือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนส่วนใหญ่ใช้สารตั้งต้นที่มีราคาค่อนข้างสูง อันตราย และขนาดการทดลองได้ครั้งละประมาณ 0.4 – 1.0 กรัม [4-5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมแผ่นนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ราคาถูกที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยนำมาทำการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแบบไฮโดรเทอร์มอลที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำวัสดุที่เตรียมได้มาทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติต่างๆกับวัสดุตั้งต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางต่อไป

โพลีโพรพิลีนเป็นวัสดุที่มีการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานเช่น กล้องแบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หรือทางด้านสิ่งทอ เช่น พรหม ผ้าผ้าน เป็นต้น [6] ซึ่งการใช้งานที่แตกต่างกันนี้ทำให้ต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่ต่างกันอย่างอื่นเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆให้ได้ตามต้องการ

อย่างไรก็ตามยังมีแนวคิดว่าการเติมอนุภาคไมโครเมตรเข้าไปในโพลีเมอร์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับ

กันมากในขณะนี้ โดยการการใช้สารเติมแต่งในโพลีเมอร์มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานและความต้องการของตลาดมากขึ้น [7] การวิจัยครั้งนี้จึงนำเอาแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้เองโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลมาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีตและนำมาทำการศึกษาสมบัติที่เกิดขึ้น ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็งของวัสดุและทดสอบสมบัติการลามไฟ

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร เกรด 1124-500G จากบริษัท Ajax Finechem

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคนาโนเมตร เกรด 549649-5G จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)

- เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) ชนิดที่ใช้ในงานฉีต เกรด P840J ผลิตโดยบริษัท Thai Polypropylene

กระบวนการเตรียมแผ่นนาโนโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับไมโครเมตรที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด นำมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้น้ำ (H₂O) ในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำวัสดุที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตร

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM)

หลังจากนั้นนำแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้มาทำการผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีตโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) โดยทำการผสมโพลีโพรพิ

ลีนกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่าง PP กับ MgO (μm) หรือ MgO (nm)

สูตรที่	ปริมาณที่ใช้ผสม (g)			
	PP	Commercial MgO(μm)	Synthesized MgO(nm)	Commercial MgO(nm)
1	100.00	-	-	-
2	99.90	0.10	-	-
3	99.50	0.50	-	-
4	99.00	1.00	-	-
5	97.00	3.00	-	-
6	95.00	5.00	-	-
7	90.00	10.00	-	-
8	99.90	-	0.10	-
9	99.50	-	0.50	-
10	99.00	-	1.00	-
11	97.00	-	3.00	-
12	95.00	-	5.00	-
13	90.00	-	10.00	-
14	99.90	-	-	0.10
15	99.50	-	-	0.50
16	99.00	-	-	1.00

สภาวะที่ใช้ในการผสมคือ

- อุณหภูมิ 190°C
- ความเร็วใบกวน 40 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 8 min

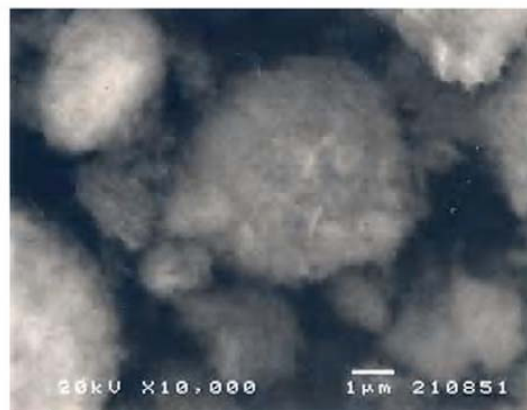
จากนั้นนำตัวอย่างโพลีโพรพิลีนที่ทำการผสมแล้วนำไปอบทำให้มีขนาดเล็กและนำไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบเชิงกลได้แก่ การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบการทนต่อแรงดึง การทดสอบความแข็ง และการทดสอบอัตราการลามไฟ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

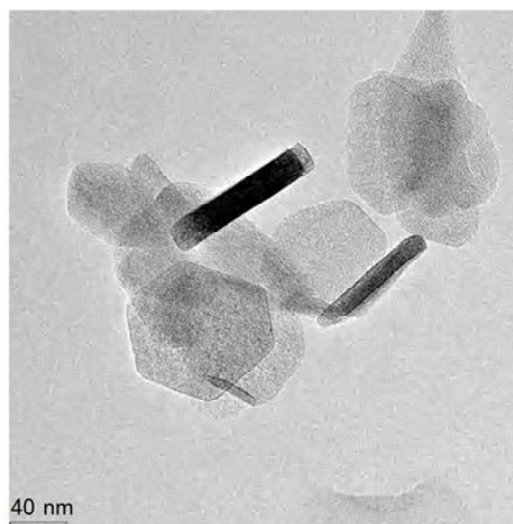
3.1 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้

จากผลการทดสอบโครงสร้างด้วยวิเคราะห์ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์จากระดับไมโครเมตรเป็นระดับนาโน

เมตรโดยโครงสร้างที่ได้มีลักษณะโครงสร้างแบบแผ่น (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80nm ยาว 90nm และหนา 15nm โดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ภาพถ่ายSEMของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



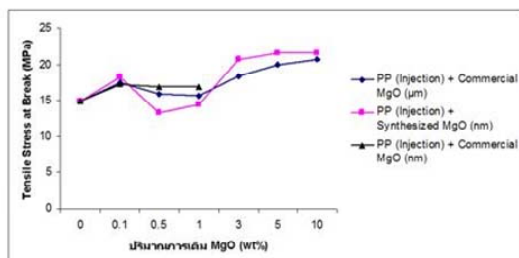
รูปที่ 3 ภาพถ่ายTEMของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C

3.2 ผลการศึกษาสมบัติของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน

3.2.1 การศึกษาสมบัติความต้านทานแรงดึง (ASTM D638)

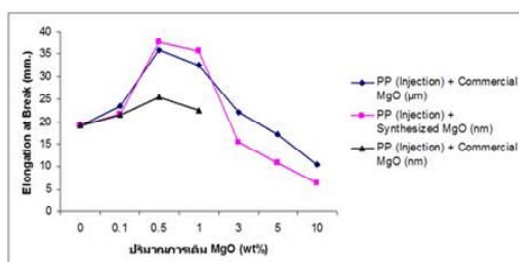
จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO(nm) และ MgO(μm) ในโพลีโพรพิลีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้

ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เพิ่มขึ้นในช่วงการผสม MgO ที่ 3-10 wt% โดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าความเค้นแรงดึงของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

ในด้านอัตราการยืดตัวของวัสดุจากผลการทดสอบพบว่าในช่วงการผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ที่ 0.1-0.5 wt% ค่าความยืดตัวของวัสดุเพิ่มมากขึ้นเกือบ 1 เท่าตัว และในช่วงการผสมตั้งแต่ 1.0 wt% ขึ้นไปค่าอัตราการยืดตัวมีแนวโน้มที่ลดลงโดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5



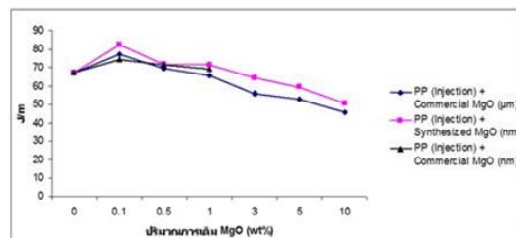
รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบอัตราการยืดตัวของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

จากผลการทดลองผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ในโพลีโพรพิลีนพบว่า การเพิ่มปริมาณของ MgO ที่มากขึ้นจะทำให้ MgO รวมตัวกันส่งผลให้วัสดุมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการยืดตัวลดลง [8]

3.2.2 การศึกษาสมบัติความต้านทานแรงกระแทก

จากผลการทดลองพบว่า MgO ที่เติมลงไปทำให้ PP มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง 0-0.1wt% และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงการผสมตั้งแต่ 0.1 wt% ขึ้นไปเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของ MgO ที่มากขึ้นจะทำให้ MgO รวมตัวกัน

