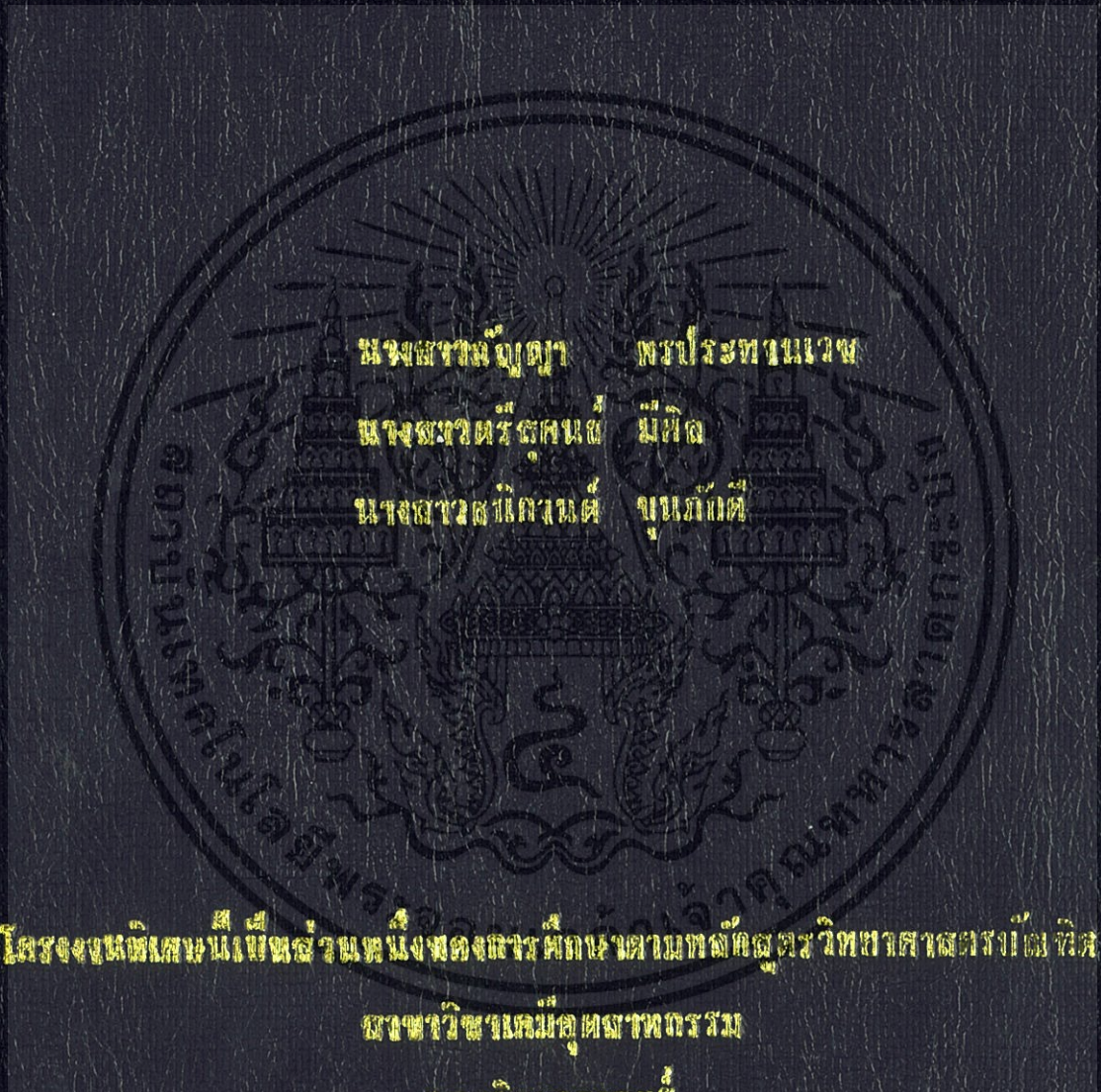


การใช้ประโยชน์เศษเหลือวัด PVC / เส้นใยแก้ว

UTILIZATION OF PVC/FIBER GLASS MEASURING TAPE WASTE



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การใช้ประโยชน์เศษเทปวัด PVC / เส้นใยแก้ว

UTILIZATION OF PVC/FIBER GLASS MEASURING TAPE WASTE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTILIZATION OF PVC/FIBER GLASS MEASURING TAPE WASTE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้ประโยชน์เศษเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว

Utilization of PVC/Fiber Glass Measuring Tape Waste

ชื่อนักศึกษา

นางสาวกัญญา

พรประทานเวช

53050164

นางสาวตรีศุคนธ์

มีศิลป์

53050228

นางสาวธนิกานต์

ขุนภักดี

53050240

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการทดสอบ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์	รัชชลธิ	
ดร.กิตติมนต์	จิระกิตติคุณ	
รศ.ดร.อิทธิพล	แจ่มชัด	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ประโยชน์เศษเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญา พรประทานเวช นางสาวตรีสุคนธ์ มีศิลป์ นางสาวธนิกานต์ ขุนภักดี
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจาด

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องของเทปวัดโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (PVC/Fiber glass measuring tape) เกิดของเสียจำนวนมากและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์เศษขยะเทปวัด PVC/เส้นใยแก้วที่เหลือทิ้ง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 การใช้ตัวทำละลาย Cyclohexanone (CHN) และ Tetrahydrofuran (THF) สกัด PVC และเส้นใยแก้วออกจากกัน พบว่า Cyclohexanone เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการแยกเส้นใยแก้ว และน้ำกาวพีวีซีหรือพลาสติกซอล (Plastisol) ตัวอย่างพีวีซีที่เตรียมจากการเทหล่อมีสมบัติเชิงกลที่ดี ตอนที่ 2 การใช้งานในรูปของการรีไซเคิลหลอมขึ้นรูปใหม่ร่วมกับ Virgin PVC โดยเทคนิคหลอมผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และขึ้นรูปตัวอย่างด้วยเทคนิคกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) แล้วตรวจวัดสีโดยใช้เครื่อง Colorimeter จากการทดลองพบว่า การผสมเศษเทปวัดที่ตัดความยาว 3-20 mm ปริมาณ 10 และ 20 % ทำให้ได้วัสดุพีวีซีเสริมแรงเส้นใยแก้วที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี การเพิ่มปริมาณเส้นใย และความยาวเส้นใยทำให้ได้การเสริมแรงที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลของวัสดุลดลงเมื่อเพิ่มความยาวเทปถึง 20 มิลลิเมตร การใช้เทปวัดที่มีการตีเกลททำให้สีพีวีซีที่ได้เปลี่ยนไปมาก แต่การลบเกลทด้วยตัวทำละลายก่อนจะทำให้สีไม่เปลี่ยนแปลงมาก ตอนที่ 3 เป็นการปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย เศษเทป PVC ที่ตัดสั้น 3 mm และ 5 mm ปริมาณ 10 และ 20 % โดยใช้การผสมด้วยเทคนิค Two-roll mill และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่า สามารถใช้ปรับปรุงสมบัติ Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ได้ เนื่องจากมีเส้นใยแก้วทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง ในการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM ยืนยันการกระจายที่ดีตัวของเส้นใยแก้ว แต่พบการยึดติดที่ไม่แข็งแรงในพอลิเมอร์เมทริกซ์

คำสำคัญ : รีไซเคิล, เศษเทปวัดพีวีซี-เส้นใยแก้ว, พลาสติกซอล, เอบีเอส

Title	Utilization of PVC/Fiber Glass Measuring Tape Waste
Students	Miss Kanya Pornpratanwech Miss Treesukon Meesin Miss Thanikarn Khunpakdee
Degree	Bechalar of Science
Major Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2013
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchad

ABSTRACT

In continuous pultrusion process of PVC/fiber glass measuring tape production, a large amount of tape scrap waste was created. Manufacturers have to spend a lot of money to get rid of the waste. This research work was focused on utilization of the PVC/fiber glass measuring tape waste, which was divided into 3 parts. The first part involved solvent extraction in order to separate glass fiber and PVC paste (or plastisol). Two solvents; i.e., cyclohexanone (CHN) and tetrahydrofuran (THF) were studied in this work. It was found that cyclohexanone can be used to extract the tape yielding PVC plastisol better than tetrahydrofuran. PVC samples casted from the PVC plastisol showed good mechanical properties. Part II involved utilization of chopped tapes of 3-20 mm. The chopped tape (10 % by weight) was remelted with virgin PVC by using a two-roll mill and then shaped by compression molding technique. Color changes in PVC composites were also tested by a colorimeter. The addition of chopped tapes resulted in reinforcing PVC matrix. Longer fiber length (chopped tape) showed better mechanical properties. However, the mechanical properties were declined by using 20 mm chopped tape. The measuring tape with printed scale caused color change in final PVC composites. In contrast, there was no significant color change in the composites incorporating with the tapes which were erased scales by solvent. The final part was focused on improvement of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) properties by using chopped tapes of 3 mm and 5 mm. By adding 10% and 20% of chopped PVC/fiber tape to blend with ABS plastics by using two-roll mill and shaped by an injection molding machine. It was found that fiber could reinforce ABS resulting in better tensile properties. SEM images showed good dispersion of glass fibers, but poor interfacial bonding between the fibers and the polymer matrix.

Keywords: Recycle, PVC/Fiber glass measuring tape waste, Plastisol, ABS

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ผู้คอยให้คำปรึกษาพร้อมทั้งช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ จากบริษัทเสตนเลย์ เวิร์ค จำกัด ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิจัยนี้ รวมทั้งให้การสนับสนุนวัตถุดิบในการทดสอบจนได้ผลสำเร็จ ออกมาเป็นที่น่าพอใจ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน, ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธิ และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ที่ได้สละเวลาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ รวมทั้งยังให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะจนทำให้รูปเล่มของโครงการนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ และ คุณเดชาธร ฉันทรักษ์ ที่เป็นผู้ให้คำแนะนำ รวมทั้งเป็นที่ปรึกษาในหลายๆ ด้านสำหรับการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ คุณสุุดใจ สอนสะอาด รวมทั้งเจ้าหน้าที่ท่านอื่นๆ ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกสารเคมีและอุปกรณ์การทดลอง อีกทั้งยังให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ อีกด้วย

ขอขอบพระคุณ คุณภาณุวัฒน์ ดวงรัมย์ และเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องชาวเคมีอุตสาหกรรมที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ และให้คำแนะนำ รวมทั้งเป็นกำลังใจ อันเป็นแรงใจสำคัญต่อการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่เป็นแรงใจสำคัญ เป็นที่ปรึกษาและพร้อมที่จะช่วยเหลือเมื่อเผชิญกับอุปสรรคในการทำงาน จนทำให้กลุ่มงานวิจัยนี้สามารถดำเนินงานได้สำเร็จ และเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ออกมาอย่างดี

นางสาวกัญญา พรประทานเวช

นางสาวตรีศุคนธ์ มีศีล

นางสาวธนิกานต์ ขุนภักดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 นิยามคำศัพท์	5
2.2 ประเภทของพลาสติก	5
2.3 การรีไซเคิลพลาสติก	7
2.3.1 การจัดการขยะในปัจจุบัน	7
2.3.2 สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพลาสติก	8
2.3.3 ขั้นตอนต่างๆ ในการรีไซเคิลพลาสติก	10
2.3.4 การรีไซเคิลขยะ PVC	11
2.4 การแยกด้วยตัวทำละลาย	14
2.4.1 การทดสอบสมบัติด้านการละลาย (Solubility test)	14
2.5 พีวีซีเหลว (PVC plastisol)	18
2.5.1 สมบัติของพีวีซีเหลว	19
2.5.2 การใช้งาน	19
2.6 อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene)	20
2.6.1 สมบัติของพลาสติก ABS	20

สารบัญ (ต่อ)

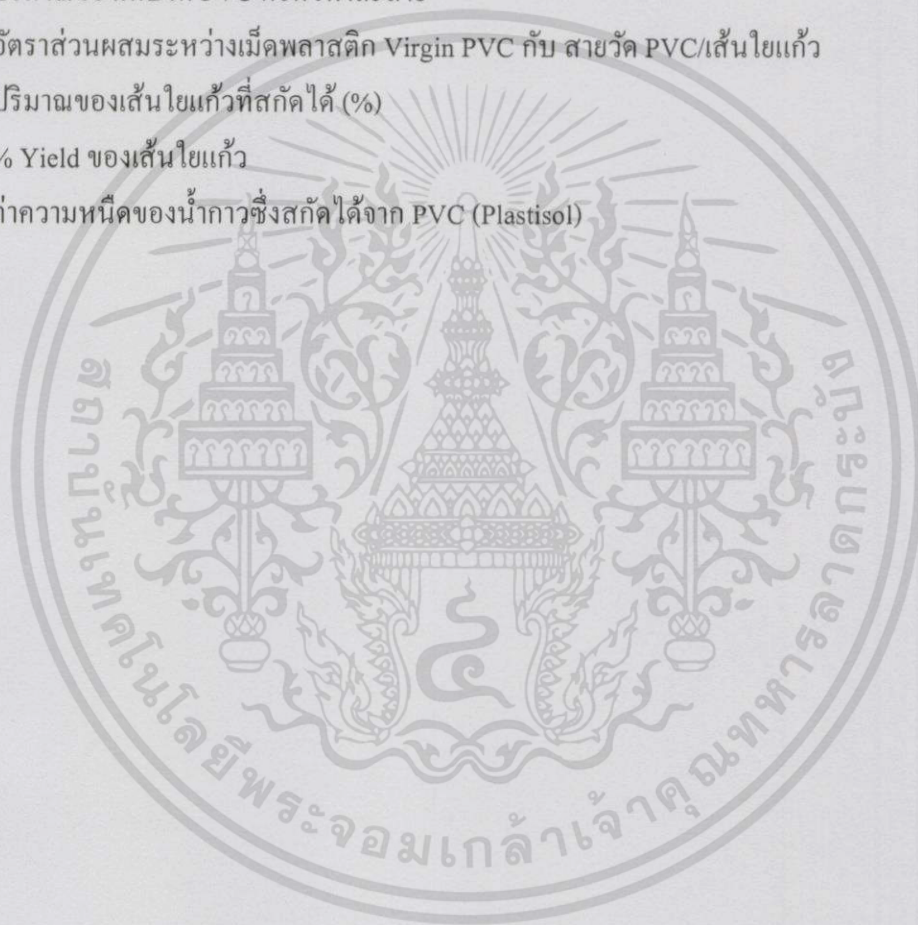
	หน้า
2.6.2 โครงสร้างกับสมบัติทางกายภาพ	21
2.6.3 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม	21
2.6.4 การผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น	22
2.7 คอมโพสิต	22
2.7.1 คอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาค	24
2.7.1.1 คอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาคขนาดใหญ่	24
2.7.1.2 คอมโพสิตที่เพิ่มความแข็งแรงด้วยการกระจายตัวของอนุภาค	24
2.7.2 คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย	24
2.7.2.1 อิทธิพลของความยาวเส้นใยที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิต	25
2.7.2.2 กระบวนการผลิตคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย	25
2.7.3 คอมโพสิตโครงสร้าง	27
2.7.3.1 คอมโพสิตแบบชั้น	27
2.7.3.2 ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช (Sandwich panel)	27
2.7.4 ประเภทของคอมโพสิตแบ่งตามวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์	29
2.7.4.1 Metal-matrix composites (MMCs)	29
2.7.4.2 Ceramic-matrix composites (CMCs)	29
2.7.4.3 Polymer-matrix composites (PMCs)	29
2.8 ทฤษฎีการวัดสี (Color measurement)	33
2.8.1 สีของวัตถุ	34
2.8.2 การมองเห็นสี (Color vision)	35
2.8.3 ปัจจัยที่สำคัญต่อการมองเห็นสีของวัตถุ	35
2.8.3.1 แหล่งกำเนิดแสง	35
2.8.3.2 วัตถุมีสี/ตัวอย่าง	36
2.8.3.3 ผู้สังเกตการณ์	37
2.8.4 การรายงานค่าสี	37
2.9 Scanning electron microscopy	38
2.9.1 หลักการ	39
2.9.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	42
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	50
4.1 การศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด	50
4.1.1 การทดสอบหาชนิดของตัวทำละลายและขนาดที่เหมาะสม	50
4.1.2 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol)	53
4.2 การใช้งานในรูปแบบของการหลอมขึ้นรูปใหม่	55
4.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ	55
4.2.2 การตรวจวัดสี	58
4.3 การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC	62
4.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ	62
4.3.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	70
5.1 การศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด	70
5.2 การใช้งานในรูปแบบของการหลอมขึ้นรูปใหม่	70
5.3 การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC	71
5.4 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการละลายของสารประกอบประเภทต่างๆ	15
2.2 ค่า Hansen solubility parameter values	16
2.3 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์บางชนิด	17
3.1 ปริมาณของเทปวัด PVC ต่อตัวทำละลาย	45
3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างเม็ดพลาสติก Virgin PVC กับ สายวัด PVC/เส้นใยแก้ว	46
4.1 ปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (%)	51
4.2 % Yield ของเส้นใยแก้ว	51
4.3 ค่าความหนืดของน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol)	51