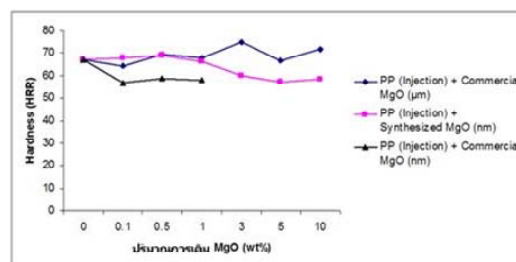
ส่งผลให้เกิดจุดอ่อนในเนื้อของวัสดุทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกตกลง [8] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

3.2.3 การศึกษาสมบัติความแข็งของวัสดุ

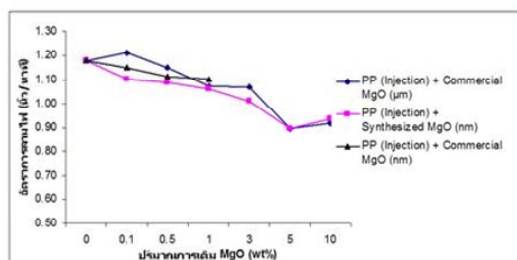
จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO(nm) และ MgO(µm) Commercial Grade ไม่ส่งผลให้สมบัติทางด้านความแข็งของวัสดุเปลี่ยนแปลงมากนัก ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

3.2.4 การศึกษาสมบัติการลามไฟของวัสดุ

จากการทดสอบการลามไฟของวัสดุ [UL-94 (HB)] พบว่าการผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟของวัสดุลดลง เนื่องจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง [9-11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบอัตราการลามไฟของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

4. สรุปผลการวิจัย

การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นแบบแผ่นในขนาดนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณ และหลังจากเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดส่งผลให้วัสดุมีค่าความเค้นแรงดึงเพิ่มขึ้นและทำให้วัสดุมีอัตราการยึดตัวลดลง ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง สมบัติด้านความแข็งแรงพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุ และผลการทดสอบอัตราการลามไฟพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (MRG5180124) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. สุนันท์ พานิชพันธ์. 2549. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่ หน้า 90-91
- [2] Jimmy C. Yu, Anwu Xu, Lizhi Zhang, Ruiqi Song, and Ling Wu (2004) "Synthesis and Characterization of Porous Magnesium Hydroxide Nanoplates", J Phys. Chem. B 2004, 108, pp.64-70
- [3] Kake Zhu, Juncheng Hu, Christian Kubel, and Ryan Richard. (2006) "Efficiency Preparation and Catalytic Activity of MgO (111) Nanosheet" Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, pp.7277-7281
- [4] Haixia Niu, Qing Yang, Kaibin Tang, Yi Xie. (2006) "A simple solution calcination route to porous MgO nanoplates.", Science Direct, 2006, pp. 428-433
- [5] C. Henrist, J.-P. Mathieu, C. Vogels, A. Rulmont, R. Cloots. (2003) "Morphological study of magnesium hydroxide nanoparticles precipitated in dilute aqueous solution.", Science, 249, 2006, pp.428-433
- [6] ปรีชา พหลเทพ. 2544. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- [7] บรรเลง ศรีนิล. 2546. เทคโนโลยีพลาสติก (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [8] Xiu-ting Zheng, Da-ming Wu, Qing-yun Meng, Ke-jian Wang, Ying Liu, Li Wan and Dong-yun Ren. (2007), "Mechanical Property of low-density polyethylene/nano-Magnesium hydroxide composites prepared by an in situ bubble stretching method.", J Polym Res, 2008 15, pp. 59-65.
- [9] Dalai Jin, Xiaoyun Gu, Xiaojing Yu, Gaosong Ding, Hongliang Zhu and Kuithong Yao. (2008), "Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal Mg(OH)₂ nano-flake as Flame retardance", Material Chemistry and Physics, Vol. 112, Issue 3, 20 December 2008, pp. 962-965.
- [10] Dehong Chen, Huaying Zhang, Qiukai Zheng, Feiyue Liu, Kai Xu and Mingkai Chen. (2007), "Polypropylene composites filled by magnesium hydroxide coprecipitate with foreign ions", Digital Object Identifier (DOI), 2008.

[11] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551

Operations Research		
1	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2	ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3	ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4	ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7	ค.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8	อ.ดร.สิริง ปรีชานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9	ดร.ชัชพันธ์ ชำญาคติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
10	ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เชนฐุโชติศักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11	ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12	ผศ.ดร.ศิษรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13	รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภาคแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18	ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
19	ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20	รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลียงไพบูลย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
21	ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
22	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
23	ดร.จักรวาล คุณะดิลก	มหาวิทยาลัยบูรพา
24	ดร.ฤกษ์วัลย์ จันทรสลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
25	ผศ.ดร.บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
26	รศ.ดร.ดวงพรรณณ ศฤงคารินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
27	ดร.พิษณุ มั่นปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
28	ดร.วิญชนา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
29	ผศ.ยอดดวง พันธันรา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
30	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
31	ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
32	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

33	ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
34	รศ.วณิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
35	รศ.สมชาย ชูโถม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
36	รศ.ดร.สันหทัย กลิ่นพิบูล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
37	อ.สุรียา จิรสติตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
38	ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะไล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
39	ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเขาวน	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
40	รศ.ดร.อรรรดกร เก่งพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
41	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Operations Management		
42	ผศ.ประเสริฐ อัครประดมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
43	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
44	ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ ไอสถิตศิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
45	ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
46	ผศ.ดร.ปวีณา ชาวลิตวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
47	ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
48	ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
49	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
50	รศ.ดร.ปารเมศ ชุตินา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
51	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
52	อ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
53	อ.ดร.สิริง ปริษานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
54	ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
55	ดร.นันทชัย กานดำนันทะ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
56	ดร.สุวิษกรณ์ วิชกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
57	ดร.รักษน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
58	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
59	ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เชนงูโชติศักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
60	ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
61	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
62	ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
63	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
64	รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐ์นันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
65	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
66	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

67	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
68	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภาคาง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
69	ผศ.ดร.อรุณพล สมุทคุปต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
70	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
71	ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
72	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
73	ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชะเรียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
74	ผศ.ดร.อนันต์ วงศ์กระจ่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
75	ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
76	ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
77	ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาระราช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
78	ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
79	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
80	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
81	ดร.จักรวาล คุณะติลก	มหาวิทยาลัยบูรพา
82	ดร.ณัฐวัลย์ จันทรสา	มหาวิทยาลัยบูรพา
83	ผศ.ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
84	ผศ.ดร.บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
85	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
86	ดร.พิษณุ มนัสปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
87	ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
88	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
89	ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
90	ดร.รัชชานา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
91	ผศ.คำรณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
92	ผศ.ยอดดวง พันธุ์นรา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
93	ผศ.สงวน โพธิธรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
94	ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
95	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
96	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
97	ผศ.ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
98	ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
99	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
100	รศ.สมชาย ชูโฉม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
101	รศ.ดร.สันหทัย กลิ่นพิกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
102	อ.สุริยา จิรสถิตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
103	ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
104	ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

105	ผศ.ดร.สรรพลสิทธิ์ ลีมนรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
106	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
107	ดร.วิทยา สุหฤตดำรง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
108	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
109	รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Safety Management, Work Study, Ergonomics		
110	รศ.ดร.จิตรา รุ้กกิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
111	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
112	อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
113	ดร.รภน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
114	ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
115	ผศ.ดร.วิวัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
116	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุธา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
117	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
118	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
119	ผศ.ดร.พรศิริ จงกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
120	ผศ.นริศ เจริญพร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
121	ผศ.ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา
122	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา
123	ดร.เชียรไชย จิตต์แจ้	มหาวิทยาลัยมหิดล
124	ผศ.ดร.ชนารรณ อัครไพบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
125	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
126	อ.สมพร พรหมดวง	มหาวิทยาลัยรังสิต
127	ผศ.วันชัย ลีลากรวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
128	ผศ.คำรณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
129	ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
130	ผศ.ดร.อรุณ สังข์พงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
131	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
132	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
133	ผศ.ดร.บงยุทธ์ พงกษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
134	รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Quality Management		
135	ผศ.ประเสริฐ อัครประดมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
136	ผศ.ดร.นภัสวงศ์ โอสติกิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

137	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
138	รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
139	รศ.ดร.ปารเมศ ชุตินา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
140	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
141	อ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
142	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
143	รศ.ดร.พรเทพ ขอบจายเกียรติ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
144	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภางแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
145	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
146	ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
147	ผศ.ดร.ธนา คุปต์ชะเรียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
148	ผศ.ดร.บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา
149	รศ.เกษม พิพัฒน์ปัญญาอนุกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา
150	ผศ.ศุภชัย นาทะพันธ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
151	ดร.พิษณุ มนัสปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
152	ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
153	ดร.รัฐชนา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
154	ผศ.คำรณ พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
155	ผศ.เสน่ห์ ธีธราดาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
156	ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
157	ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
158	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
159	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
160	รศ.ดร.สันหทัย กลิ่นพิกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
161	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
162	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
163	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พฤษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
164	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
165	รศ.ดร.บุษชัย บันเทิงจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Energy Management		
166	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
167	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
168	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
169	ดร.แฉล้ม โพธิ์แดง	มหาวิทยาลัยมหิดล
170	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
171	ผศ.สงวน โพธิธรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

172	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
173	อ.สุริยา จิรสกิตลิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
174	ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
175	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พุกกษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Environmental Management		
176	รศ.ดร.จิตรา รุกิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
177	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
178	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
179	ดร.แฉล้ม โพธิ์แดง	มหาวิทยาลัยมหิดล
180	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
181	ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
182	ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
183	ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
184	ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
185	ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
186	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
187	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
188	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
189	ผศ.ดร.ยงยุทธ์ พุกกษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Manufacturing Engineering		
190	ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
191	ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
192	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
193	รศ.ดร.จิตรา รุกิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
194	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
195	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
196	อ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
197	อ.ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
198	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
199	ผศ.ดร.อรรถพล สมทุภะปดี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
200	ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
201	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
202	ผศ.ดร.อนันต์ วงศ์กระจ่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
203	ผศ.ดร.ยงยุทธ เสริมสุธีอนุวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

204	ดร.จิรวรรณ คล้อยภยันต์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
205	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
206	อ.สินี สุขกรมใส	มหาวิทยาลัยวังสิต
207	ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
208	ผศ.สุวัฒน์ เณรโก	มหาวิทยาลัยศิลปากร
209	ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
210	ผศ.บุญเรือง มานะสุภาว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
211	ผศ.พีจิตร พิศสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
212	ผศ.พีเชฐ ตรีการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
213	ผศ.เสน่ห์ ธัญชาดาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
214	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
215	ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
216	ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
217	ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
218	ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
219	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
220	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
221	รศ.สมชาย ชูโณม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
222	อ.สุรียา จิรสถิตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
223	ดร.จริยากรณ์ เสาร์ทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
224	ผศ.ดร.สุของค์ณา ลี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
225	ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
226	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
227	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Others that related to IE		
228	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
229	รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
230	รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
231	ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
232	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
233	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
234	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
235	รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
236	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
237	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภาคแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
238	ผศ.ดร.อรรถพล สมุทคุปต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
240	รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
241	ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ขจรเกียรติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
242	ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
243	ดร.พิษณุ มั่นสปีติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
244	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต
245	อ.สินี สุขกรมใส	มหาวิทยาลัยรังสิต
246	ดร.รัญชนา สิ้นทวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
247	ผศ.พีเชษฐ ตระการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
248	ผศ.เสน่ห์ ทัศนศาสตร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
249	ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
250	รศ.วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
251	อ.สุริยา จิรสกิดสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
252	ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
253	ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



กำหนดการนำเสนอผลงานวิชาการ วันที่ 21 ตุลาคม 2551

ห้อง	สมิหลา A	นางงาม	สนออื่น
16:45-17:00	ID074-MFE-049 การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อ ท่อแดงและอินเดียม ที่มีต่อสมบัติของทองคำ 965 อ.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม ผศ.สุรัตน์ วรรณศรี P 170		ID089-EM-008 การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมโลหะ นางสาวอนินทยา คำกันยา ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ P 191
17:00-17:15	ID075-MFE-055 สมบัติทางไฟฟ้าและ สมบัติทางความร้อนของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรในโพลีโพรพิลีน นายหนวดล เบี้ยทอง ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ศ.ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์ P 171		ID090-EM-009 การสร้างชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยใช้สมาร์ตริเลย์ อ.ชนากร น้ำหอมจันทร์ อ.อดิกร เสรีพัฒนานนท์ อ.พงษ์สวัสดิ์ กษภูมิมิ อ.สุพิศ บุญรัตน์ P 192
17:15-17:30	ID076-MFE-062 ผลกระทบของพลาสติกรีไซเคิลที่ผสมในพลาสติกประเภทโพลีน 6 นายสุภกิจ เด็กศิริ นายรุ่งอรุณ ออมสุวรรณกุล P 173		ID091-EM-006 Study Effect of Photovoltaic/Thermal Fin System นายนิคม ผึ้งคำ ดร.ภราดร ภัททีวานิช ผศ.ดร.บุษยามา ภูริระวินัยกุล P 193



สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางความร้อนของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ขนาด
อนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรในโพลีโพรพิลีน
Electrical and Thermal Properties of Micro/Nano Magnesium Oxide Addition
in Polypropylene

นพดล เบี้ยทอง ศิริชัย ต่อสกุล* สรพงษ์ ภาสุปรีย์**

*ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

**ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Nophadon Biathong Sirichai Torsakul* Sorapong Pavasupree**

*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

**Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางความร้อนของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่มีขนาดอนุภาคไมโครเมตร (μm) และนาโนเมตร (nm) โดยนำมาผสมกับโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดเส้นใยโดยทำการผสมในอัตราส่วน 0, 0.1, 0.3, และ 0.5 wt% สำหรับ MgO (μm) และ MgO (nm) โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer, HAAKE) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป และนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้มาทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า, ทดสอบสมบัติทางความร้อนและการลามไฟของวัสดุ [UL-94 (HB)] โดยเปรียบเทียบกับโพลีโพรพิลีนบริสุทธิ์ พบว่าผลการทดลองสมบัติทางไฟฟ้าของ MgO (μm) และ MgO (nm) โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดค่าลงเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของโพลีโพรพิลีนที่ผสม MgO (μm) และ MgO (nm) ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

(Tg), อุณหภูมิในการจัดเรียงตัว (Tc) และอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Tm) เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย (Td) สูงขึ้นมากกว่า 80°C (โดยเติม MgO เพียงเล็กน้อย 0.1-0.5 wt%) และมีอัตราการลามไฟลดลง
คำหลัก แมกนีเซียมออกไซด์ โพลีโพรพิลีน ไมโครเมตร นาโนเมตร

Abstract

The purpose of this report is to study on electrical and thermal properties of micro/nano magnesium oxide addition in polypropylene. The compositions of $\mu\text{m}/\text{nm}$ MgO addition are 0, 0.1, 0.3 and 0.5 wt% by using internal mixer (HAAKE). The results showed that; (1) Dielectric constant of the $\mu\text{m}/\text{nm}$ MgO addition did not change so much. The volumetric resistance of the prepared material was decreased



when the amount of $\mu\text{m/nm}$ MgO increased. (2) Thermal properties were studied on Glass Transition Temperature (Tg), Critical Temperature (Tc), Melting Temperature (Tm) and Degradation Temperature (Td) of the prepared materials. It was found that Tg, Tc and Tm were not effected so much. Interestingly, the small amount of $\mu\text{m/nm}$ MgO addition (0.1-0.5 wt%) in PP could increased Td of the prepared materials more than 80°C. The flamability of the prepared materials decreased as the $\mu\text{m/nm}$ MgO addition was increased.

Keywords: Magnesium Oxide, Polypropylene, Micrometer, Nanometer

1. บทนำ

การเติมอนุภาคของวัสดุเข้าไปในเมทริกซ์เป็นเทคนิคที่เปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุที่มีมานาน นับตั้งแต่มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์วัสดุ ซึ่งการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นับเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อเป็นการยกระดับคุณภาพของสินค้าเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงแนวโน้มในอนาคตที่นาโนเทคโนโลยีจะมีบทบาทมากขึ้นเป็นลำดับ [1]

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเด่นทางไฟฟ้าและความร้อน เป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์มากมายหลายประการเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมรถถังเหล็ก โดยใช้ทำเบ้าเตาหลอมเหล็ก ในทางการเกษตรใช้เป็นแร่ธาตุเสริมอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือใช้ทำทำนบกั้นน้ำคลองส่งน้ำไปนาในทางการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ยาสีฟัน ใช้เป็นยาล้างสารพิษในท้อง ยาเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร และยาลดความอ้วน เป็นต้น สำหรับทางด้านสิ่งแวดล้อมใช้ในการตกตะกอนสารโลหะหนักในบ่อบำบัดน้ำเสีย ในทางเคมีใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเกลือซัลเฟตและไนเตรท เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ในการก่อสร้างใช้เป็นซีเมนต์ที่ทนทานต่อการผุกร่อนนอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง กระดาษ เยื่อกระดาษ สี กาว ผ้าเบรก และฉนวนกันความร้อนบนเคมี-คอนกรีต [2-4] และยังมีการผสมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารต้าน

ทานหรือชะลอการติดไฟจึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากที่สุดอย่างหนึ่ง

โพลีโพรพิลีนเป็นวัสดุที่มีการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานซึ่งถ้าจะเฉพาะเจาะจงในการใช้งานทางไฟฟ้าอย่างเช่น กล้องแบดเจอร์ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หรือเป็นทางด้านสิ่งทอ อย่างเช่น พรหม ผ้าผืน เป็นต้น [5] ซึ่งการใช้งานที่แตกต่างกันนี้ทำให้ต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามต้องการ

อย่างไรก็ตามยังมีแนวคิดว่าการเติมอนุภาคไมโครเมตรเข้าไปในโพลิเมอร์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับกันมากในขณะนี้ โดยการการใช้สารเติมแต่งในโพลิเมอร์มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติ ให้เหมาะสมกับการใช้งานและความต้องการของตลาดมากขึ้น [6] โดยการเติมกลุ่มของสารประเภทออกไซด์ของโลหะที่มีอนุภาคนาโน เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซิลเวอร์ออกไซด์ (AgO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) [7,8] การวิจัยครั้งนี้จึงนำเอาแมกนีเซียมออกไซด์ขนาดอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรมาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดเส้นใย และนำมาทำการศึกษาสมบัติที่เกิดขึ้นได้แก่ การทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก การทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุและการทดสอบการลามไฟของวัสดุ

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ

- เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) ชนิดที่ใช้ในการทำเส้นใย เกรด HP 561R ผลิตโดยบริษัท HCM Polymer and Associate of PTT & Basell
- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร เกรด MW06261 จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)
- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคนาโนเมตร เกรด MW04383 จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)

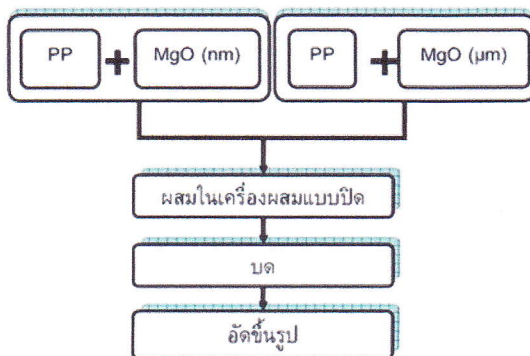
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer ; HAAKE)
2. เครื่องบดพลาสติก
3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)



4. เครื่องมือทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Impedance and grind-phase analyzer)
5. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี(Differential scanning calorimetry ; DSC)
6. เทอร์โมกราวิเมทรีอินนาลิซิส (Thermogravimetric analysis ; TGA)
7. เครื่องทดสอบการลามไฟของวัสดุ (Flammability tester)

วิธีในการเตรียมตัวอย่างดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนผังการเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์ทำได้โดยเริ่มจากการใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ในการผสมพลาสติกโพลีโพรพิลีนกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคไมโครเมตรและนาโนเมตรที่สัดส่วนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่าง PP กับ MgO (nm) หรือ MgO (µm)

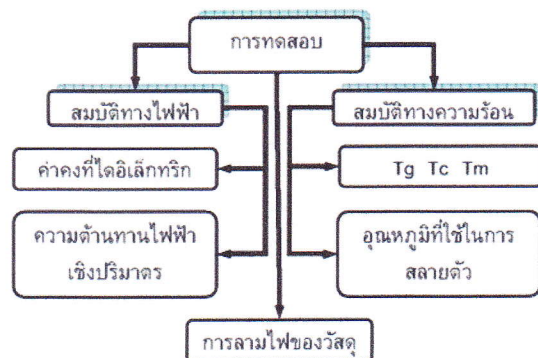
สูตรที่	ปริมาณที่ใช้ผสม (g)		
	PP	MgO (nm)	MgO (µm)
1	100	-	-
2	100	0.1	-
3	100	0.3	-
4	100	0.5	-
5	100	-	0.1
6	100	-	0.3
7	100	-	0.5

สภาวะที่ใช้ในการผสมคือ

- อุณหภูมิ 180°C
- ความเร็วใบกวน 30 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 8 min

จากนั้นนำตัวอย่าง PP ที่ทำการผสมแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ 1 วัน นำไปบดให้มีขนาดเล็กแล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยหลังจากกระบวนการนี้จะไดตัวอย่าง 2 ลักษณะคือ แบบเป็นเม็ดและแบบเป็นแผ่น โดยแบบเป็นแผ่นจะถูกนำมาตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ

ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบโดยในการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรและค่าคงที่ไดอิเล็กทริก โดยจะใช้ตัวอย่างที่มีขนาดกว้าง 3 นิ้ว, ยาว 3 นิ้วและหนา 3 มิลลิเมตร ในส่วนของการทดสอบการลามไฟของวัสดุจะใช้ตัวอย่างที่มีขนาดกว้าง 0.5 นิ้ว, ยาว 5 นิ้วและหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีแผนผังในการทดสอบดังรูปที่ 2

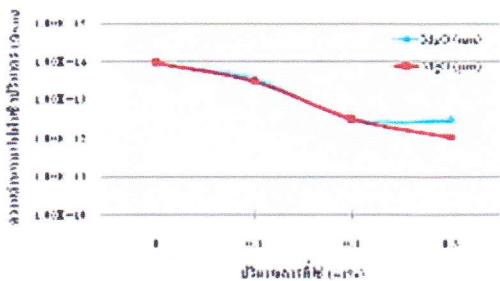


รูปที่ 2 แสดงแผนผังในการทดสอบ

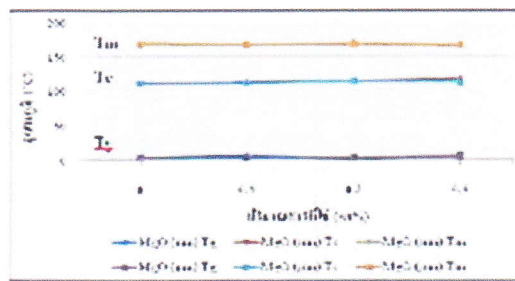
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรไฟาลดลง และ MgO (µm) จะมีการลดลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรอย่างต่อเนื่อง แต่ MgO (nm) หลังจากเพิ่มปริมาณขึ้นจาก 0.3 wt% เป็น 0.5 wt% ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อาจเป็นผลมาจากอนุภาคที่ใช้เกิดการแตกตัวแล้วเกิดประจุไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ [9] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3



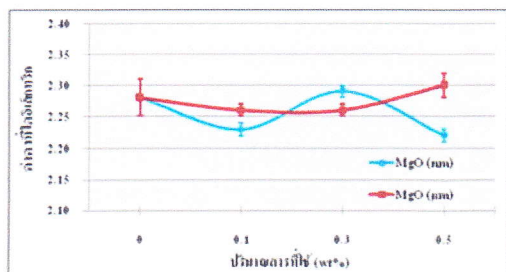
รูปที่ 3 กราฟความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาณของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP



รูปที่ 5 กราฟอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm ของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

3.2 การทดสอบค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นผลมาจากตัวอย่างอนุภาคนาโนเมตรและไมโครเมตรในแต่ละอัตราส่วนเกิดการจัดเรียงตัวของไฟฟ้าสอดคล้องกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ [10] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



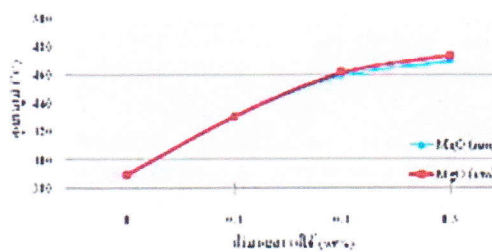
รูปที่ 4 กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

3.3 การวิเคราะห์ผลหาอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าอุณหภูมิ Tg, Tc และ Tm เกิดการเปลี่ยนแปลง อาจเป็นผลมาจาก PP เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิที่น้อยกว่าสารเคมีที่ใช้ และใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไปทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง [11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5

3.4 การทดสอบหาอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัว (Td)

จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO (nm) และ MgO (µm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ในปริมาณการผสมที่เท่ากันก็ไม่มีผลแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวจะเป็นการวัดน้ำหนักที่หายไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ดังนั้นการที่จะทำให้ PP เกิดการสลายตัวจะใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียงค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีการผสม MgO ลงใน PP จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น เพราะอุณหภูมิที่ใช้จะถูกแบ่งออกให้กับ PP และให้กับสารเคมีที่ใส่เข้าไป ทำให้ PP ได้รับอุณหภูมิที่ต่ำลงส่งผลให้ทนอุณหภูมิได้สูงขึ้น และเมื่อใช้อัตราส่วนที่มากขึ้น อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก [11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6



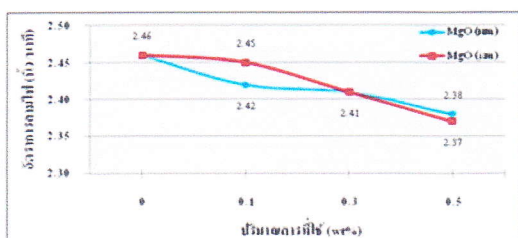
รูปที่ 6 กราฟอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของ MgO (nm) และ MgO (µm) เมื่อผสมกับ PP

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเติม MgO µm/nm เข้าไปเพียง 0.5wt% ก็สามารถทำให้ค่า Degradation temperature (Td) หรือค่าการทนต่อความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 80°C ผลเนื่องมาจาก MgO ที่เติมลงไปมีสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้สูง ส่งผลทำให้เส้นใยทนต่อความร้อนได้มากขึ้น



3.5 การทดสอบการลามไฟ

จากการทดสอบการลามไฟของวัสดุ (UL-94 (HB)) พบว่าการผสม MgO (nm) และ MgO (μm) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการลามไฟลดลง โดยรวมแล้วอัตราการลามไฟมีอัตราที่ลดลงเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง [11] ผลการทดสอบแสดงใน รูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตราการลามไฟของ MgO (nm) และ MgO (μm) เมื่อผสมกับ PP

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าสมบัติทางความร้อน และการลามไฟสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า

ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดต่ำลง เนื่องจากอนุภาคที่ใช้เกิดการแตกตัวแล้วเกิดประจุไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้และการเกาะตัวกันขณะผสมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

การที่จะทำให้ PP เกิดการสลายตัวจะใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียงค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีการผสม MgO (nm) และ MgO (μm) ลงใน PP จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพราะอนุภาคที่ใช้จะถูกแบ่งออกให้กับ PP และให้กับ MgO (nm) และ MgO (μm) ที่ใส่เข้าไปทำให้ PP จะสามารถทนอุณหภูมิได้อย่างจำกัด

4.3 การลามไฟ

อัตราการลามไฟลดลงเนื่องจาก MgO (nm) และ MgO (μm) ที่เติมลงไปจะชะลอการติดไฟป้องกันไม่ให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็วโดยการตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการ

ลามไฟลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (MRG5180124) และ เครือข่ายวิจัยด้านสิ่งทอ (Textiles Collaborative Research Consortium, Textiles CRC, NANOTEC, Thailand)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. สุนทร พานิชพันธ์ 2549. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 90-91
- [2] Jimmy C. Yu., Anwu Xu, Lizhi Zhang, Ruiqi Song, and Ling Wu (2004) "Synthesis and Characterization of Porous Magnesium Hydroxide Nanoplates", J Phys. Chem. B 2004, 108, pp.64-70
- [3] Kake Zhu, Juncheng Hu, Christian Kubel, and Ryan Richard. (2006) "Efficiency Preparation and Catalytic Activity of MgO (111) Nanosheet" Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, pp.7277-7281
- [4] Haisia Niu, Qing Ying, Kaibin Tang, Yi Xie. (2006) "A Simple Solution Calcinations Route to Porous MgO Nanoplates.", Science, 2006, pp.-428-433
- [5] ปรีชา พลเทพ. 2544. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- [6] บรรณสาร. เทคโนโลยีพลาสติก(ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).2546
- [7] อรุษา สรวารี.สารตกแต่งพอลิเมอร์ เล่ม1.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2546
- [8] A.M. Thayer. Nanomaterials, Chemical and Engineerig News ,2003,81, pp.15-22
- [9] Weawkamol Leelapompisit 2004. "Conductivity improvement of carbon black filled polypropylene (PP) polystyrene (PS) blend by controlling morphology." Mahidol University.



- [10] เจริญ นาคะสรรค์. 2545. เทคโนโลยีเบื้องต้นทาง
พลาสติก.สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร, กรุงเทพฯ.
- [11] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์
ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัย
รามคำแหง, กรุงเทพฯ

IE NET
Industrial Engineering Network Conference
2009

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552
Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ





**คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ
ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552**

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์
รศ.ดร.สดาวพร โภคา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประธานช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ดร.สมศักดิ์ หอมดี

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองประธานช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เลขาธิการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองเลขาธิการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะกรรมการ

รศ.ดร.พรเทพ ขอบจายเกียรติ
รศ.ดร.สมเกียรติ วุฒิเกียรติกำจร
รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์
ผศ.ดร.ศิวรินทร์ สุขโต
ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา
ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว
ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เศรษฐโชติศักดิ์
ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล
ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์
ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น



คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ
ข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

คณะกรรมการ

ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.พีระพงศ์ ท้าวเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเขาวน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สุขอังกณาลี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.เจริญ ชูมมวล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.สุรียา โชคสวัสดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ	รศ.ดารรงค์ ทวีแสงสกุลไทย	ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย
ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ	ดร.สิริง ปรีชานนท์	ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร
ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล	รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์	ผศ.ดร.ปวีณา ชาวดีวงศ์
ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ	ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์	รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา
รศ.ดร.จิตรา รุจิการพานิช	ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน์	ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์
ผศ.ประเสริฐ อัครประถมพงศ์	ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค	ผศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.นันทชัย กานดำนันตะ	ดร.ชัชพันธ์ ชำญาติ	ผศ.ดร.เพ็ญใจ พานิชกุล
ผศ.ดร.รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ	รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา	ดร.สุวิษกรณ์ วิชกุล
ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน	ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์	

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผศ.สมศักดิ์ ธรรมนิวิฐู	รศ.ดร.ตรีศก เหล่าศิริหงส์ทอง	ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาระราช
ผศ.ดร.อภิวัฒน์ มุฑามาระ	ผศ.ดร.ดนุพันธ์ วิสุวรรณ	รศ.ดร.ศุภชัย สุรพันธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.สมศักดิ์ หอมดี	รศ.ดร.พรเทพ ขอบฉายเกียรติ	รศ.ดร.สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร
รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์	ผศ.ดร.ศิรินทร์ สุขโต	ผศ.ดร.ปณิธาน พิรพัฒนา
รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เศรษฐโชติศักดิ์
ดร.รักษน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	ผศ.ดร.ศรีสวัสดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์	ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี	อ.พีระพงศ์ ท้าวเพชร	ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล
ผศ.อนุรักษ์ ทองสุขโขวงศ์	ผศ.ดร.กมลปฤกษ์ ผิวทองงาม	ดร.นภัส เจริญอภิบาล
ผศ.ดร.กฤษ เฉยไสย	ผศ.ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร	รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ
ผศ.ดร.สิริวิญญ์ เตชะเจษฎารังสี	ผศ.ดร.ประพัทธ์ สันติวารการ	ดร.ชนกันันท์ สุขกำเนิด
รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์		



ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.อิสรา ชีระวัฒน์สกุล	รศ.ดร.ชนนาก กฤตวรกาญจน์	ผศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์
รศ.ดร.นิเวศ เจริญใจ	ดร.รุ่งฉัตร ชมพูอินทิว	ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ	ผศ.ดร.อภิชาติ โสภานแดง	ดร.วราภรณ์ เสรีรัฐ
ผศ.ดร.สันติชัย ชิวสุทธิศิลป์	ผศ.ดร.วิมลสนัย วรรัตนจรรย์ยา	ผศ.ดร.อรรถพล สมุทกุลปต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.สันติชัย กลิ่นพิกุล	ผศ.ยอดดวง พันธน์รา	ผศ.เจริญ เจดวิจิตร
ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	รศ.วนิดา รัตนมณี	ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล
ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	รศ.สมชาย ชูโอบ	ผศ.ดร.เจษฎา วรณสินธุ์
ผศ.ดร.อุ๋น สังข์พงศ์	ดร.รัฐชานา สินธวาลัย	ผศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์		

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.อิศว บัทธิธรรมกุล	ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	ผศ.ดร.ปรีชา เกரியกรกฎ
ผศ.ดร.นุชสรุา เกரியกรกฎ	อ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง
ผศ.สุริยา โชคสวัสดิ์	อ.ไท แสงเทียน	ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี
ผศ.เจริญ ชุมมวล	ผศ.ดร.ก่อโชค ภูนิคม	ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเซาว์
ดร.ธารชุตดา อมรเพชรกุล	ดร.จริยาภรณ์ อุ๋นวงศ์	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ	รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	ผศ.สมชาย พรชัยวิวัฒน์
ดร.กุลล พิมานันธุ์ศรี	รศ.ดร.อรรถกร เก่งพล	ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล	ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์	ดร.กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล
รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	อ.ชัยยุทธ บุรณะสิงห์	



ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552 (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์	ดร.อุษณีย์ คำพูล	รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ	ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์	ผศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์
อ.วาสนา เสียงตั้ง	รศ.ดร.เชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร	ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล
ผศ.ดร.ธนัญญา วสุศรี	ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์	ผศ.เจริญ สุนทรวานิชย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.ระพี ภาณุจนะ	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	ผศ.ดร.ณฐา คุปตะเขียว
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง	ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง	ผศ.ศิษฏา สิมาร์ักษ์	ดร.ภาณุ บุรณจารุกร
---------------------	---------------------	--------------------

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	ผศ.สุวัฒน์ เณรโต	ผศ.วันชัย ลีลาทวีวงศ์
------------------------	------------------	-----------------------

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

อ.วรลักษณ์ จันทร์กระจ่าง	อ.อรอุมา กอสนาน	อ.ทงศักดิ์ ทวีศรี
อ.จิตลดา ชัมเจริญ	อ.นิศากร สมสุข	อ.อัญชลี สุพิทักษ์

มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครีวงศ์



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P409: การศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและอินเดียม ที่มีต่อสมบัติของทองคำ 965 ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม สุรัตน์ วรรณศรี	1167
P416: การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกัดอาร์คซิลิคอนไนไตรด์ด้วยไฟฟ้า อภิวัฒน์ มุตตามระ อนันท์ เพ็ชรผึ้ง	1174
P417: การวิเคราะห์ความแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ภายหลังจากเชื่อม แบบอาร์คทั้งสแตนด้วยวิธีไฟโนอิเล็กเมนต์ ฤทธิชัย เภาเนียม วีรยุทธ กาญจนแสงทอง สุธรรม ศิวาวุธ	1179
P420: การศึกษาอิทธิพลทางความร้อนต่อความแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เนื่องจาก การกัดเซาะทางไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟโนอิเล็กเมนต์ ฤทธิชัย เภาเนียม กมลพงศ์ แจ่มกมล พิชัย จันทรมณี อภิวัฒน์ มุตตามระ	1185
P429: การประเมินค่าความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของการตัดที่เป็นผลจากความผิดพลาด ของการจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนก่อนกระบวนการผลิต กุลภัสร์ ทองแก้ว สุภาพรณ ไชยประพัทธ์ เจริญยุทธ เดชวายุกุล	1190
P443: การศึกษาอิทธิพลชนิดของดรอว์บีตในกระบวนการขึ้นรูปปลีชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร บุญส่ง จงกลณี ศิวกร อ่างทอง	1196
P452: การศึกษามุมปลายพื้นที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัดละเอียด สุเทพ เขี่ยมชัยภูมิ ดลธรรม เอศกานนท์ โอริส มณีสาย	1202
P457: การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของเซลล์สุริยะที่ถูกฉายด้วยรังสีเอ็กซ์ สมพร เพียรสุขมณี	1208
P458: การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบของ การเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีด นพดล เบี้ยทอง ศิริชัย ต๋องสกุล สรพงษ์ ภาวสุปรีย์	1212
P468: การอบไม้มยางพาราโดยใช้การฟุ้งชนของเจ็ทอากาศร้อน นุชชิตา พรหมทอง ธเนศ รัตน์วิไล ชยุต นันทดลิต	1218

การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและผลกระทบ ของการเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีด

นพดล เบี้ยทอง¹ ศิริชัย ต่อสกุล¹ สรพงษ์ ภาสุปรีย์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: nopnovas@hotmail.com, sorapongp@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมแผ่นนาโน (Nanoplate) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและศึกษาถึงผลกระทบของการเติมแผ่นนาโนที่เตรียมได้ในโพลีโพรพิลีน (PP) เกรดงานฉีดต่อสมบัติเชิงกล หลังจากทำการเตรียมวัสดุนาโนโดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว นำวัสดุที่สังเคราะห์ได้มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่ามีรูปร่างเป็นแบบแผ่นในขนาดนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณจากนั้นนำแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดที่อัตราส่วน 0,0.1,0.5,1.0,3.0,5.0 และ 10.0 wt% และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ การทนต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงของวัสดุและอัตราการลามไฟของวัสดุ พบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนส่งผลให้มีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นและมีอัตราการยึดตัวลดลง ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกพบว่า การเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้ค่าความ

ต้านทานแรงกระแทกลดลง สมบัติด้านความแข็งแรงพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ และผลการทดสอบอัตราการลามไฟพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟลดลงอย่างต่อเนื่อง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลังจากเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดทำให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ลดลงและมีผลทำให้อัตราการลามไฟลดลง

คำสำคัญ แมกนีเซียมออกไซด์ โพลีโพรพิลีน ไฮโดรเทอร์มอล วัสดุนาโน

1. บทนำ

การเติมอนุภาคของวัสดุเข้าไปในเมทริกซ์เป็นเทคนิคที่เปลี่ยนสมบัติของวัสดุที่มีมานาน นับตั้งแต่มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์วัสดุ ซึ่งการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นับเป็นสิ่งที่มีจำเป็นในการยกระดับคุณภาพของสินค้าและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการให้สูงขึ้น

โดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงแนวโน้มในอนาคตที่นาโนเทคโนโลยีจะมีบทบาทมากขึ้นเป็นลำดับ [1]

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเด่นทางไฟฟ้าและความร้อน เป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์มากมายหลายประการเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมรถถังเหล็ก โดยใช้ทำเข้าเตาหลอมเหล็ก ในทางการเกษตรใช้เป็นแร่ธาตุเสริมอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือใช้ทำทำนบกั้นน้ำคลองส่งน้ำไปนาในทางการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ยาสีฟัน ใช้เป็นยาล้างสารพิษในท้อง ยาเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร และยาลดความอ้วน เป็นต้น สำหรับทางด้านสิ่งแวดล้อมใช้ในการตกตะกอนสารโลหะหนักในบ่อน้ำบาดาลเสีย ในทางเคมีใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเกลือซัลเฟตและไนเตรท เป็นสารเร่งความร้อนในเตาเผา ในการก่อสร้างใช้เป็นซีเมนต์ที่ทนทานต่อการผุกร่อนนอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง กระดาษ เยื่อกระดาษ สี กาว ผ้าเบรก และฉนวนกันความร้อนบนเซมิ-คอนดักเตอร์ [2-4] และยังมีการผสมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารต้านทานหรือชะลอการติดไฟจึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากที่สุดอย่างหนึ่ง

ปัจจุบันมีการวิจัยการสังเคราะห์นาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในรูปแบบต่าง ๆ แต่ปัญหาก็คือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนส่วนใหญ่ใช้สารตั้งต้นที่มีราคาค่อนข้างสูง อันตราย และขนาดการทดลองได้ครั้งละประมาณ 0.4 – 1.0 กรัม [4-5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมแผ่นนาโนจากแมกนีเซียมออกไซด์ราคาถูกที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยนำมาทำการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแบบไฮโดรเทอร์มอลที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำวัสดุที่เตรียมได้มาทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติต่างๆกับวัสดุตั้งต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางต่อไป

โพลีโพรพิลีนเป็นวัสดุที่มีการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานเช่น กล้องแบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หรือทางด้านสิ่งทอ เช่น พรม ผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น [6] ซึ่งการใช้งานที่แตกต่างกันนี้ทำให้ต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆให้ได้ตามต้องการ

อย่างไรก็ตามยังมีแนวคิดว่าการเติมอนุภาคไมโครเมตรเข้าไปในโพลีเมอร์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยม

กันมากในขณะนี้ โดยการการใส่สารเติมแต่งในโพลีเมอร์มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานและความต้องการของตลาดมากขึ้น [7] การวิจัยครั้งนี้จึงนำเอาแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้เองโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลมาผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดยอดและนำมาทำการศึกษามิติที่เกิดขึ้น ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็งของวัสดุและทดสอบสมบัติการลามไฟ

2. วิธีการทดลอง

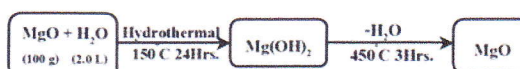
วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคไมโครเมตร เกรด 1124-500G จากบริษัท Ajax Finechem

- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide : MgO) อนุภาคนาโนเมตร เกรด 549649-5G จากบริษัท ซิกมา - แอลดริช (Sigma-Aldrich)

- เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) ชนิดที่ใช้ในงานฉีดยอด เกรด P840J ผลิตโดยบริษัท Thai Polypropylene

กระบวนการเตรียมแผ่นนาโนโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับไมโครเมตรที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด นำมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้น้ำ (H₂O) ในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำวัสดุที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แมกนีเซียมออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตร

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM)

หลังจากนั้นนำแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้มาทำการผสมกับโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดยอดโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) โดยทำการผสมโพลีโพรพิ

ลื่นกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่าง PP กับ MgO (μm) หรือ MgO (nm)

สูตรที่	ปริมาณที่ใช้ผสม (g)			
	PP	Commercial MgO(μm)	Synthesized MgO(nm)	Commercial MgO(nm)
1	100.00	-	-	-
2	99.90	0.10	-	-
3	99.50	0.50	-	-
4	99.00	1.00	-	-
5	97.00	3.00	-	-
6	95.00	5.00	-	-
7	90.00	10.00	-	-
8	99.90	-	0.10	-
9	99.50	-	0.50	-
10	99.00	-	1.00	-
11	97.00	-	3.00	-
12	95.00	-	5.00	-
13	90.00	-	10.00	-
14	99.90	-	-	0.10
15	99.50	-	-	0.50
16	99.00	-	-	1.00

สภาวะที่ใช้ในการผสมคือ

- อุณหภูมิ 190°C
- ความเร็วใบกวน 40 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 8 min

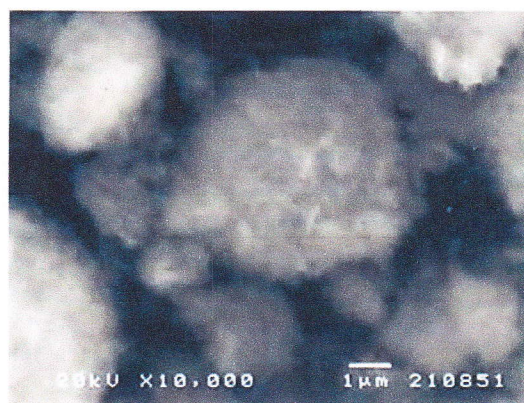
จากนั้นนำตัวอย่างโพลีโพรพิลีนที่ทำการผสมแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กและนำไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบเชิงกลได้แก่ การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบการทนต่อแรงดึง การทดสอบความแข็ง และการทดสอบอัตราการลามไฟ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

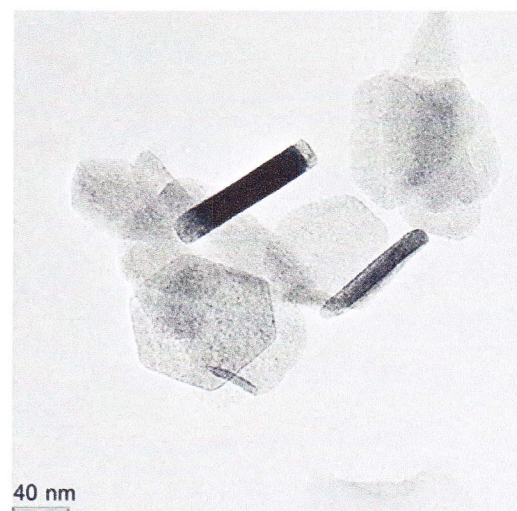
3.1 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้

จากผลการทดสอบโครงสร้างด้วยวิเคราะห์ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของแมกนีเซียมออกไซด์จากระดับไมโครเมตรเป็นระดับนาโน

เมตรโดยโครงสร้างที่ได้มีลักษณะโครงสร้างแบบแผ่น (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80nm ยาว 90nm และหนา 15nm โดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ภาพถ่ายSEMของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



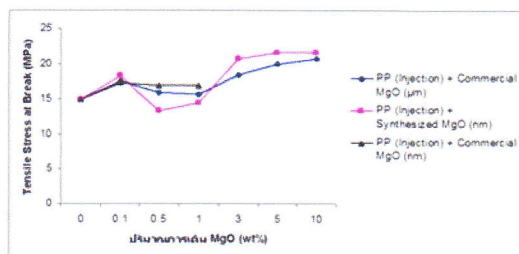
รูปที่ 3 ภาพถ่ายTEMของแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C

3.2 ผลการศึกษาสมบัติของการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีน

3.2.1 การศึกษาสมบัติความต้านทานแรงดึง (ASTM D638)

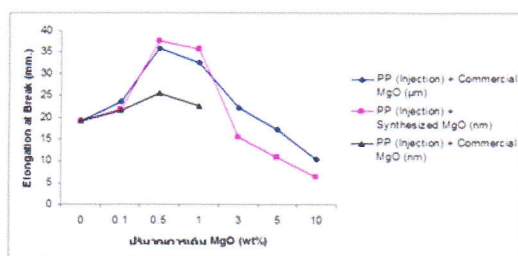
จากการทดสอบพบว่าการผสม MgO(nm) และ MgO(μm) ในโพลีโพรพิลีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้

ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เพิ่มขึ้นในช่วงการผสม MgO ที่ 3-10 wt% โดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าความเค้นแรงดึงของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

ในด้านอัตราการยืดตัวของวัสดุจากผลการทดสอบพบว่าในช่วงการผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ที่ 0.1-0.5 wt% ค่าความยืดตัวของวัสดุเพิ่มมากขึ้นเกือบ 1 เท่าตัว และในช่วงการผสมตั้งแต่ 1.0 wt% ขึ้นไปอัตราการยืดตัวมีแนวโน้มที่ลดลงโดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5



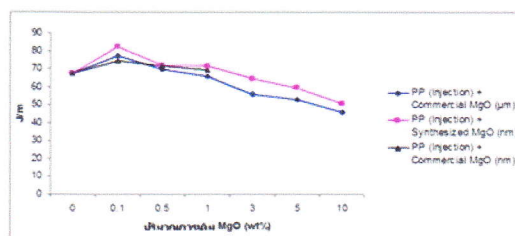
รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบอัตราการยืดตัวของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

จากผลการทดลองผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ในโพลีโพรพิลีนพบว่า การเพิ่มปริมาณของ MgO ที่มากขึ้นจะทำให้ MgO รวมตัวกันส่งผลให้วัสดุมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการยืดตัวลดลง [8]

3.2.2 การศึกษาสมบัติความต้านทานแรงกระแทก

จากผลการทดลองพบว่า MgO ที่เติมลงไปทำให้ PP มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง 0-0.1wt% และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงการผสมตั้งแต่ 0.1 wt% ขึ้นไปเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของ MgO ที่มากขึ้นจะทำให้ MgO รวมตัวกัน

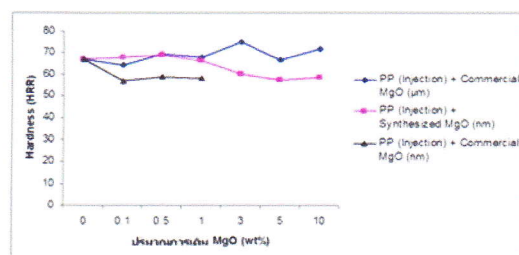
ส่งผลให้เกิดจุดอ่อนในเนื้อของวัสดุทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง [8] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

3.2.3 การศึกษาสมบัติความแข็งของวัสดุ

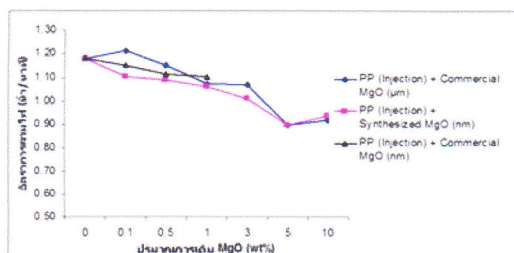
จากการทดสอบพบว่า การผสม MgO(nm) และ MgO(µm) Commercial Grade ไม่ส่งผลให้สมบัติทางด้านความแข็งของวัสดุเปลี่ยนแปลงมากนัก ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

3.2.4 การศึกษาสมบัติการลามไฟของวัสดุ

จากการทดสอบการลามไฟของวัสดุ [UL-94 (HB)] พบว่าการผสม MgO(nm) และ MgO(µm) ในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟของวัสดุลดลง เนื่องจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง [9-11] ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบอัตราการลามไฟของ PP เมื่อผสมกับ MgO(nm) และ MgO(µm)

4. สรุปผลการวิจัย

การเตรียมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและมีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นแบบแผ่นในขนาดนาโน (Nanoplate) ซึ่งมีขนาดกว้าง 80 nm ยาว 90 nm และหนา 15 nm โดยประมาณ และหลังจากเติมแผ่นนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ในโพลีโพรพิลีนเกรดงานฉีดส่งผลให้วัสดุมีค่าความเค้นแรงดึงเพิ่มขึ้นและทำให้วัสดุมีอัตราการยึดตัวลดลง ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง สมบัติด้านความแข็งแรงพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุ และผลการทดสอบอัตราการลามไฟพบว่าการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงในโพลีโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก MgO จะเป็นตัวช่วยตัดวงจรประกอบในการเป็นเชื้อเพลิงออกจากวงจรการเกิดไฟทำให้อัตราการลามไฟลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (MRG5180124) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. สุคนธ์ พานิชพันธ์. 2549. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ หน้า 90-91

- [2] Jimmy C. Yu, Anwu Xu, Lizhi Zhang, Ruiqi Song, and Ling Wu (2004) "Synthesis and Characterization of Porous Magnesium Hydroxide Nanoplates", J Phys. Chem. B 2004, 108, pp.64-70
- [3] Kake Zhu, Juncheng Hu, Christian Kubel, and Ryan Richard. (2006) "Efficiency Preparation and Catalytic Activity of MgO (111) Nanosheet" Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, pp.7277-7281
- [4] Haixia Niu, Qing Yang, Kaibin Tang, Yi Xie. (2006) "A simple solution calcination route to porous MgO nanoplates.", Science Direct, 2006, pp. 428-433
- [5] C. Henrist, J.-P. Mathieu, C. Vogels, A. Rulmont, R. Cloots. (2003) "Morphological study of magnesium hydroxide nanoparticles precipitated in dilute aqueous solution.", Science, 249, 2006, pp.428-433
- [6] ปรีชา พหลเทพ. 2544. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- [7] บรรเลง ตรนิล. 2546. เทคโนโลยีพลาสติก (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [8] Xiu-ting Zheng, Da-ming Wu, Qing-yun Meng, Ke-jian Wang, Ying Liu, Li Wan and Dong-yun Ren. (2007), "Mechanical Property of low-density polyethylene/nano-Magnesium hydroxide composites prepared by an in situ bubble stretching method.", J Polym Res, 2008 15, pp. 59-65.
- [9] Dalai Jin, Xiaoyun Gu, Xiaojing Yu, Gaosong Ding, Hongliang Zhu and Kuithong Yao. (2008), "Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal Mg(OH)₂ nano-flake as Flame retardance", Material Chemistry and Physics, Vol. 112, Issue 3, 20 December 2008, pp. 962-965.
- [10] Dehong Chen, Huaying Zhang, Qiukai Zheng, Feiyue Liu, Kai Xu and Mingkai Chen. (2007), "Polypropylene composites filled by magnesium hydroxide coprecipitate with foreign ions", Digital Object Identifier (DOI), 2008.

[11] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพนพล เบี้ยทอง
วัน เดือน ปีเกิด	8 มีนาคม 2523
ที่อยู่	41/3 หมู่ 5 ตำบลหนองสามวัง อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี 12170
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2546
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2546- 2549 ส่วนงานชิ้นงานใหม่ ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท โกลด์เพรส อินดัสทรี จำกัด พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน แผนกสนับสนุนการผลิต บริษัท ฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด