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ขยะที่เกิดจากพลาสติก	1
1.2 เศษขยะ PVC-fiber glass tape จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม	2
1.3 สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพีวีซี	3
2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	12
2.2 สีของ Plastisol	18
2.3 วัสดุที่เคลือบด้วย Plastisol	19
2.4 เม็ดพลาสติก ABS	20
2.5 ตัวต่อ Lego ที่ทำจากพลาสติก ABS	20
2.6 โมเดลของมอนอเมอร์ทั้ง 3 ชนิด	21
2.7 แผนผังการแบ่งประเภทของคอม โพลิต	23
2.8 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ซึ่งส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของคอม โพลิต ได้แก่ ความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง การกระจาย และการจัดเรียงตัว	23
2.9 กระบวนการพูลทฤษฎี	26
2.10 กระบวนการพันใยยาว	26
2.11 รูปแบบการพันใยยาวแบบต่างๆ และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้	27
2.12 คอม โพลิตแบบชั้น	28
2.13 ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช	28
2.14 ม้วนเส้นใยแก้ว (เส้นใยยาวต่อเนื่อง), เส้นใยแก้วที่นำมาอัดรวมกันเป็นแผ่น และเส้นใยแก้วที่นำมาทอเป็นผืน	33
2.15 เมื่อแสงขาวผ่านปริซึมจะแยกเป็นแสงสีต่างๆ	33
2.16 แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้แสงสีแดงผ่านได้	34
2.17 สมบัติของสี 3 ลักษณะ คือ ฮิว ความสว่างของแสงสี และความอึดตัวของสี	34
2.18 ลักษณะการสะท้อนแสงบนผิวชนิดต่างๆ	37
2.19 กราฟแสดงค่าของสี	38
2.20 เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM)	38
2.21 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM	39
4.1 การสกัด PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัดด้วยสารละลาย ซึ่งขนาดเทปวัดที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้มี 2 ขนาดคือ ขนาด 5 mm และ 20 mm	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ตัวอย่างน้ำกาวที่ได้จากการสกัด PVC (Plastisol) และเส้นใยแก้วที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย	51
4.3 กราฟผลการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ PVC virgin	53
4.4 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ PVC virgin	54
4.5 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ PVC virgin	54
4.6 กราฟผลการทดสอบ Hardness เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ PVC virgin	55
4.7 กราฟผลการทดสอบ Tensile Strength ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC	56
4.8 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC	56
4.9 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC	57
4.10 กราฟผลการทดสอบ Hardness (Shore D) ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC	57
4.11 ตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบการวัดสี	59
4.12 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า L*	60
4.13 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า a*	60
4.14 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า b*	61
4.15 กราฟผลการทดสอบ Tensile Strength ของ ABS/PVC	62
4.16 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break ของ ABS/PVC	63
4.17 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus ของ ABS/PVC	63
4.18 กราฟผลการทดสอบ Impact Strength ของ ABS/PVC	64
4.19 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/Virgin PVC (90:10) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	65
4.20 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/Virgin PVC (80:20) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	66
4.21 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/PVC fiber glass 3 mm (90:10) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/ PVC fiber glass 3 mm (80:20) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	67
4.23 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/fiber glass 5 mm (90:10) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	68
4.24 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/PVC fiber glass 5 mm (80:20) ที่กำลังขยาย 30 เท่า, 200 เท่า และ 800 เท่า	68



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันมีการใช้งานพลาสติกกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์และสามารถหาซื้อได้ง่าย เช่น ถุงร้อนใส่อาหาร กล่องพลาสติก ท่อพีวีซี เป็นต้น แหล่งกำเนิดของพลาสติกนั้นส่วนใหญ่มาจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึง น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ด้วยความที่มนุษย์นิยมนำพลาสติกมาใช้งาน จึงส่งผลให้ปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกนั้นมีจำนวนมาก เนื่องจากพลาสติกที่ใช้แล้วถูกทิ้งเป็นขยะ ซึ่งส่วนหนึ่งอาจนำกลับมาใช้ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปกำจัดทิ้งด้วยวิธีต่างๆ

การนำพลาสติกไปกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบเป็นวิธีที่สะดวกแต่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เพราะโดยธรรมชาติพลาสติกย่อยสลายได้ยาก จึงทับถมอยู่ในดิน และนับวันยังเพิ่มปริมาณมากขึ้น ตามปริมาณการใช้งาน ส่วนการเผาขยะพลาสติกจะก่อให้เกิดมลภาวะและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต วิธีการแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่ได้ผลดีที่สุดคือการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ภาพตัวอย่างขยะพลาสติกแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขยะที่เกิดจากพลาสติก [1]

พลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุดชนิดหนึ่งคือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride) หรือ พีวีซี (PVC) โดยนำมาใช้งานหลากหลายนับตั้งแต่ขวดน้ำ ถึง กล่องพลาสติกห่ออาหาร สินค้าบริโภคทั่วไป เช่น บัตรเครดิต แผ่นเสียง หรือของเล่นเด็ก

ในวงการก่อสร้างนำเอาพีวีซีไปใช้ทำเทปวัด กรอบหน้าต่าง ประตู หน้าห้อง กระจกดุ หน้าต่าง ท่อและรางน้ำในบ้าน ใช้ทำพื้นบ้าน วัสดุติดผนัง ม่านปิดหน้าต่าง และม่านห้องน้ำ ในที่ทำงานมีเฟอร์นิเจอร์ เพิ่มเอกสาร เครื่องพับกระดาษ ปากกา ส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์มีการนำไปใช้หุ้มชิ้นส่วน นอกจากนี้ยังมีถุงขยะในโรงพยาบาล สายเคเบิล ฉนวนหุ้มสายไฟ ผนังเทียม แก้วอินสวอน เป็นต้น [2]

จะเห็นว่าพีวีซีได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานและเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ แต่กลับทำให้เกิดปัญหาปริมาณขยะจากพลาสติกพีวีซีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเศษขยะ PVC-fiber glass tape จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เศษขยะ PVC-fiber glass tape จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

นอกจากนี้การกำจัดโดยการนำไปเผา คลอรีนจากพลาสติกจะถูกปล่อยออกมาในรูปของกรดไฮโดรคลอริกและสารพิษไดออกซิน รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์คลอรีนอีกหลายชนิด ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ภาวะโลกร้อน อากาศเป็นพิษ เป็นต้น ทำให้การรีไซเคิลพลาสติกพีวีซีเข้ามาเป็นแนวคิดหลักที่สำคัญ แต่เนื่องจากการใช้งานที่หลากหลาย ทำให้การรีไซเคิลพีวีซีทำได้ยากเพราะพลาสติกพีวีซีแต่ละชนิดมีการใส่สารเติมแต่ง (Additive) เข้าไปแตกต่างกัน เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารตัวเติม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรีไซเคิลเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่นำมาฝังกลบซึ่งมักเกิดปัญหาย่อยสลายยาก การรีไซเคิลพลาสติกจะแสดงสัญลักษณ์เพื่อให้ทราบว่าพลาสติกชนิดใดสามารถนำมารีไซเคิลได้ ทั้งนี้ในสัญลักษณ์รีไซเคิลยังมีตัวเลขระบุเอาไว้เพื่อแสดงถึงชนิดของพลาสติก สัญลักษณ์ดังกล่าวถูกกำหนดโดยสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (The Society of the Plastics Industry; SPI) สำหรับพีวีซีจะใช้สัญลักษณ์หมายเลข 3 ในการรีไซเคิล



รูปที่ 1.3 สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพีวีซี [3]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการรีไซเคิลพลาสติกพีวีซีซึ่งเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่เหลือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยการนำเทปวีดีมาแยกเส้นใยแก้วออกจากพีวีซีด้วยตัวทำละลาย เพื่อนำเส้นใยแก้วไปใช้ประโยชน์ต่อในเชิงพาณิชย์ ส่วนพีวีซีที่แยกได้นั้นจะอยู่ในสถานะของเหลวซึ่งสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์จากพีวีซีสูตรใหม่ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการนำเทปวีดีไปใช้ประโยชน์ในรูปของการหลอมขึ้นรูปใหม่ (Recycle) รวมถึงนำไปเป็นตัวปรับปรุงสมบัติในพอลิเมอร์ชนิดอื่นด้วย (Polymer blend) ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำขยะพลาสติกที่เหลือจากกระบวนการผลิตเทปวีดีมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณขยะพลาสติกที่เป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบันแล้ว ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผู้ประกอบการอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษขยะพีวีซี/เส้นใยแก้วที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมาใช้ประโยชน์ เริ่มจากการแยกเส้นใยและพีวีซีออกจากกันด้วยตัวทำละลาย จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลด้วยวิธีหลอมใหม่ และสุดท้ายคือการปรับปรุงสมบัติของ Acrylonitrile-Butadiene Styrene (ABS) โดยจะเน้นศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลต่อสมบัติของวัสดุหลังการรีไซเคิล

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาถึงวิธีการรีไซเคิล และวิธีการแยกด้วยตัวทำละลาย
2. เตรียมวัตถุดิบ โดยการนำไปทำการตัดหรือบด
3. ทดลองสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย และขนาดของชิ้นงาน จากนั้นทำการศึกษาสมบัติของ PVC Plastisol ที่สกัดได้ ได้แก่ Tensile test และ Hardness
4. ทดลองขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงาน โดยการรีไซเคิลด้วยกระบวนการหลอม และขึ้นรูปตัวอย่างด้วยกระบวนการกดอัด (Compression molding) โดยการศึกษาปัจจัยและทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น อุณหภูมิ สมบัติเชิงกล สีของชิ้นงานเมื่อได้รับความร้อน เป็นต้น
5. ทดลองความเป็นไปได้ในการนำเศษขยะ PVC/fibers มาปรับปรุงสมบัติของ ABS โดยขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการหลอมและฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาด้วย SEM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษขยะพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และเส้นใยแก้ว
2. ลดปัญหาเรื่องขยะ โดยการนำกลับมาใช้ใหม่
3. เป็นการปรับปรุงสมบัติของ ABS ให้สามารถรับแรงได้ดีขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามคำศัพท์

รีไซเคิล (Recycle) คือการจัดการวัสดุเหลือใช้ที่กำลังจะเป็นขยะ โดยนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ โดยเฉพาะการหลอม เพื่อให้เป็นวัสดุใหม่แล้วนำกลับมาใช้ได้ อีก ซึ่งวัสดุที่ผ่านการแปรสภาพนั้นอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์เดิมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ [4]

พลาสติก (Plastic) คือสารประกอบอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวๆ แต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งสายโซ่ดังกล่าวประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่ามอนอเมอร์ พอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของมอนอเมอร์ โดยใช้แหล่งวัตถุดิบจากปิโตรเคมีเป็นหลัก พลาสติกมีหลายชนิดและสามารถใช้แทนวัสดุธรรมชาติได้หลายอย่าง [5]

คอมโพสิต (Composite) คือวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase) [6]

2.2 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัว และจะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน บางชนิดแข็งตัวถาวร ยกตัวอย่าง เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า พิล์ม ภาชนะ ส่วนประกอบเรือหรือรถยนต์ โดยพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต [7]

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ มีหลายประเภท ได้แก่

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถู ขวด แท่นรองรับสินค้า

- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอทิลีน ทนต่อไขมันและความร้อนสูง ใช้ทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน เป็นต้น

- พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่าง ใส น้ำ และอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน
- SAN (Styrene-Acrylonitrile) เป็นพลาสติกโปร่งใส ใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น
- ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) สมบัติคล้ายพอลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตด้วย ถาด เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ใส น้ำ และอากาศซึมผ่านได้พอควร แต่ป้องกันไขมันได้ดี มีลักษณะใส ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันและไขมันปรุงอาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์ ใช้ทำแผ่นแลมినेटชั้นในของถุงพลาสติก
- ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ทำแผ่นลามิเนตสำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ
- พอลิเอทิลีนเทอร์เฟทาเลท (Terylene: polyethylene terephthalate) เหนียวมาก โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุอาหาร
- พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหาร จับยาก ใช้ทำถ้วยจาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก

2. เทอร์โมเซต (Thermoset plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใดจะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวร หมายความว่า จะเอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจาก พลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่ระดับอุณหภูมิสูง การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซต ได้แก่

- เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) มีสมบัติทางเคมีและทนแรงดัน 7,000 - 135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25 - 0.35 ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง 140 °C [7] และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด และนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบและลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่างแต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติกฟีนอลฟอรัมาดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) มีความต้านทานต่อตัวทำละลายสารละลายเกลือ และน้ำมัน แต่พลาสติกอาจบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์ พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาขวดและหม้อ

- อีพ็อกซี (Epoxy) ใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และท่อเก็บก๊าซ ใช้ในการเชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และเซรามิก ใช้ในการหล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะ และเคลือบผิวอุปกรณ์ใช้ใส่ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ใช้เคลือบผิวของพื้นและผนัง ใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน ซีเมนต์ และปูนขาว ใช้เคลือบผิวถนนเพื่อกันดิน ใช้ทำโฟมแข็ง ใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว

- พอลิเอสเตอร์ (Polyester) กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ ($-O\cdot CO-$) ในหน่วยซ้ำเป็นพอลิเมอร์ที่นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ทำพลาสติกสำหรับเคลือบผิว ขวดน้ำ เส้นใยฟิล์ม และยาง เป็นต้น ตัวอย่าง พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น พอลิเอทิลีนเทอร์เรพทาเลต พอลิบิวทิลีนเทอร์เรพทาเลต และพอลิเมอร์ผลึกเหลวบางชนิด

- พอลิยูรีเทน (Polyurethane) พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน ($-NH\cdot CO\cdot O-$) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนต (Di-isocyanates) กับ ไดออล (Diols) หรือ ไตรออล (Triols) ที่เหมาะสม ใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงา พลาสติกและยาง ชื่อย่อคือ PU

2.3 การรีไซเคิลพลาสติก

2.3.1 การจัดการขยะในปัจจุบัน

ในปี 2550 ประเทศมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 41,931 ตันต่อวัน โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณมากที่สุด 10,454 ตันต่อวัน รองลงมาคือกรุงเทพฯ มีปริมาณ 9,340 ตัน/วัน ภาคกลางมีปริมาณ 7,571 ตันต่อวัน ภาคเหนือมีปริมาณ 6,749 ตันต่อวันภาคใต้มีปริมาณ 4,804 ตันต่อวัน และภาคตะวันออกมีปริมาณ 3,013 ตันต่อวัน [8]

การจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทยในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีโดยส่วนใหญ่พบว่าขยะร้อยละ 90 ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ จะถูกนำไปฝังกลบและอีกร้อยละ 10 จะถูกนำไปทำปุ๋ยหมัก ส่วนในพื้นที่เทศบาลขยะส่วนใหญ่หรือร้อยละ 64 จะถูกทิ้งในที่โล่ง อีกร้อยละ 35 จะถูกนำไปฝังกลบ และร้อยละ 1 จะถูกนำไปเผาที่โรงเผาขยะ [8] ส่วนขยะที่อยู่ในพื้นที่นอกเขตเทศบาลส่วนใหญ่จะถูกทิ้งบนพื้นที่โล่งทั้งหมด โดยขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปฝังกลบมีองค์ประกอบตามลักษณะส่วนประกอบของขยะมูลฝอย แบ่งได้เป็น 10 ประเภท ได้แก่ [8]

- 1) ผักผลไม้ และเศษอาหาร ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการปรุงอาหาร และเหลือจากการบริโภค เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ
- 2) กระดาษ ได้แก่ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ ใบปลิว ถุงกระดาษ กลังกระดาษ ฯลฯ
- 3) พลาสติก ได้แก่ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็ก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ

- 4) ผ้า ได้แก่ สิ่งทอต่างๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ เช่น ผ้า ลินิน ขนสัตว์ ผ้าไนลอน ได้แก่ เศษผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ผ้าขี้ริ้ว ฯลฯ
 - 5) แก้ว ได้แก่ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว เช่น เศษกระจก ขวด หลอดไฟ เครื่องแก้ว ฯลฯ
 - 6) ไม้ ได้แก่ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ เช่น ก่อ้งไม้ เก้าอี้ โต๊ะ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน ฯลฯ
 - 7) โลหะ ได้แก่ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะ เช่น กระจบอง ตะปู ลวด ภาชนะที่ทำจากโลหะต่าง ฯลฯ
 - 8) หิน กระจบอง กระจบด และเปลือกหอย ได้แก่ เศษหิน เปลือกหอย เศษกระจบดสัตว์ เช่น ก้างปลา เครื่องปั้นดินเผา เปลือกหอย กุ้ง ปู เครื่องเคลือบ ฯลฯ
 - 9) ยางและหนัง ได้แก่ วัสดุและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางและหนัง เช่น รองเท้า กระจบเป่า ลูกบอล ฯลฯ
 - 10) วัสดุอื่น ๆ ได้แก่ วัสดุที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มต่างๆ ข้างต้น
- จากองค์ประกอบดังกล่าว ขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกมีศักยภาพในการกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีกครั้ง ในปัจจุบันขยะพลาสติกจะถูกทิ้งในบ่อฝังกลบ ซึ่งต้องใช้เวลานานในการย่อยสลาย เป็นการทิ้งพลาสติกอย่างเปล่าประโยชน์และทำให้เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง

2.3.2 สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพลาสติก

สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพลาสติกเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงว่า พลาสติกนั้นสามารถนำกลับไปแปรสภาพเพื่อการใช้งานใหม่ในรูปแบบอื่น (Recycle) ส่วนตัวเลขที่อยู่ในสัญลักษณ์ เป็นรหัสที่ช่วยให้สะดวกในการแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน โดยแต่ละรหัสหมายถึงพลาสติกประเภทต่างๆ ดังนี้ [9]



PET

สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์เฟทาเลต (PET) เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำอัดลม หรือน้ำมัน เนื่องจากความใส มีความยืดหยุ่นสูงและป้องกันการซึมผ่านได้



สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำถุงหิ้ว ขวดน้ำดื่ม หรือถังน้ำ เป็นต้น เพราะมีความยืดหยุ่นสูงและป้องกันการซึมผ่านได้ดี



สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำท่อ น้ำ ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า กระเป๋าหนังเทียม ประตูพีวีซี เป็นต้น พีวีซีมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนสารเคมี สามารถทำเป็นสีได้ไม่จำกัด และทนน้ำได้ดี



สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นถุงเย็น ถุงใส่อาหารแช่แข็ง เพราะมีความยืดหยุ่นสูง เหนียว ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี พลาสติกชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะบรรจุอาหารร้อน



สำหรับพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำถุงร้อน บรรจุอาหาร หรือผลิตกล่องบรรจุอาหารสำหรับนำเข้าไมโครเวฟ เพราะมีความยืดหยุ่นสูง ทนสารเคมี และสามารถใช้งานกับอุณหภูมิที่สูงถึง 175 °C



สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นโฟม กล่อง ถ้วย และจาน เนื่องจากง่ายต่อการขึ้นรูป สามารถพิมพ์สีส่นและลวดลายให้สวยงามได้ สามารถใช้งานกับอุณหภูมิตั้งแต่ -10 °C ถึง 80 °C



สัญลักษณ์สำหรับสำหรับพลาสติกอื่นๆ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก
หลายชนิด

2.3.3 ขั้นตอนต่างๆ ในการรีไซเคิลพลาสติก

การรีไซเคิลพลาสติกมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ [10]

1. การตรวจขยะพลาสติก (Inspection)

ขั้นตอนแรกนี้เป็นการแยกสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ติดอยู่กับขยะพลาสติกออก เช่น เศษหิน ทราช หรือแก้ว ตลอดจนการแยกขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ออกมา การแยกสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกจากกันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- 1) วิธี Gravimetric ซึ่งอาศัยความแตกต่างของมวลหรือน้ำหนัก
- 2) วิธี Densiometric ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ซึ่งวิธีหลังนี้จะให้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดีกว่า เนื่องจากความหนาแน่นเป็นค่าเฉพาะของสาร ดังนั้นขนาดของวัสดุจะไม่มีผลต่อการแยกวิธีนี้
- 3) วิธีการลอยตัวในของเหลว (Direct flotation) วิธีนี้ทำการแยกวัสดุโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น โดยวัสดุผสมจะถูกส่งผ่านเข้าไปในแท็งก์ หรือกระบอกซึ่งบรรจุของเหลว ที่มีความหนาแน่นมากกว่าส่วนประกอบที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด เพื่อให้ส่วนประกอบนั้นลอยขึ้นมา ส่วนบน และสามารถแยกออกไปได้ง่าย
- 4) วิธีการแยกวัสดุโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent - based separation) การแยกวัสดุโดยวิธีนี้จะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง และเหมาะสำหรับจะนำกลับมาใช้ใหม่ วิธีนี้กระทำโดยการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ต้องการให้ละลายอยู่ในสารละลาย ข้อเสียของวิธีนี้คือ การเพิ่มค่าใช้จ่าย เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน และใช้พลังงานมากกว่าวิธีแห้ง
- 5) วิธีแยกโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic) ในการแยกโลหะที่เป็นเหล็กออกมาก
- 6) วิธีไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) วิธีนี้นิยมใช้ในการแยกโลหะชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก ซึ่งจะทำการแยกโดยอาศัยความแตกต่างในการนำไฟฟ้าของวัสดุ โดยอาศัยหลักที่ว่า วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า จะสูญเสียประจุได้รวดเร็วกว่าวัสดุที่เป็นฉนวน ดังนั้นเมื่อผ่านวัสดุที่ถูกชาร์จด้วยประจุไฟฟ้าไปบนวัตถุที่เป็นกลาง แล้วผ่านไปบนวัตถุที่มีประจุตรงข้าม วัสดุที่เป็นฉนวนจะถูกดึงดูดได้ง่ายกว่า เนื่องจากมีประจุตกค้างอยู่มากกว่า

2. การตัดและล้าง (Chopping and washing)

ขั้นตอนนี้พลาสติกจะถูกตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ และล้างให้สะอาด ขั้นตอนนี้ฝุ่นและสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกไป โดยขั้นตอนของการบดพลาสติกเพื่อให้มีขนาดเล็กลง ไม่ไปอุดตันในกระบวนการรีไซเคิลนั้น จะทำให้พลาสติกรีไซเคิลมีสมบัติความแข็งแรงทางกายภาพลดลง เนื่องจากแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical shear) ในเครื่องบดไปทำลายโซ่ของพอลิเมอร์ให้แตกออก ทำให้ความยาวของโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลลดลง ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกลดลง นอกจากนี้ เรื่องของควมบริสุทธิ์มีความสำคัญต่อสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิดในการเลือกเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หากใช้กระบวนการแยกพลาสติกที่ไม่ดีพอ อาจทำให้ไม่ได้พลาสติกรีไซเคิลที่บริสุทธิ์

3. การลอยในน้ำ (Flotation tank)

ถ้าขยะพลาสติกปนกันมาหลายประเภท ซึ่งเรามีวิธีการคัดแยกพลาสติกตามประเภทอย่างง่าย ๆ โดยการนำมอลอยน้ำ บางชิ้นจะจมและบางชิ้นสามารถลอยน้ำได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของพลาสติกนั้นๆ

4. ทำให้แห้ง (Drying)

หลังจากผ่านขั้นตอนการล้างและลอยในน้ำแล้ว พลาสติกจะถูกนำมาเป่าด้วยลมร้อนเพื่อให้แห้ง

5. หลอมด้วยความร้อน (Melting)

จากนั้นนำขยะพลาสติกที่ได้มาหลอมใหม่โดยใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก

6. การกรอง (Filtering)

พลาสติกเหลวที่ได้จะถูกส่งผ่านแผ่นกรองที่มีขนาดพอเหมาะ เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ตกค้างอยู่ จากนั้นพลาสติกเหลวจะผ่านเข้าสู่เครื่องอัดรีด (Extruder) ออกมาเป็นเส้น

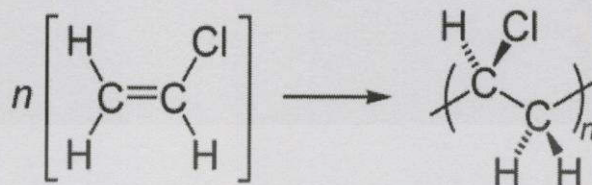
7. การทำเม็ดพลาสติก (Pelletizing)

ขั้นตอนนี้เส้นพลาสติกจะถูกตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ บรรจุลงกล่องเพื่อส่งไปยังโรงงานขึ้นรูปพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่โดยใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้งหมดจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้จะมีสมบัติทางกายภาพลดลง บางครั้งโรงงานจะนำเม็ดพลาสติกใหม่มาผสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้น

2.3.4 การรีไซเคิลขยะ PVC

พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มไวนิลด้วยกัน มักเรียกกันทั่วไปว่า PVC โดยแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 มีลักษณะขุ่นทึบแต่สามารถผลิตออกมาให้มีสีสวยได้ทุกสี เป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ตัวของมันเป็นสารที่ทำให้ไฟดับจึงไม่ติดไฟ เนื่องจากว่า PVC เป็นพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของคลอรีนอยู่ แต่การที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบนั้นเป็นลักษณะเฉพาะตัว

ใน PVC ที่ต่างไปจากพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ก็จะทำให้มันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการใช้งานระยะยาว [11] เพราะเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความแข็งแรงในระดับดีเยี่ยม ทนทาน และแตกหักได้ยาก รวมถึงมีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่ม และเป็นผงซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) [12]

สมบัติทั่วไปของ PVC ได้แก่ [13]

- มีความแข็งแรงดี ทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ
- ต้านทานต่อสารเคมีและน้ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- สามารถเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรุงแต่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง และคงตัวจนถึงอ่อนนิ่ม และยืดหยุ่นมากๆ

- มีสมบัติอื่นๆ กว้างขวางและสามารถสลายตัวเอง

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ ได้แก่ หนังสืงเย็บซึ่งมีความอ่อนนุ่มกว่าหนังแท้สำหรับหุ้มเบาะเก้าอี้ หรือปูโต๊ะ เคลือบกระดาษและผ้ากระเป๋าคือของสตรี กระเป๋าเดินทาง กระเป๋าสตางค์ รองเท้า เข็มขัด หุ้มสายไฟฟ้า สายเคเบิล หุ้มด้ามเครื่องมือ หุ้มหลอดเหล็ก ท่อน้ำ ท่อร้อยสายไฟฟ้า อ่างน้ำ ประตู หน้าต่าง [13] ในความเป็นจริง มีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่น้อยมาก ท่ามกลางความกดดันของอุตสาหกรรมพลาสติกเองที่จะต้องพิสูจน์ให้เห็นว่าพลาสติกที่มีคลอรีนเป็นส่วนผสมนั้นสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และแรงกดดันนี้ได้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับในเดนมาร์ก สวีเดน สวิสเซอร์แลนด์ เยอรมันและออสเตรเลีย ซึ่งได้ประกาศคุมเข้มการใช้บรรจุภัณฑ์พีวีซีเนื่องจากปัญหาในเดาเผาขยะ [14]

พีวีซีเป็นหนึ่งในพลาสติกตระกูลเทอร์โมพลาสติก ซึ่งรวมถึงพอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) และพอลิสไตรีน (Polystyrene) พลาสติกเหล่านี้จะหลอมตัวและเปลี่ยนรูปได้หากโดนความร้อน ต่างจากพลาสติกทนความร้อนอย่างพอลิยูรีเทน (Polyurethane)

ในทางทฤษฎีแล้วการนำพีวีซีกลับมาใช้ใหม่เป็นไปได้ และมีการปฏิบัติอยู่แล้วในกระบวนการผลิตพีวีซี ทั้งนี้ด้วยเหตุผลด้านเศรษฐกิจมากกว่าเพื่อสิ่งแวดล้อม การทดลองนำพีวีซีที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ยังคงประสบปัญหาอีกมากมาย ดังต่อไปนี้ [14]

1. พีวีซีไม่ได้มีองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว

พีวีซีบริสุทธิ์ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ต้องมีการเติมสารบางอย่างเข้าไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในความเป็นจริงการผลิตพีวีซีมีสูตรการผสมสารแตกต่างกันนับพันสูตร จึงทำให้การนำพีวีซีกลับมาใช้ใหม่แทบเป็นไปไม่ได้ เพราะมันจะปนเปื้อนสารที่เติมเข้าไป หลากหลายชนิดต่างจากการนำวัสดุชนิดอื่นกลับมาใช้ใหม่ ยิ่งไปกว่านั้นสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปในพีวีซีส่วนใหญ่เป็นสารที่มีความเป็นพิษ ทำให้ต้องมีการคุมเข้มการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่จะทำจากพลาสติกพีวีซีที่ผ่านกระบวนการทำกลับมาใช้ใหม่

2. ผลิตภัณฑ์ที่นำมาผลิตใหม่อาจมีคุณภาพแย่ลง

ในกรณีที่ไม่สามารถแยกพีวีซีออกจากของเสียได้ การนำพีวีซีดังกล่าวไปผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ พลาสติกที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ สามารถนำไปผลิตได้แค่กำแพง ม้านั่ง ในสวน เสาร์ว เป็นต้น ซึ่งมีตลาดที่จำกัด ยิ่งไปกว่านั้นการนำพลาสติกที่มีคุณภาพต่ำไปผลิตสิ่งของเหล่านี้จะทำให้อายุการใช้งานไม่นานมาก จึงทำให้ต้องซื้อใหม่เป็นการสิ้นเปลือง อีกทั้งยังมีโอกาสปล่อยสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมรอบๆ ซึ่งไม่ใช่การนำกลับมาใช้ใหม่ที่แท้จริง ในความจริงมันอาจเป็นแค่การยืดเวลาพลาสติกที่จะทิ้งในหลุมฝังกลบหรือเตาเผาขยะ ซึ่งยังมีการผลิตพลาสติกเหล่านี้มากขึ้นแทนที่จะใช้พลาสติกที่สามารถนำรีไซเคิลได้อย่างสมบูรณ์ไม่มีสิ่งเจือปน มาผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยมีอายุการใช้งานที่นานมากขึ้น

3. การเก็บพลาสติกกลับมาเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

ค่าใช้จ่ายสำหรับการเก็บและกำจัดขยะเหล่านี้ถูกผลักดันให้เป็นภาระของผู้จ่ายภาษีซึ่งเป็นประชาชน เมื่อเร็วๆ นี้ประชากรในเมือง Hallein ประเทศออสเตรีย ได้ลงคะแนนต่อต้านโครงการนำพีวีซีกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากค่าใช้จ่ายปริมาณมากที่จะผลิตมาให้ประชาชนในเมือง และโครงการนี้ขัดกับนโยบายการลดขยะของเมือง กระทั่งอุตสาหกรรมพลาสติกเองได้ออกมาขอมรบบอย่างกว้างขวางว่าการนำพีวีซีกลับมาใช้ใหม่นั้นมีต้นทุนที่แพงกว่าการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีชนิดเดียวกันด้วยพีวีซีบริสุทธิ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ [14]

4. การค้าขยะพลาสติก

ขณะที่อุตสาหกรรมพลาสติกได้พยายามกล่าวถึงข้อดีของเตาเผาและความปลอดภัยของการฝังกลบ หลักฐานล่าสุดพบว่ามีกรทิ้งพลาสติกอย่างไม่ถูกต้องจากการตรวจสอบบันทึกการขนส่งของกรีนพีซ พบว่าการค้าขยะพลาสติกในสหรัฐในปี 2534 มีมากถึง 200 ล้านปอนด์ [14] แม้วานายหน้าค้าขยะพลาสติกจะอ้างว่าขยะเหล่านั้นจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ข้อเท็จจริงกลับพบว่ามากกว่าร้อยละ 40 ของขยะที่มีการส่งออกไปถูกนำไปทิ้งอย่างไม่ถูกวิธี ขยะพลาสติกเช่นนี้ถูกบันทึกไว้เป็นจำนวนมากในรายการขนส่งทางเรือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์พีวีซีได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการกล่าวถึงวิธีการกำจัดขยะหากผลิตภัณฑ์เหล่านี้หมดอายุงาน การไม่สามารถนำพลาสติกเหล่านี้กลับมาใช้ได้เป็นเพียงการยืดเวลาวิกฤติขยะพลาสติกเท่านั้น [14]

2.4 การแยกด้วยตัวทำละลาย

การแยกด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีหนึ่งที่มีประโยชน์มากในการแยกสารและทำสารให้บริสุทธิ์ เช่น การสกัดแยกสารประกอบบางชนิดออกจากแหล่งที่เกิดในธรรมชาติ เช่น ใบไม้ และดอกไม้ การสกัดแยกสารผลิตภัณฑ์ออกจากของผสมหลังทำปฏิกิริยา หลักการของการสกัดคือ การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสม การสกัดพอจะแบ่งได้คร่าวๆ เป็น 3 วิธีดังนี้ [15]

1) Solid/liquid extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง การสกัดแบบนี้มีหลักการไม่แตกต่างจากการหาตัวทำละลายเพื่อตกผลึกสาร

2) Liquid/liquid extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของเหลว

3) Acid/base extraction เป็นการใช้ปฏิกิริยากรดเบสเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ กรดอ่อน กลาง และเบสออกจากกัน

การเลือกตัวทำละลายที่นำมาใช้ในการสกัดมีหลักทั่วไป ดังนี้ [16]

1. ต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
2. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
3. ถ้าต้องการแยกดี ตัวทำละลายจะต้องไม่มีสี ถ้าต้องการแยกกลิ่น ตัวทำละลายต้องไม่มีกลิ่น
4. ไม่มีพิษ มีจุดเดือดต่ำ และแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย
5. ไม่ละลายปนเป็นเนื้อเดียวกับสารที่นำมาสกัด
6. มีราคาถูก

ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัด ได้แก่ น้ำ เบนซีน อีเทอร์ โทลูอีน และเฮกเซน

2.4.1 การทดสอบสมบัติด้านการละลาย (Solubility test)

พอลิเมอร์และตัวทำละลายแต่ละชนิด มีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากค่าการละลาย (Solubility parameter) ดังตารางที่ 2.1 และสภาพขั้ว (Polarity) [17] รวมไปถึงค่า Hansen solubility parameter values ที่แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force) แรงแผ่กระจาย (Dispersion force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ที่มีความสัมพันธ์กับหลักการละลายของสารตามกฎ Like dissolves like โดยสารที่ถูกละลายจะมีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับความเป็นขั้วของตัวทำละลาย [18]

ตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งๆ ได้ อาจจะไม่สามารถละลายพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ได้ ซึ่งพิจารณาได้จากความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 2.3 โดยในแต่ละชนิดของพอลิเมอร์จะมีทั้ง Solvents และ Non-solvents ที่เกี่ยวข้องเสมอ ซึ่งเราสามารถนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้เพื่อยืนยันว่า สาร Unknown นั้นๆ เป็นพอลิเมอร์ที่สงสัยหรือไม่ ตัวอย่างเช่น PS และ PMMA ซึ่งมีลักษณะแข็งและใส คล้ายๆ กัน จะมีความสามารถในการละลาย Acetone ได้ต่างกัน โดย PS จะไม่ละลายใน Acetone แต่ PMMA จะละลายได้ใน Acetone เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อควรระวังในการทดสอบการละลาย คือ ในบางครั้งพอลิเมอร์บางตัวจะละลายได้ที่อุณหภูมิสูง เช่น PP จะละลายใน Hydrocarbon ที่อุณหภูมิ 80 °C ขึ้นไป นอกจากนั้นพอลิเมอร์บางตัวอาจจะละลายไม่ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของโครงสร้าง เช่น ยางที่ผ่านการวัลคาไรซ์ หรือ Thermoset ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหจะไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายใดๆ เลยหรือพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างความเป็นผลึกสูง เช่น Nylon, PP, PTFE จะละลายได้ยาก หรือแทบไม่ละลายเลย ยกเว้นจะให้ความร้อนเพิ่มขึ้นดังเช่นในกรณี PP หรือ PTFE เป็นต้น [17]

สำหรับขั้นตอนการทดสอบการละลายของพอลิเมอร์นั้น สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการตัดตัวอย่างออกเป็นชิ้นเล็กๆ พอที่จะใส่ลงไปในหลอด Test tube ได้ จากนั้นเติมตัวทำละลายที่สนใจลงไป เขย่าหรือกวนอย่างรวดเร็ว ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เวลาในการทดสอบนานพอสมควร ในกรณีที่พอลิเมอร์บางตัวละลายได้ยาก สังเกตการเปลี่ยนแปลง เช่น ขนาดชิ้นงานเล็กลง สารละลายมีความขุ่นหรือมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 ค่าการละลายของสารประกอบประเภทต่าง ๆ [19]

สารประกอบ	ค่าการละลาย (Solubility parameter, δ)
PVC	19.2 – 22.1
NBR	17.8 – 21.1
EPDM	16.2
H ₂ O	47.6
CCl ₄	17.6
CH ₄	29.6
ABS [20]	9.2

ตารางที่ 2.2 ค่า Hansen solubility parameter values [18]

Solvent	Chemical formula	δ_D Dispersion	δ_P Polar	δ_H Hydrogen bonding
Non-polar solvents				
Hexane	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ - CH ₃	14.9	0.0	0.0
Benzene	C ₆ H ₆	18.4	0.0	2.0
Toluene	C ₆ H ₅ -CH ₃	18.0	1.4	2.0
Diethyl ether	CH ₃ CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₃	14.5	2.9	4.6
Chloroform	CHCl ₃	17.8	3.1	5.7
1,4-Dioxane	CH ₂ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₂ -O-	17.5	1.8	9.0
Cyclohexanone	C ₆ H ₁₀ O	8.7	3.1	2.5
Polar aprotic solvents				
Ethyl acetate	CH ₃ -C(=O)-O-CH ₂ -CH ₃	15.8	5.3	7.2
Tetrahydrofuran (THF)	-CH ₂ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₂ -	16.8	5.7	8.0
Dichloromethane	CH ₂ Cl ₂	17.0	7.3	7.1
Acetone	CH ₃ -C(=O)-CH ₃	15.5	10.4	7.0
Acetonitrile (MeCN)	CH ₃ -C≡N	15.3	18.0	6.1
Dimethylformamide (DMF)	H-C(=O)N(CH ₃) ₂	17.4	13.7	11.3
Dimethyl sulfoxide	CH ₃ -S(=O)-CH ₃	18.4	16.4	10.2
Polar protic solvents				
Acetic acid	CH ₃ -C(=O)OH	14.5	8.0	13.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่า Hansen solubility parameter values (ต่อ)

Solvent	Chemical formula	δ_D Dispersion	δ_P Polar	δ_H Hydrogen bonding
<i>n</i> -Butanol	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -OH	16.0	5.7	15.8
Isopropanol	CH ₃ -CH(-OH)-CH ₃	15.8	6.1	16.4
<i>n</i> -Propanol	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -OH	16.0	6.8	17.4
Ethanol	CH ₃ -CH ₂ -OH	15.8	8.8	19.4
Methanol	CH ₃ -OH	14.7	12.3	22.3
Formic acid	H-C(=O)OH	14.6	10.0	14.0
Water	H-O-H	15.5	16.0	42.3

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์บางชนิด [17]

Polymers	Solvent	Non-Solvent
PE	Xylene (boiling)	Alcohols, Esters, Halogenated, Hydrocarbons (HCs)
PP	Chloroform, Xylene (above 80 °C)	Alcohols, Esters
PVC	Dimethyl formamide (DMF), THF, Cyclohexanone	Alcohols, Hydrocarbons
PTFE	Insoluble	All solvent
PS	Benzene, Ethyl acetate	Alcohols, Water, Acetone
Polyisoprene	Benzene, toluene	Alcohols, esters, ketones
PMMA	Aromatic HC, Chlorinated HC	Aliphatic HC, Alcohols, Ethers
PVOH	Formamide, Water	Aliphatic, Aromatic HC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์บางชนิด (ต่อ)

Polymers	Solvent	Non-Solvent
Polycarbonate	Chlorinated HCs, Cyclohexanone, DMF, Cresol	Only swelling in usual solvents
Nylon	Formic acid, Phenols	Alcohols, Esters, HCs
Phenolic resin	Benzylamine (at 200 °C)	All common solvents
Polyurethane (uncure)	DMF	Petroleum ether, Benzene
Epoxy resin (uncured)	Alcohols, Ketones, Esters, Dioxane	Aliphatic HCs, Water
Polyacrylonitrile	DMF	Alcohols, Esters, Ketones, HCs

2.5 พีวีซีเหลว (PVC plastisol)

พีวีซีเหลว (PVC plastisol) เป็นส่วนประกอบ ไวนิล (Vinyl compound) ที่ได้จากการผสมของ PVC paste resin, Plasticizer และ Additives ชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นที่อุณหภูมิปกติ แต่จะแข็งตัวเมื่อนำไปผ่านความร้อนในกระบวนการหุบเคลือบหรือขึ้นรูป ซึ่งพีวีซีเหลวจะมีหลายสีแต่สีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ แดง เหลือง และ น้ำเงิน (รูปที่ 2.2) พีวีซีเหลวนิยมนำไปใช้ในการเคลือบ หุบ โลหะ เพื่อป้องกันสนิม สารเคมี เพิ่มความสวยงาม และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ [21]



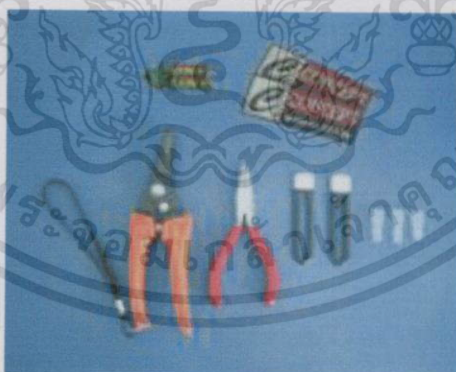
รูปที่ 2.2 สีของ Plastisol [22]

2.5.1 สมบัติของพีวีซีเหลว

- กันน้ำ
- ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าและความร้อน
- ทนต่อสารเคมี และป้องกันการเกิดสนิม
- ทนต่อการเสียดสีและการกระแทก
- เพิ่มความสวยงามด้วยพื้นผิวเรียบ มันเงาหรือด้านและมีสีอื่นต่างๆตามต้องการ

2.5.2 การใช้งาน

- การชุบเคลือบ (Coating) เนื่องจากพีวีซีมีคุณสมบัติไม่นำไฟฟ้า ทนการเสียดสี และป้องกันการเกิดสนิมได้ดี จึงนำไปใช้เคลือบมือจับของอุปกรณ์และด้ามของเครื่องมือต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.3
- การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (Molding) ถุงมือ, ฝา, ทรานซิสเตอร์และผลิตภัณฑ์ (Logo), อุปกรณ์ประดับตกแต่งภายในรถยนต์, ปลอกครอบสายไฟ ฯลฯ
- การทำไส้กรอง (Filtration) ใช้สำหรับยึดระหว่างกระดาษกรองเพื่อทำไส้กรองอากาศที่ใช้ในรถยนต์และอุตสาหกรรมต่างๆ และนำไปทำเป็นกาว (Adhesive) ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างฝาโลหะและกระดาษกรองของไส้กรองน้ำมันสำหรับรถยนต์
- การเคลือบผ้า (Fabric coating) สามารถนำไปเคลือบผ้าเพื่อให้มีคุณสมบัติกันน้ำ เพิ่มความทนทาน และความสวยงาม



รูปที่ 2.3 วัสดุที่เคลือบด้วย Plastisol [23]

2.6 อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)

เอบีเอส (ABS) เป็นชื่อย่อของ อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่ง ลักษณะเม็ดพลาสติก ABS แสดงในรูปที่ 2.4 ABS เป็นพลาสติกที่มีความสมดุลทั้งในเรื่องความแข็ง และความเหนียว ทำให้พลาสติกมีสมบัติทนแรงกระแทกดี ABS เป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิดที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ตั้งแต่สินค้าไฮเทคอย่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ ไม้กวาด หัวต่อ Lego (รูปที่ 2.5) เป็นต้น [24]



รูปที่ 2.4 เม็ดพลาสติก ABS [25]

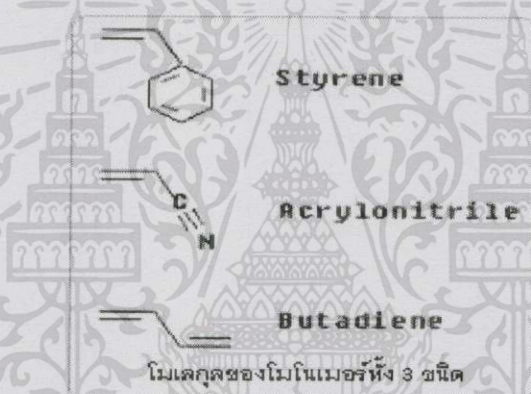
รูปที่ 2.5 หัวต่อ Lego ที่ทำจากพลาสติก ABS [26]

2.6.1 สมบัติของพลาสติก ABS

โดยทั่วไปพลาสติกที่มีความแข็ง จะมีลักษณะแข็งแต่เปราะ หรือหากมีสมบัติแข็งเหนียวจะมีลักษณะอ่อนนิ่มร่วมด้วย แต่ ABS แตกต่างจากพลาสติกทั่วไป เพราะเป็นพลาสติกที่มีความสมดุลทั้งในเรื่องความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Toughness) ทำให้พลาสติกมีสมบัติทนแรงกระแทก (Impact resistance) ดี นอกจากนี้ ABS ยังมีสมบัติเด่นอีกหลายเรื่อง เช่น ทนต่อแรงเสียดสี (Abrasion) คงสภาพรูปร่างได้ดี (Dimension stability) ทนความร้อน ทนสารเคมี มีช่วงอุณหภูมิใช้งานกว้าง (ตั้งแต่ -20°C - 80°C) และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายวิธี [27]

2.6.2 โครงสร้างกับสมบัติทางกายภาพ

ABS เป็นเทอร์โมพลาสติก ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ สไตรีน, อะคริโลไนไตรล์ และบิวทาไดอีน ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จากมอนอเมอร์ 3 ชนิดเรียกว่า เทอร์พอลิเมอร์ (Terpolymer) มอนอเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบสังเคราะห์ ABS ขึ้นมานั้น ล้วนมีผลต่อสมบัติของพลาสติกทั้งสิ้น อะคริโลไนไตรล์มีผลต่อสมบัติการทนความร้อน และสารเคมี บิวทาไดอีนมีผลต่อสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก และสไตรีนมีผลทำให้พลาสติกมีพื้นผิวเป็นมันเงา ตัดแต่งวัสดุได้ง่าย และช่วยลดต้นทุน เนื่องจาก ABS เป็นพลาสติกที่ได้จากการนำมอนอเมอร์ 3 ชนิดมาผลิต ดังนั้นผู้ผลิต ABS จึงสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของมอนอเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเพื่อให้ได้สมบัติอย่างที่ต้องการ ซึ่ง ABS ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะประกอบด้วย อะคริโลไนไตรล์ประมาณ 15-30 % โพลิบิวทาไดอีน ประมาณ 5-30% และ สไตรีนประมาณ 45-75% [24]



รูปที่ 2.6 โมเลกุลของมอนอเมอร์ทั้ง 3 ชนิด [28]

2.6.3 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้งานของ ABS ในอุตสาหกรรมมีดังต่อไปนี้ [24] ได้แก่

- รถยนต์

พลาสติกที่นำมาใช้ในรถยนต์มักถูกกำหนดเกณฑ์เรื่องคุณภาพไว้ค่อนข้างสูงคือ ต้องมีรูปร่างดีไม่โก่งงอหรือบิดตัวในสภาวะที่มีความเค้น (Stress) หรือสภาวะที่ต้องเผชิญการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงกว้าง ซึ่ง ABS มีสมบัติต่างๆ สูง จึงรองรับสภาพการใช้งานในรถยนต์ได้ดี

- เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ความต้องการเรื่องวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แตกต่างจากอุตสาหกรรมรถยนต์ วัสดุที่ใช้เป็นโครงภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้านอกจากจะต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วน (Scratch) และการเสียดสี (Wear) ดีแล้วยังต้องมี

ความสวยงาม เช็ดทำความสะอาดง่าย และไม่เกิดไฟฟ้าสถิตซึ่ง ABS สามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ได้

- **เครื่องใช้สำนักงาน**

เครื่องใช้อุปกรณ์สำนักงานต้องการแบบที่ดูดีและมีสีสวยงาม ซึ่ง ABS สามารถตอบสนองได้ดีเนื่องจากผสมสีสันทึบหลากหลาย และบางเกรดก็สามารถนำมาชุบเคลือบด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผิวแวววาวเหมือนโลหะ อีกทั้งสามารถเลือกใช้กระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์มีพื้นผิวเป็นมันเงา หรือเรียบด้านแล้วแต่ความต้องการ

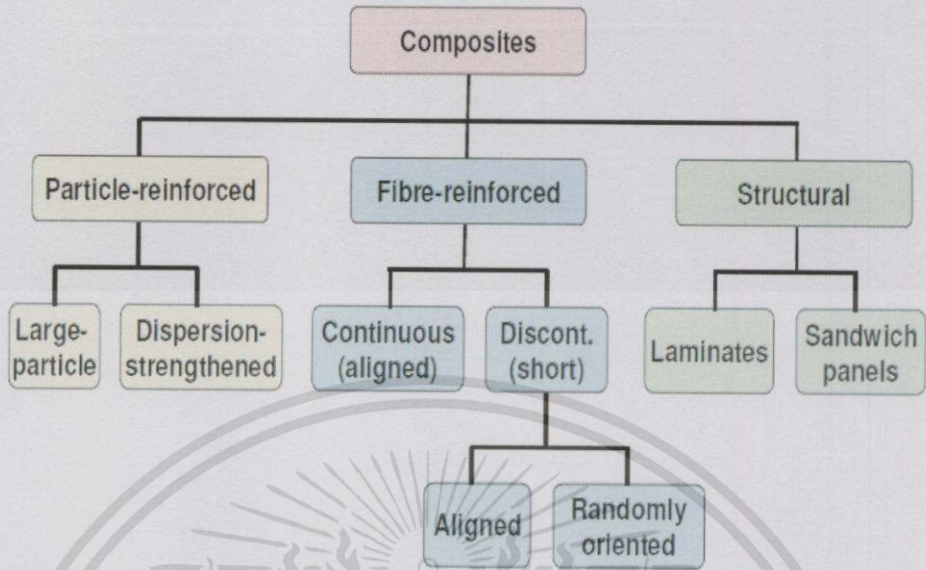
2.6.4 การผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น

การผสม ABS ด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่น ในที่นี้เป็นการผสมกับ PVC ทำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ABS/PVC ที่อัตราส่วน 80:20 ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ ABS ทนไฟ ในขณะที่อัตราส่วน ABS/PVC ที่ 90:10 ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อแรงกระแทกเมื่อมี PVC อยู่ และ ABS ที่ผสมกับพลาสติกพีวีซี PVC ยังใช้ทำวัสดุที่เป็น Crashpad sheet [29]

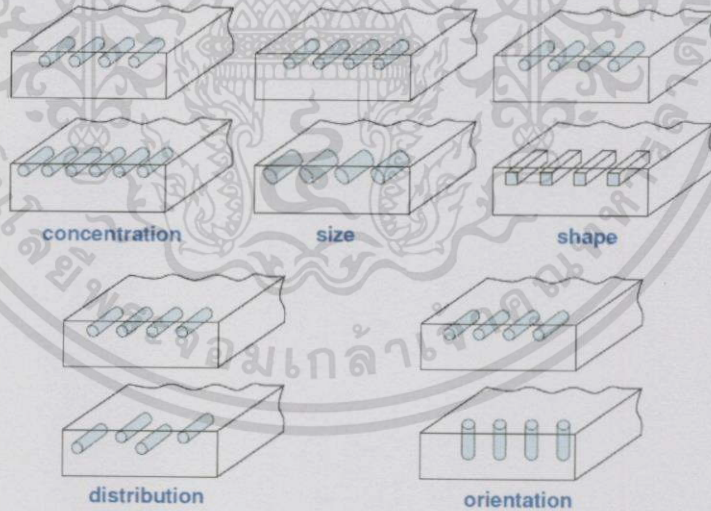
2.7 คอมโพสิต

คอมโพสิต (Composite) คือวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase) คอมโพสิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ Particle-reinforced, Fiber-reinforced และ Structural ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ยกตัวอย่างคอมโพสิตที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) หรือกระดูก ซึ่งเป็นคอมโพสิตระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น [6]

ในส่วนของคอมโพสิตสังเคราะห์นั้น จะถูกเตรียมขึ้นมาเพื่อให้มีสมบัติที่ดีเหมาะกับการใช้งานเฉพาะทาง โดยสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้น อัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้นแต่ละชนิด และลักษณะของเฟสที่กระจายตัวอยู่ รูปที่ 2.8 แสดงถึงลักษณะต่างๆ ของเฟสที่กระจายตัวอยู่ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของคอมโพสิต จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเป็นคอมโพสิตที่เกิดจากเมทริกซ์และเฟสที่กระจายตัวอยู่ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง ลักษณะการกระจาย หรือการจัดเรียงตัวของเฟสที่กระจายตัวอยู่แตกต่างกันแล้ว สุดท้ายคอมโพสิตที่ได้จะมีสมบัติที่ไม่เหมือนกัน [6]



รูปที่ 2.7 แผนผังการแบ่งประเภทของคอมโพสิต [6]



รูปที่ 2.8 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ซึ่งส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของคอมโพสิต ได้แก่ ความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง การกระจาย และการจัดเรียงตัว [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาค

คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาค คือคอมโพลีเมอร์ที่มีอนุภาคของวัสดุใดๆกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์เพื่อทำหน้าที่เสริมแรง ซึ่งวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) นี้มีรูปร่างได้หลายแบบ ยกตัวอย่างเช่น เป็นแผ่นบาง (Flake) เป็นอนุภาคกลม (Particle) หรือเป็นเม็ดขนาดใหญ่ เป็นต้น คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาคสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ (Large-particle composite) และคอมโพลีเมอร์ที่เพิ่มความแข็งแรงด้วยการกระจายตัวของอนุภาค (Dispersion-strengthened composite)

2.7.1.1 คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาคขนาดใหญ่

เพื่อการเสริมแรงที่มีประสิทธิภาพ ขนาดของอนุภาคไม่ควรมีขนาดใหญ่จนเกินไป และอนุภาคควรมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเมทริกซ์ รูปร่างของอนุภาคอาจเป็นได้หลายแบบแต่ควรมีลักษณะสมมาตร (Equiaxed) คือมีขนาดเท่ากันในทุกๆ ทิศทางเพื่อที่จะสามารถรับแรงได้อย่างทั่วถึงนอกจากนี้ปริมาณของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพลีเมอร์ดีขึ้นด้วย

2.7.1.2 คอมโพลีเมอร์ที่เพิ่มความแข็งแรงด้วยการกระจายตัวของอนุภาค

ในคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยอนุภาคประเภทนี้ อนุภาคที่กระจายตัวอยู่จะมีขนาดเล็กกว่าคอมโพลีเมอร์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่อยู่มาก โดยทั่วไปแล้วอนุภาคจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 นาโนเมตร อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเมทริกซ์ (Particle-matrix interaction) จะเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงในระดับอะตอมหรือโมเลกุล กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงนี้จะคล้ายกับกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกตะกอน (Precipitation hardening) ตัวอย่างของคอมโพลีเมอร์ประเภทนี้ เช่น นิกเกิล ทีดี (TD nickel) คือนิกเกิลอัลลอยที่เพิ่มความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงโดยการเติมอนุภาคของทอเรีย (Thoria, ThO_2) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรลงไปกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของนิกเกิล อีกตัวอย่างหนึ่งคือยางรถยนต์ซึ่งได้จากการเติมผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-50 นาโนเมตร ปริมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรลงไปในช่วงวัลคาไนซ์ (Vulcanized rubber) เพื่อช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง ความแกร่ง และความต้านทานการสึกหรอให้กับยาง [6]

2.7.2 คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย

คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและความแข็งสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักลักษณะเฉพาะดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปของค่าความแข็งแรงจำเพาะ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความถ่วงจำเพาะ และในรูปของมอดูลัสจำเพาะซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างมอดูลัสยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะ

ส่วนประกอบของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย

- เส้นใย วัสดุที่ใช้เป็นเส้นใยมีหลายรูปแบบดังนี้

1) วิสเกอร์ (Whisker) คือผลึกเดี่ยวที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลางสูงมาก ๆ มีสภาพความสมบูรณ์ของการเป็นผลึกสูงและมีความแข็งแรงสูง โดยทั่วไปแล้ววิสเกอร์จะมีราคาแพงมาก เนื่องจากเตรียมได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น แกรไฟต์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ ซิลิกอน เป็นต้น

2) ไฟเบอร์ (Fiber) คือเส้นใยของวัสดุที่มีลักษณะเป็นพหุผลึก หรือเป็นอสัณฐานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นพอลิเมอร์หรือเซรามิก ยกตัวอย่างเช่น อะรามิด (Aramid) แก้ว คาร์บอน โบรอนออกไซด์ และอะลูมินา เป็นต้น

3) ลวดเล็ก (Fine wire) โดยทั่วไปแล้วลวดเล็กจะมีขนาดใหญ่กว่าวิสเกอร์ และไฟเบอร์ มักจะหมายถึงโลหะอย่างเช่น เหล็กกล้า โมลิบดีนัม และทังสเตน ยกตัวอย่างการใช้งาน เช่น ลวด เหล็กกล้าที่ใช้เสริมแรงในยางรถยนต์ หรือลวดเสริมแรงในตัวเคสของจรวด (Rocket casing) เป็นต้น

- เมทริกซ์

เมทริกซ์อาจเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ โดยทั่วไปแล้วมักมีความเหนียวที่ดี หน้าที่หลักของเมทริกซ์คือยึดไฟเบอร์ไว้ด้วยกัน และเป็นตัวกลางส่งผ่านแรงที่มากระทำไปยังไฟเบอร์ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันความเสียหายของไฟเบอร์เนื่องจากการขีดถูหรือปฏิกิริยาเคมี แรงของพันธะยึดติด (adhesive bonding force) ระหว่างไฟเบอร์กับเมทริกซ์ควรมีค่าสูงพอ เพื่อป้องกันการที่ไฟเบอร์จะถูกดึงหลุดออกจากเมทริกซ์

2.7.2.1 อิทธิพลของความยาวเส้นใยที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิต

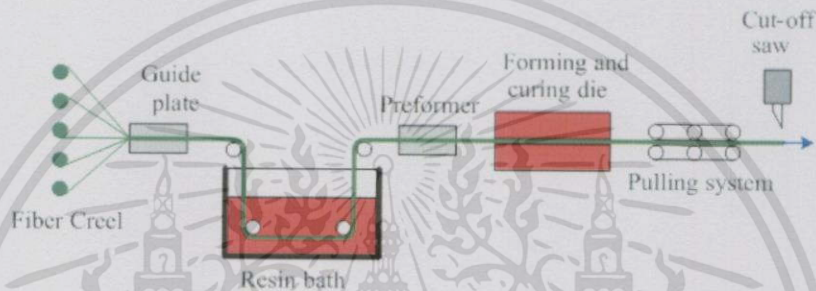
ความยาวของเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงและความแข็งดึงของคอมโพสิต และเพื่อให้คอมโพสิตมีสมบัติดังกล่าวที่ดี เส้นใยที่นำมาเสริมแรงควรมีค่าความยาววิกฤตค่าหนึ่ง ค่าความยาววิกฤตนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate strength) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความแข็งแรงของพันธะระหว่าง เมทริกซ์กับเส้นใย หรือค่าความแข็งแรงเฉือน ณ จุดคราก (Shear yield strength) ของเมทริกซ์ แล้วแต่ค่าใดน้อยกว่ากัน ความสัมพันธ์ระหว่างความยาววิกฤตของเส้นใย เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ความต้านทานแรงดึงของเส้นใย และความแข็งแรงของพันธะระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย

2.7.2.2 กระบวนการผลิตคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย

คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสามารถผลิตได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงสองกระบวนการด้วยกัน คือ พูลทรูชัน (Pultrusion) และการพันใยยาว (Filament winding)

1. พูลทรูชัน (Pultrusion)

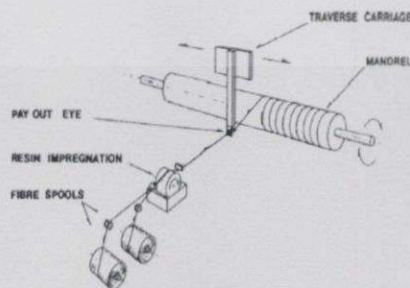
กระบวนการพูลทรูชันเริ่มต้นจากนำม้วนเส้นใยมาเรียงไว้ จากนั้นทำการดึงเส้นใยออกจากม้วนผ่านแผ่นนำทาง (Guide plate) แล้วนำเข้าสู่อ่างที่มีพอลิเมอร์เหลวอยู่ พอลิเมอร์เหลวจะเคลือบเส้นใยจากนั้นจะถูกอบให้แข็งตัว (Curing) ก่อนที่จะผ่านขั้นตอนตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการเป็นขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนของกระบวนการพูลทรูชันแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์คือ พอลิเอสเตอร์ ไวนิลเอสเตอร์ หรืออีพอกซีเรซิน ส่วนเส้นใยที่ใช้จะเป็นเส้นใยแก้ว คาร์บอน หรืออะรามิด โดยจะทำการเติมเส้นใยที่ประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์ของเมทริกซ์ [6]



รูปที่ 2.9 กระบวนการพูลทรูชัน [6]

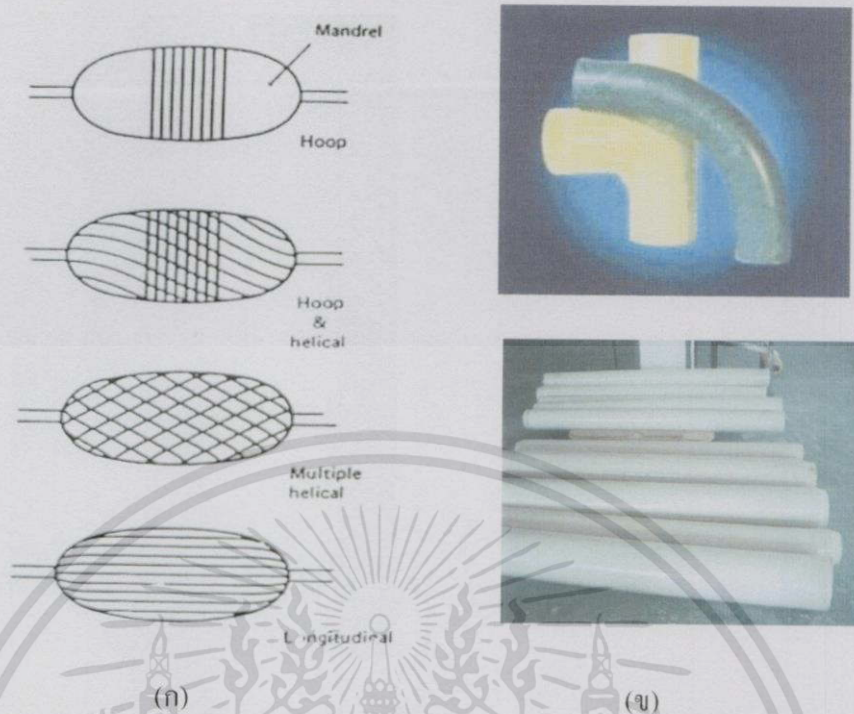
2. การพันใยยาว (Filament winding)

กระบวนการพันใยยาวมีขั้นตอนเริ่มต้นคล้ายกับวิธีพูลทรูชัน คือดึงเส้นใยผ่านไปยังพอลิเมอร์เหลว แต่หลังจากนั้นจะนำเส้นใยไปพันรอบแกนด้วยรูปแบบการพันใยยาวแบบต่างๆ วิธีการพันใยยาวนี้มักใช้ในการผลิตรูปทรงแบบกลวง ชิ้นงานที่ได้จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงมาก รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการพันใยยาว และรูปที่ 2.11 (ก) แสดงรูปแบบการพันใยยาว ซึ่งมีทั้งแบบแบบ Hoop, Hoop and helical, Multiple helical และ Longitudinal และ รูปที่ 2.11 (ข) แสดงตัวอย่างของผลิตภัณฑ์คอมโพสิตที่ได้จากกระบวนการพันใยยาว ซึ่งมีทั้งท่อกลางตรง ท่อข้องอ และท่อสามแฉก เป็นต้น



รูปที่ 2.10 กระบวนการพันใยยาว [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 (ก) รูปแบบการพันใยแก้วแบบต่างๆ และ(ข) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ [6]

2.7.3 คอมโพสิตโครงสร้าง (Structural composite)

คอมโพสิตโครงสร้างสามารถประกอบขึ้นจากวัสดุเนื้อเดียวและคอมโพสิต สมบัติของคอมโพสิตโครงสร้างนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของวัสดุที่นำมาประกอบกันด้วย เราสามารถแบ่งคอมโพสิตโครงสร้างได้เป็นสองประเภทคือ คอมโพสิตแบบชั้น (Laminar composite) และผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช (Sandwich panel) [6]

2.7.3.1 คอมโพสิตแบบชั้น

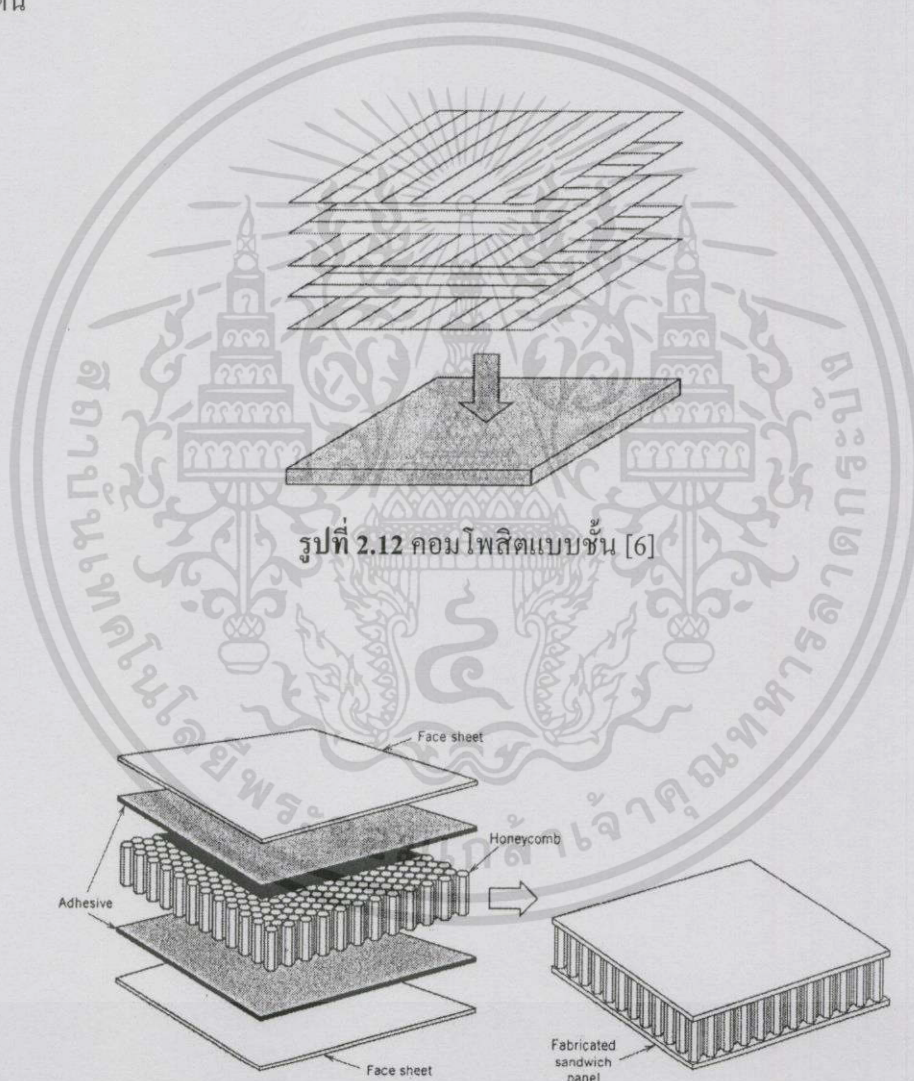
คอมโพสิตแบบชั้นประกอบด้วยแผ่นชีต (Sheet) ที่มีความแข็งแรงสูงในทิศทางเดียวมาเรียงซ้อนกัน ยกตัวอย่างเช่น แผ่นคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจัดเรียงตัวขนานกัน แล้วนำแต่ละแผ่นมาซ้อนกันจนได้เป็นคอมโพสิตแบบชั้น เพื่อประสิทธิภาพของการเสริมแรงควรเรียงแผ่นชีตแบบสลับทิศทางของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ตัวอย่างวัสดุคอมโพสิตประเภทนี้ เช่น กระดานสกี เป็นต้น

2.7.3.2 ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช (Sandwich panel)

ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิชเป็นคอมโพสิตโครงสร้างประเภทหนึ่ง ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นแกนกลางหรือที่เรียกว่า Core และประกบที่ด้านบนและล่างด้วยแผ่นชีตที่เป็นผิวนอกหรือที่เรียกว่า Face โดยมีแผ่นกาว (Adhesive) ทำหน้าที่เชื่อมให้แผ่น Core และ Face ติดกัน ดังรูปที่ 2.13 หน้าที่ของแผ่น Face คือเป็นตัวรองรับน้ำหนักเกือบทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้าง ยกตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำ Face เช่น อะลูมิเนียมอัลลอย เหล็กกล้า ไทเทเนียม ไม้อัด หรือแผ่นพลาสติก

เสริมแรงด้วยเส้นใย เป็นต้น ส่วน Core จะช่วยเพิ่มค่า Shear rigidity ในระนาบตั้งฉากกับแผ่น Face และมักจะเป็นโครงสร้างที่โปร่งหรือมีรูพรุน รูปแบบโครงสร้างของ Core ที่นิยมใช้คือแบบรังผึ้ง (Honeycomb) วัสดุที่ใช้ทำเป็น Core ได้แก่ พอลิเมอร์โฟม ยางสังเคราะห์ หรือโลหะและอัลลอย เป็นต้น

เนื่องจาก Core เป็นโครงสร้างแบบโปร่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา ดังนั้นผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิชจึงถูกนำไปใช้งานได้หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น ทำเป็นหลังคา พื้น หรือกำแพงของอาคาร ทำเป็นชั้นส่วนของปีกหรือช่องเก็บสัมภาระในเครื่องบิน เป็นต้น



รูปที่ 2.12 คอมโพสิตแบบชั้น [6]

รูปที่ 2.13 ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ประเภทของคอมโพสิตแบ่งตามวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์

นอกจากการแบ่งประเภทของคอมโพสิตดังกล่าวข้างต้นแล้ว เรายังสามารถแบ่งประเภทของคอมโพสิตตามวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ Metal-matrix composites (MMCs), Ceramic-matrix composites (CMCs) และ Polymer-matrix composites (PMCs)

2.7.4.1 Metal-matrix composites (MMCs)

MMCs เป็นคอมโพสิตที่มีโลหะหรือโลหะผสมเป็นเมทริกซ์ ส่วนวัสดุที่ทำหน้าที่เสริมแรงนั้นสามารถเป็นได้ทั้งอนุภาค หรือเส้นใย ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ข้อดีของ MMCs ที่เหนือกว่า PMCs คือสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง ไม่ติดไฟ แต่มีราคาแพง มักถูกนำไปใช้งานเฉพาะที่ต้องการสมบัติเด่นทางด้านความแข็งแรงจำเพาะ ความต้านทานการสึกหรอ ความต้านทานการครีพ การนำความร้อน หรือความเสถียรของขนาด (Dimensional stability) เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน MMCs เช่น ใช้อลูมิเนียมอัลลอยเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนเพื่อทำยานยนต์ เป็นต้น

Cermet หรือ Ceramic-metal composite คือ MMCs ที่มีเมทริกซ์โลหะน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเสริมแรงด้วยอนุภาคเซรามิกจำพวกออกไซด์ โบโรไซด์ คาร์ไบด์ หรือ อะลูมินา ส่วนโลหะที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์อาจเป็นนิกเกิล โมลิบดีนัม หรือโคบอลต์ ยกตัวอย่าง Cermet เช่น เมทริกซ์ของโคบอลต์หรือนิกเกิลที่ถูกเสริมแรงด้วยอนุภาคทังสเตนคาร์ไบด์ หรือ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (อาจเติมมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ซึ่งวัสดุที่ได้มีความแข็งแรงมาก (รองจากเพชร) และสามารถทนความร้อนได้ดี ตัวอย่างการใช้งานของ Cermet ได้แก่ ใช้ในกระบวนการผลิตตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่ต้องเจอสถานะอุณหภูมิสูง

2.7.4.2 Ceramic-matrix composites (CMCs)

โดยทั่วไปแล้ว วัสดุเซรามิก สามารถทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ข้อด้อยของเซรามิก คือมีค่าความทนทานต่อการแตกหักต่ำเมื่อเทียบกับโลหะ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น จึงนำมาทำเป็น CMCs ซึ่งการเสริมแรงสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบอนุภาค วิสเกอร์ หรือไฟเบอร์

2.7.4.3 Polymer-matrix composites (PMCs)

PMCs คือคอมโพสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ ส่วนวัสดุเสริมแรงเป็นได้หลากหลายทั้ง แก้ว คาร์บอน และ อีพอกซี คอมโพสิตประเภทนี้มีการใช้งานแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก และขึ้นรูปง่ายที่อุณหภูมิห้อง พอลิเมอร์ที่นิยมใช้เป็นเมทริกซ์มากที่สุดคือพอลิเอสเตอร์ แต่นอกจากนี้แล้ว ยังมีพอลิเมอร์ประเภทอื่นๆอีก ยกตัวอย่างเช่น อีพอกซี ซึ่งมีราคาสูงกว่าพอลิเอสเตอร์ แต่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าและสามารถทนต่อความชื้นได้ดีกว่า หรือพอลิไอมิดเรซิน (Polyimide resin) ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ดีกว่าพอลิเมอร์ทั่วไป จึงถูกนำไปใช้ที่อุณหภูมิสูง (ถึง 230 °C) หรือพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (Polyether etherketone, PEEK) พอลิฟีนิลีนซัลไฟด์

(Polyphynylene sulphide, PPS) พอลิอีเทอร์ไอไมด์ (Polyetherimide, PEI) ซึ่งมีศักยภาพที่จะประยุกต์ใช้เป็นยานอวกาศในอนาคต

ตัวอย่างของ PMCs ประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites

Carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites เป็น PMCs อีกประเภทหนึ่งที่ใช้กันมาก เส้นใยคาร์บอนที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4–10 ไมโครเมตร [6] และประกอบด้วยบริเวณที่มีเฟสเป็นกราฟไฟต์และบริเวณที่ไม่เป็นผลึก ซึ่งมีผลต่อค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) ของเส้นใย เส้นใยคาร์บอนนี้สามารถแบ่งประเภทตามค่ามอดูลัสได้เป็นสี่ประเภทคือ เส้นใยคาร์บอนที่มีค่ามอดูลัสมาตรฐาน ค่ามอดูลัสปานกลาง ค่ามอดูลัสสูง และค่ามอดูลัสสูงมาก

เส้นใยคาร์บอนมีข้อดีคือ เป็นวัสดุไฟเบอร์ที่มีค่ามอดูลัสและความแข็งแรงสูงที่สุดสามารถคงค่ามอดูลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงได้ที่อุณหภูมิสูง มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง (ไม่ไวต่อความชื้นหรือตัวทำละลาย) มีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีทำให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่ดี นอกจากนี้ยังผลิตได้ง่ายและราคาไม่แพง ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน CFRP เช่น อุปกรณ์กีฬา และสันทนาการ Filament-wound rocket motor cases ชิ้นส่วน โครงสร้างเครื่องบินทั้งเครื่องบิน การค้าและเครื่องบินทางการทหาร เป็นต้น

- Aramid fiber-reinforced polymer composites

พอลิพาราฟีนีลีน เทอร์เรพทาเลอไมด์ (Polyparaphenylene terephthalamide) หรือที่นิยมเรียกว่า อะรามิด (Aramid) ประกอบด้วยหมู่เอไมด์ Amide ($R-C=O-NH_2$) เรียงต่อกัน เส้นใยอะรามิดมีสมบัติที่ดีคือมีค่าความต้านทานแรงดึงและมอดูลัสแรงดึงในแนวขนานกับเส้นใยสูง มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงมาก มีความเหนียวที่ดี ทนต่อการกระแทก การเกิดครีพ และความล้า นอกจากนี้ยังมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง และสามารถคงสมบัติเชิงกลไว้ได้ที่อุณหภูมิช่วง -20 ถึง 200 °C [6] เชื้อต่อการทำปฏิกิริยากับสารละลายและสารเคมีต่างๆ (ยกเว้นกรดหรือเบสแก่) เส้นใยอะรามิดที่มีการผลิตทางการค้า ได้แก่ Kevlar (Kevlar 29, 49, 149) ตัวอย่างการใช้อะรามิดได้แก่ ยางรถยนต์ เชือก ใช้แทนแอสเบสทอส (Asbestos) ในเบรกรถยนต์และคลัทช์ อุปกรณ์กีฬา Pressure vessels เสื่อกันกระสุน เป็นต้น [6]

- Glass fiber-reinforced polymer (GFRP) composites

ตัวอย่างของ PMCs ที่มีการใช้งานมากคือ Glass fiber-reinforced polymer (GFRP) Composite โดยเส้นใยแก้วที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-20 ไมโครเมตร วัสดุที่ได้มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้ยังเฉื่อย (Inert) ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะกัดกร่อนได้ ข้อจำกัดของวัสดุนี้คือค่า Rigidity ไม่สูง และใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 °C นอกจากนี้ใช้พอลิเมอร์ที่สามารถทนอุณหภูมิได้สูง เช่น พอลิไอไมด์เรซิน (Polyimide resin) เป็นเมทริกซ์ จะสามารถใช้งานได้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 °C การประยุกต์ใช้งาน PMCs เช่นตัวถังรถยนต์และเรือดำน้ำ พื้นในโรงงานอุตสาหกรรม Storage container เป็นต้น [6]

เส้นใยแก้ว (Glass fiber) [30] เป็นเส้นใยที่มีราคาถูกและนิยมใช้กันอย่างมาก นอกจากนั้นยังมีสมบัติเด่นคือความแข็งแรงดึง และความทนแรงกระแทกสูง ความต้านทานต่อสารเคมีสูง แต่มีข้อเสียคือค่ามอดุลัสต่ำ ไม่ทนต่อการถูกเสียดสี มีความสามารถในการยึดเกาะกับเมทริกซ์ต่ำ เส้นใยแก้วเป็นวัสดุที่มีสมบัติผสมระหว่างแก้วและเส้นใย คือมีความใส แข็ง ด้านทานสารเคมี มีความเหนียวเหมือนแก้ว และมีความแข็งแรงสูง ยึดหยุ่น น้ำหนักเบา เส้นใยแก้วมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน ประกอบด้วยโครงสร้างตาข่ายของซิลิกา (Silica network) สามารถเตรียมได้จากกรวดซิลิกาและออกไซด์ต่างๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), โซเดียมออกไซด์ (Na₂O), เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) และ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) เป็นต้น ผ่านรูเล็กๆ (Orifice) แล้วดึงยึดออกเป็นเส้นใย โดยการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดผลึก ดังนั้น โครงสร้างจึงไม่เป็นระเบียบแต่จะมีสมบัติเท่ากันทุกๆ ทาง (Isotropic properties) เส้นใยที่เตรียมได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-20 ไมครอน และมีความยาววิกฤติ (Critical length) ประมาณ 50-100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งถือว่าเป็นความยาวที่เหมาะสมต่อการนำเส้นใยไปใช้งาน

เส้นใยแก้วสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณขององค์ประกอบที่อยู่ภายใน ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลแตกต่างกันไป เส้นใยที่นิยมใช้มีดังนี้ [6]

- เส้นใยแก้วชนิด E (E-glass ; Electrical grade) นิยมใช้มากที่สุดเพราะมีความแข็งแรงสูง มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี ราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย
- เส้นใยแก้วชนิด ECR (ECR-glass ; Electrical-chemical grade) มีความแข็งแรงมากกว่า E-glass ทนทานต่อสารเคมี มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี แต่ราคาสูง
- เส้นใยแก้วชนิด C (C-class ; Chemical grade) เป็นเส้นใยที่มีความทนทานต่อสารเคมีดีเยี่ยม แต่มีความแข็งแรงต่ำ นิยมใช้เป็นผิวหน้าที่สัมผัสสารเคมีโดยตรง
- เส้นใยแก้วชนิด S (S-class ; Strength grade) เป็นเส้นใยที่มีค่ามอดุลัสสูง และทนต่ออุณหภูมิการใช้งานสูง มีความแข็งแรงมากกว่า E-class ถึง 30% แต่มีราคาแพงกว่าถึง 7 เท่า นิยมใช้ในงานทางการทหารและอวกาศ

เส้นใยแก้วมีรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ดังนี้ [6]

1. เส้นใยแก้วชนิดยาว (Roving) มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง ม้วนเป็นหลอดเหมาะสำหรับการผลิตแบบใช้เครื่องพ่น (Spray up) แบบพันทอ (Filament Winding) แบบดึงแนวยาว (Pultrusion) และแบบ SMC (Sheet molding compound) ให้ความแข็งแรงในด้านการรับแรงดึงและแรงบิดองได้สูงสุด

2. เส้นใยแก้วชนิดสั้น (Chopped stranded) เป็นเส้นใยแก้วชนิดเส้นสั้น เหมาะสำหรับกรรมวิธีการผลิตแบบอัดเหลว คือใช้เส้นใยแก้วชนิดเส้นสั้นผสมกับเรซินเสียก่อนแล้วจึงเทอัดลงในแม่แบบ ขนาดเส้นมาตรฐานยาว 3 และ 6 มิลลิเมตร นอกจากนี้ใยแก้วชนิดเส้นสั้นยังนิยมนำไปผสมเป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกพวก ฟีนอลิก ABS พอลิโพรพิลีน เป็นต้น

3. เส้นใยแก้วชนิด CSM (Chopped strands mat) เป็นเส้นใยแก้วที่นิยมใช้กับงานต่างๆไป มีผืนขนาดแตกต่างกันแล้วแต่การใช้งาน เช่น ผืนเบอร์ 300 450 และ 600 (ตัวเลขของผืนเบอร์คือน้ำหนักเป็นกรัมต่อหนึ่งตารางเมตร)

4. เส้นใยแก้วชนิดผืนเส้นยาว (Continuous strands mat) เส้นใยแก้วชนิดนี้เสริมให้ชิ้นงานแข็งแรงกว่าชนิด CSM เพราะเส้นใยแก้วยาวตลอดเป็นเส้นเดียวกันใช้กับชิ้นงานที่มีผิวเรียบตลอด โดยปกติจะใช้กับการผลิตแบบอัดขึ้นรูป

5. เส้นใยแก้วชนิดผืนเส้นใยละเอียด (Surfacing roving) ใช้สำหรับเสริมชั้นแรกต่อจากชั้นเจลโค้ต คือส่วนที่ปิดผิวหน้าของชิ้นงาน หรือ สีผิวงาน สามารถทำเป็นสีต่างๆได้จะช่วยให้ชิ้นงานมีสีเงางามมาก ในชิ้นงานพิเศษหรือขนาดเล็ก ขนาดที่นิยมใช้คือเบอร์ 30 [6]

6. เส้นใยแก้วชนิดผืนละเอียด (Woven roving) ใช้กับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษหรือชั้นที่ 2-3 ต่อจากชั้นเจลโค้ต หรือมีชื่อเรียกง่ายๆทั่วไปว่า “ใยแก้วสานเล็ก” ขนาดที่นิยมใช้คือเบอร์ 25, 100, 130, 200 และ 300 [6]

7. เส้นใยแก้วชนิดผืนหยาบ (Woven roving) เป็นเส้นใยแก้วที่ให้ความแข็งแรงสูงกับชิ้นงานขนาดใหญ่ มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ใยแก้วสานใหญ่

8. เส้นใยแก้วชนิดเส้นด้าย (Yarn) มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนเส้นด้าย ผ่านการพันบิดรวมเส้นแล้วนำไปทอเป็นเส้นใยแก้วชนิดผืนพิเศษ (Fabrics) มีหลายขนาดตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.08 ถึง 0.05 มิลลิเมตร

9. เส้นใยแก้วชนิดผืนพิเศษ (Fabrics) เป็นเส้นใยแก้วผืนชนิดที่ทอเป็นพิเศษ มีความแข็งแรงสูง มีเบอร์หลากหลาย เช่น 25 ถึง 350 เป็นต้น โดยตัวอย่างของเส้นใยแก้วชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการลดความแข็งแรงของเส้นใยแก้วคือ รอยตำหนิที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต การขนส่ง ดังนั้นในการผลิตจึงมีการปรับปรุงและลดปัญหาการเสียดสีของเส้นใย โดยการใช้สารเคลือบลงบนเส้นใย เรียกว่า “ไซซิงเอเจนต์” (Sizing agent) ที่สำคัญได้แก่ สารคู่ควมจำพวกซิลเลน (Silane coupling agent) ซึ่งทำหน้าที่ดังนี้

- ป้องกันผิวของเส้นใยไม่ให้ไหม้ให้เกิดตำหนิอันเนื่องจากการเสียดสี
- เชื่อมเส้นใยให้ติดเข้าด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการผลิตและขึ้นรูป
- หล่อลื่นเส้นใยให้สามารถต้านทานต่อการขูดถูเสียดสีในระหว่างขั้นตอน

การผลิต

- ให้สมบัติต่อต้านไฟฟ้าสถิต (Anti-static properties)
- เพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย เพิ่มความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับเมทริกซ์



(ก)

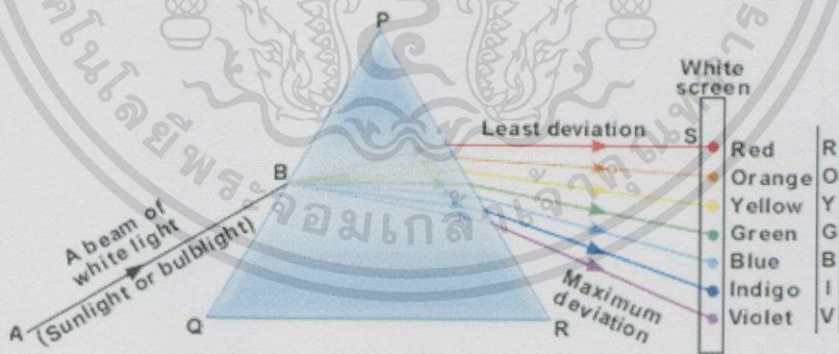
(ข)

(ค)

รูปที่ 2.14 (ก) ม้วนเส้นใยแก้ว (เส้นใยยาวต่อเนื่อง) (ข) เส้นใยแก้วที่นำมาอัดรวมกันเป็นแผ่น และ (ค) เส้นใยแก้วที่นำมาทอเป็นผืน [31, 32, 33]

2.8 ทฤษฎีการวัดสี (Color measurement)

สีในชีวิตประจำวันเราจะพบแสงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งเป็นแสงสีขาว แต่ความจริงแล้วถ้านำแสงสีขาวผ่านปริซึมจะแยกแสงออกได้ 7 สีไปปรากฏบนฉากจะมีสีม่วงและค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และ แดง ดังรูปที่ 2.15 โดยลำดับของสี (Color) จะเรียงตามการกระจายแสงจากมากไปน้อย เรียกแสงสีที่เกิดขึ้นนี้ว่าสเปกตรัมของแสง (Spectrum) [34]

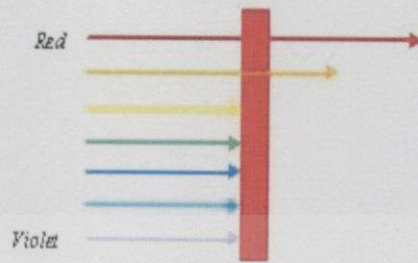


รูปที่ 2.15 เมื่อแสงขาวผ่านปริซึมจะแยกเป็นแสงสีต่าง ๆ [34]

การเห็นสีของวัตถุแตกต่างกันเพราะ เมื่อให้แสงกระทบผิววัตถุ ปริมาณแสงสะท้อนจากผิววัตถุหรือปริมาณแสงที่ผ่านจากวัตถุเข้าสู่ตามีปริมาณต่างกัน การที่จะเห็นสีที่แท้จริงของวัตถุ วัตถุนั้นจะต้องส่องด้วยแสงสีเดียวกัน หรือมีแสงสีเดียวกันรวมอยู่ด้วย จึงจะมองเห็นวัตถุด้วยสีที่แท้จริงของมัน และถ้าส่องด้วยแสงแดด จะเห็นสีที่แท้จริงของวัตถุทั้งนี้เพราะแสงแดดประกอบด้วยแสงสีต่างๆ ทุกสี ดังนั้นแสงที่มีสีเดียวกับวัตถุจะสะท้อนเข้าสู่ตา เช่น ถ้าฉายแสงขาว ผ่านแผ่นกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีแดง แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้สีแดงและสีแดงผ่านได้ เพราะแผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้แสงที่มีสีเดียวกันหรือสีที่ใกล้เคียงกับสีแดงผ่านเท่านั้น [34] ดังรูปที่ 2.16

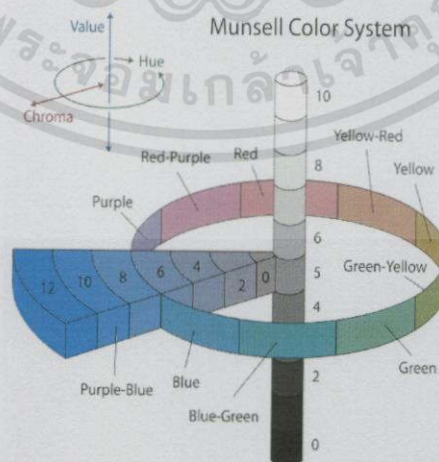


รูปที่ 2.16 แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้สีแดงผ่านได้ [34]

2.8.1 สีของวัตถุ

สีของวัตถุที่มองเห็นแสดงได้ด้วยสมบัติ 3 อย่าง คือ [35]

1. สี (Hue) คือ แถบแสงสีแต่ละแสงสีในสเปกตรัม เช่น แถบแสงสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง
2. ความสว่างของแสงสี (Lightness) คือ ปริมาณแสงสะท้อนออกจากแถบแสงสีแต่ละแสงสี ทำให้เกิดความรู้สึกว่ามีแสงผ่านเข้าตามากหรือน้อย
3. ความอิ่มตัวของสี (Color saturation) คือ จำนวนหรือขนาดที่บอกให้ทราบว่าแถบสีนั้น อยู่ห่างจากที่ไม่มีสี (Achromatic color) สีที่อิ่มตัวคือสีที่ไม่มีสีขาวปนอยู่เลย เช่น สีแดง สีน้ำเงิน เขียว ส่วนสีที่มีสีขาวปนมากเท่าใด ความอิ่มตัวก็ยิ่งน้อยลงเท่านั้น เรียกว่า สีไม่อิ่มตัว เช่น สีชมพู สีฟ้า เทา เป็นต้น โดยสมบัติของสี 3 ลักษณะจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สมบัติของสี 3 ลักษณะ คือ สี ความสว่างของแสงสี และความอิ่มตัวของสี [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การมองเห็นสี (Color vision)

ในปี ค.ศ. 1801 Thomas Young ได้กล่าวว่าการผสมสีของแสงจะทำให้เกิดความรู้สึกในการเห็นแสงสีใหม่ โดยสามารถเห็นได้เพราะนัยน์ตามีเซลล์ประสาทรับแสงสี (Cones) 3 ชนิด คือเซลล์ที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีแดง เซลล์ที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีเขียว และเซลล์ที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีน้ำเงิน [35] เซลล์ประสาทรับแสงสีทั้ง 3 ชนิด จะมีความไวต่อแถบแสงสีในสเปกตรัมที่ตามองเห็นได้ แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีเขียว เรียกว่าเป็น แม่สี หรือ สีปฐมภูมิ (Primary color) ซึ่งถือว่าเป็นแสงสีบริสุทธิ์ ที่ไม่สามารถจะแยกออกเป็นแสงสีอื่นๆ ได้ความรู้สึกในการมองเห็นสีนั้นอยู่ที่ว่าเซลล์ประสาทรับแสงสีชนิดใดถูกกระตุ้น เช่น [37]

- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีแดงถูกกระตุ้นเพียงชนิดเดียว จะมีความรู้สึกเห็นเป็นสีแดง
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีน้ำเงินถูกกระตุ้นเพียงชนิดเดียว จะมีความรู้สึกเห็นเป็นสีน้ำเงิน
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีเขียวถูกกระตุ้นเพียงชนิดเดียว จะมีความรู้สึกเป็นสีเขียว
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีทั้งสามชนิดถูกกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกพร้อมๆ กัน และเท่าๆ กัน จะเกิดความรู้สึกเห็นเป็นแสงสีขาว
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีสองชนิดหรือทั้งสามชนิดถูกกระตุ้นความรู้สึกพร้อมๆ กัน จะเกิดความรู้สึกมองเห็นเป็น แสงสีประกอบ (Compound color) ซึ่งเป็นสีที่เกิด จากการผสมของแสงสีปฐมภูมิ เช่น สีแดงม่วง น้ำเงิน-เขียว และเหลือง เป็นต้น
- ถ้าหากว่าเซลล์ประสาทรับแสงสีทั้งสามชนิดไม่ถูกเร้าหรือกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกเลย จะมีความรู้สึกว่ามีแสงสีอะไรเลย

2.8.3 ปัจจัยที่สำคัญต่อการมองเห็นสีของวัตถุ

การมองเห็นสีของวัตถุเกิดจากปัจจัย 3 ชนิด ดังต่อไปนี้ [38]

- แหล่งกำเนิดแสง (Light source)
- วัตถุที่มีสี / ตัวอย่าง (Object)
- ผู้สังเกตการณ์ (Observer)

2.8.3.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับการมองเห็นมาจาก 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ขึ้น

- แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ หรือแสงแดด ในตอนกลางวัน (Daylight) ส่องลงมายังผิวโลกเป็นแสงสีขาว มีความสว่าง เมื่อส่องแสงผ่าน Prism แสงจะกระจายออกมาอยู่ในช่วง Visible wavelength (400 -700 nm) [38] แต่แสงแดดในแต่ละท้องที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของประเทศต่างๆ จะพบว่า มีการกระจายพลังงาน (Spectral energy distribution, SED) แตกต่างกันไปตามภูมิภาค ประเทศ ภูมิอากาศ ฤดู และช่วงเวลา ดังนั้น การมองเห็นสี ที่มีแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติในช่วงเวลาสถานที่ หรือสภาพอากาศที่ต่างกันแล้ว ก็เป็นเหตุให้การมองเห็นสีต่างกันไปด้วย

- แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ จะถูกสร้างให้มีอุณหภูมิของสีที่แตกต่างกัน (Color temperature) โดยต้องมีแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่าน Filter ไปยังแหล่งแสงประดิษฐ์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

1. Illuminant A มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไฟทั้งสแตน หรือหลอดไฟ Incandescence ที่มีอุณหภูมิแสงประมาณ 2848 K

2. Illuminant B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนเที่ยง โดยมีอุณหภูมิแสงประมาณ 4900 K

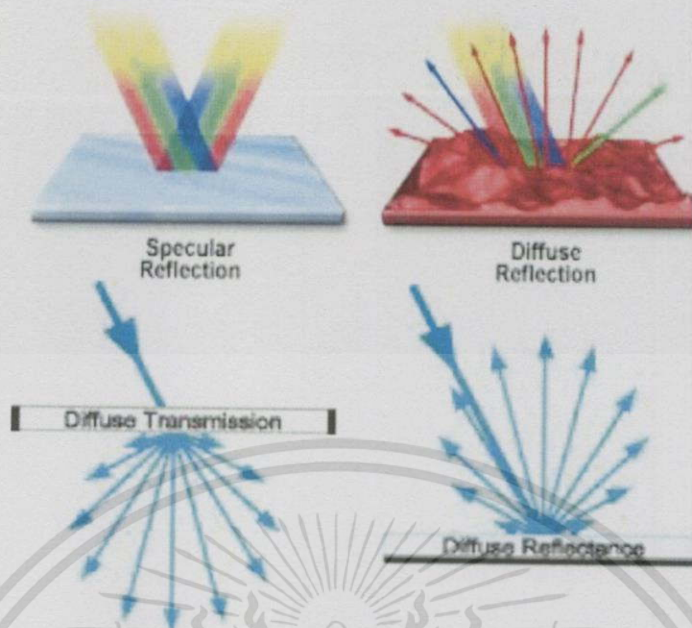
3. Illuminant C B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนกลางวัน โดยมีอุณหภูมิแสงประมาณ 6700 K

4. Illuminant D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน แต่มีความละเอียดของอุณหภูมิแสงที่ต่างกันเช่น D65 และ D75 โดยที่ D65 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิแสง 6500 K และ D75 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิแสง 7500 K ซึ่งปกติเรานิยมที่จะใช้ D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการวัด

2.8.3.2 วัตถุมีสี / ตัวอย่าง

แสงจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อตกกระทบวัตถุที่มีสีจะเกิดปรากฏการณ์การสะท้อนของแสงที่พื้นผิวของวัตถุ ที่มีความเงามัน เรียกว่า การสะท้อนที่สมบูรณ์ (Specular reflection) [38] ดังรูปที่ 2.18 ถ้าพื้นผิวไม่เรียบ ไม่มีความเงามัน เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปกระทบวัตถุนั้นจะเกิดการกระเจิงของแสง และอนุภาคของสีในบางช่วงคลื่นจะถูกดูดกลืนเอาไว้ บางช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนออกมา เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Diffuse reflection (รูปที่ 2.18)

นอกจากจะมีการสะท้อน และการดูดกลืนในบางช่วงของคลื่นแสงแล้ว ยังมีการส่องผ่านของแสงบนวัตถุโปร่งแสง และเกิดการกระเจิงของแสงที่พื้นผิว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Diffuse transmission (รูปที่ 2.18)



รูปที่ 2.18 ลักษณะการสะท้อนแสงบนผิวชนิดต่างๆ [39, 40]

2.8.3.3 ผู้สังเกตการณ์

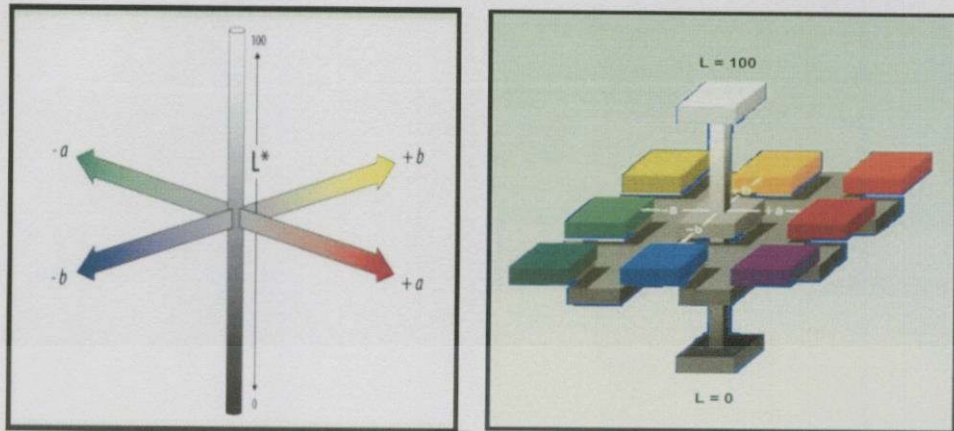
ผู้สังเกตการณ์เป็นปัจจัยสุดท้ายของการมองเห็น โดยเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุที่มีสี และสะท้อนเข้าตาของผู้สังเกตการณ์แล้วส่งไปยังเรตินาเพื่อประมวลผลผ่านระบบประสาท จะแสดงออกมาเป็นค่าสีต่างๆ

2.8.4 การรายงานค่าสี

จากหลักการพื้นฐานเรื่องสีข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐานและลดความไม่แน่นอน เนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์ องค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ Commission-Internationale de l'Eclairage (CIE) หรือในชื่ออังกฤษว่า International Commission on Illumination [41] โดยที่การรายงานค่าสีจะรายงานเป็นค่า L^* , a^* และ b^* ดังรูปที่ 2.19 คือ ใช้หลักของสีที่ตรงข้ามกัน อ่านค่าตามแกน 3 แกนได้เป็น 3 ค่าดังนี้ [42]

- L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)
- a^* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว
 - ค่า a เป็นบวกจะแสดงค่าสีแดง
 - ค่า a เป็นลบจะแสดงค่าสีเขียว
- b^* แสดงค่าความเป็นเหลืองและสีน้ำเงิน
 - ค่า b เป็นบวกจะแสดงค่าสีเหลือง
 - ค่า b เป็นลบจะแสดงค่าสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงค่าของ L [42]

2.9 Scanning electron microscopy (SEM)

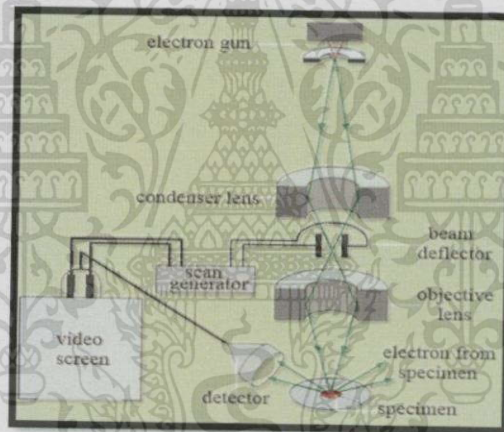
Scanning electron microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 nm (รูปที่ 2.20) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดบาง เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น [43]



รูปที่ 2.20 เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) [43]

2.9.1 หลักการ

การทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้ ข้อดีของเครื่อง SEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจะเป็นลักษณะ 3 มิติ โดยส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM [43]

2.9.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM

สำหรับชิ้นงานที่เป็นคอมโพสิต ได้แก่ พลาสติกเสริมแรง (Reinforce plastic) ตัวอย่างพวกนี้จะแข็งและเหนียวมาก การหักชิ้นงานจึงต้องทำภายใต้อุณหภูมิที่เย็นจัด (Freeze fracture) โดยจุ่มชิ้นงานตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวจนหายเดือดแล้วหักทันที เพราะอุณหภูมิที่เย็นจัดจะทำให้พลาสติกแข็งและเปราะ ทำให้หักง่ายและเกิดรอยแตกตามโครงสร้าง หลังจากหักตัวอย่างเสร็จแล้วนำไปติดสตั๊บ (Stub) และนำไปฉายพื้นผิวด้วยทองคำ [44]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Sadat-Shojai และ G.-R. Bakhshandeh [45] ศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลพีวีซีซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้กันทั่วไป และมีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานสั้นหรือยาวแตกต่างกัน ผลจากความต้องการผลิตภัณฑ์จากพีวีซีที่เพิ่มขึ้นในปีที่ผ่านมา นั้น พบว่าปริมาณการใช้พีวีซีที่มากขึ้นนำมาสู่ขยะพีวีซีที่มากขึ้นทีละน้อย ปัจจุบันกลุ่มคนได้ให้ความสำคัญ สนใจ และกังวลเกี่ยวกับปัญหาของขยะพลาสติก ซึ่งขยะพีวีซีได้รวมอยู่ในความกังวลนั้นด้วย แต่อาจจะมีวัสดุหรือพลังงานที่จะทำการรีไซเคิลที่เหมาะสมในการแก้ปัญหานี้ได้ โดยมีการพิจารณาทบทวนมุมมองความคิดเห็นต่างๆของการรีไซเคิลขยะพีวีซี เช่น วิธีการรีไซเคิลขยะพีวีซี ข้อเสนอแนะและกระบวนการเกี่ยวกับปัญหา เทคนิคในการแยกและรีไซเคิลขยะพีวีซีผสม นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นเป็นรูปแบบลักษณะการทำที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับสำหรับการรีไซเคิลขยะพีวีซีในวงการวิทยาศาสตร์ได้มีการวิจัยค้นคว้าด้วย

D. Braun [46] ศึกษากระบวนการรีไซเคิล PVC พบว่า PVC ที่ผ่านการใช้งานแล้วต้องอาศัยความระมัดระวัง เนื่องจากพลาสติก PVC ที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมนั้นในการวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงเสถียรภาพทางความร้อนของอุณหภูมิ (Thermal stability) และน้ำหนักโมเลกุลของมันด้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อกระบวนการรีไซเคิล นอกจากนี้ยังสามารถใส่สารเติมแต่งที่ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนใน PVC ที่ใช้แล้วได้มากถึง 10 wt% โดยไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลง

ปาริชาติ ชศแก้ว และคณะ [47] ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วชนิดอี (E type) และผงไม้ที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงและความต้านทานการขูด โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ปริมาณเส้นใยแก้วในช่วง 0-20 phr ในร้อยละ ชนิดของผงไม้ ได้แก่ ไม้แฉะ ไม้ยางพารา และไม้มะม่วงและระยะทางการขูดที่ 2 และ 4 กิโลเมตร สำหรับปริมาณผงไม้ที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบได้กำหนดไว้คงที่ที่ 40 phr สำหรับการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึงจะใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790-03 และความต้านทานการขูดโดยการวัดค่าอัตราการสึกหรอจำเพาะใช้ตามมาตรฐาน ASTM D 4060 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การตรวจสอบร่องรอยการสึกหรอจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองพบว่าความทนทานต่อการดึงมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยแก้ว โดยกรณีชนิดไม้ยางพารามีค่าสูงสุดรองลงมาคือ ไม้มะม่วงและ ไม้แฉะ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของไม้ ส่วนสมบัติด้านทานการสึกหรอพบว่า การเติมเส้นใยแก้วในวัสดุเชิงประกอบ ส่งผลให้ค่าอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบลดลงเฉพาะกรณีไม้แฉะที่ระยะทางการขูด 4 กิโลเมตร โดยค่าดังกล่าวมีการลดลงต่ำสุดที่ปริมาณเส้นใยแก้ว 5-10 ส่วนในร้อยละ ส่วนนี้ จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคที่ระยะทางการขูดที่ 4 กิโลเมตร ได้แสดงให้เห็นการเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกของพื้นผิว และพบการจัดเรียงตัวของเส้นใยแก้วที่เป็นระเบียบไปตามแนวแรงสำหรับในกรณีไม้แดง ในขณะที่กรณีไม้มะม่วงและไม้ยางพาราพบการแตกหักของเส้นใยแก้วเกิดขึ้น

นริสา จันทร์ทอง และ พัชรียา ตุ่มตั้ง [48] ศึกษาการนำเศษขี้เลื่อยจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมไม้มาเป็นสารเสริมแรงในพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี โดยเตรียมพีวีซีคอมโพสิตด้วยการผสมพีวีซีและผงขี้เลื่อยด้วยเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้งแล้วขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวิธีกดอัด จากนั้นนำพีวีซีคอมโพสิตไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง ค่ามอดุลัสของยัง เเปอร์เซ็นต์การยืดตัวและความแข็ง และทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ในงานวิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของขนาดและปริมาณของผงขี้เลื่อยต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของพีวีซีคอมโพสิต โดยใช้ผงขี้เลื่อยปริมาณ 30 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีขนาดต่างๆ กัน ได้แก่ 63 และ 12 ไมโครเมตร และนอกจากนี้ยังได้ศึกษาการปรับสภาพผงขี้เลื่อยด้วยสารปรับสภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลาร์และสารประสานคู่ควบไซเลนปริมาณ 0-5 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงขี้เลื่อย เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารปรับสภาพที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของพีวีซีคอมโพสิต จากการทดสอบพบว่า การเติมผงขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นทำให้พีวีซีคอมโพสิตมีค่ามอดุลัสของยังความแข็ง และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง สำหรับการปรับสภาพผิวผงขี้เลื่อยพบว่า การปรับสภาพผิวด้วยสารประสานคู่ควบไซเลนทำให้คอมโพสิตมีความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงกว่าการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

D. Garcia และคณะ [49] ได้ศึกษาถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Recycle PVC ที่มาจากบัตเตอร์เครดิต และ Recycle ABS ที่มาจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้ง Virgin ABS โดยศึกษาปริมาณ 0 ถึง 100 wt% และศึกษาการสลายตัวด้วยเทคนิค FTIR และ TGA ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม สมบัติทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ซึ่งผลการทดลองพบว่า Virgin ABS สามารถผสมเข้ากันได้กับ Virgin PVC มากกว่า Recycle ABS และส่งผลให้ค่า Tensile strength ที่ดีกว่า Recycle ABS รวมทั้งทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี อย่างไรก็ตามสามารถใช้ Recycle ABS ได้เพราะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์และเป็นการเพิ่มมูลค่าเพื่อสร้างรายได้ในเชิงพาณิชย์

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษขยะ PVC/เส้นใยแก้ว ที่เหลือจากกระบวนการผลิตเทปวัดในระบบอุตสาหกรรม โดยจะนำเศษขยะ PVC/เส้นใยแก้ว มาทดสอบและประยุกต์ใช้งานต่อไป เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าของเศษขยะดังกล่าว ซึ่งจะนำมาทดสอบและใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 จะเป็นการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกเส้นใยแก้วออกจาก PVC โดยจะทำการทดสอบหาชนิดของตัวทำละลายและขนาดของเทปวัดที่เหมาะสมในอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อปริมาณเทปวัดที่กำหนดไว้ จะได้วัตถุดิบจากการสกัดออกมาสองอย่าง คือ เส้นใยแก้ว และน้ำกาวที่สกัดได้จาก PVC (Plastisol)

น้ำกาว หรือ Plastisol ที่ได้จะนำไปใช้งานต่อในรูปของการเทหล่อ แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบกับ Virgin PVC เพื่อความีสมบัติเป็นอย่างไร และสามารถนำไปใช้งานได้ดีหรือไม่

ตอนที่ 2 เป็นการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมาทำการรีไซเคิล (Recycle) หรือใช้งานในรูปของการหลอมใหม่ โดยจะทำการตัดเทปวัดให้มีขนาดแตกต่างกันแล้วนำมาผสมกับเม็ดพลาสติก Virgin PVC ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำการผสมขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll-mill แล้วนำไปกดอัดด้วยเทคนิค Compression molding พร้อมทำการกำหนดทิศทางของชิ้นงานขณะทำการกดอัด 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร (Machine direction; MD) และ ทิศทางตามขวาง (Transverse direction; TD) จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

นอกจากการใช้งานในรูปของการหลอมใหม่แล้ว ได้ทำการศึกษาว่ากระบวนการขึ้นรูปและหมักที่ทำการตีสเกลลงบนเทปวัดนั้นมีผลทำให้สีของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ โดยการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างขึ้นมา 4 แบบ คือ เม็ดพลาสติก Virgin PVC, เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว (ที่ทำการตีสเกล, ไม่ตีสเกล และทำการตีสเกลแล้วเข้คออกจากตัวทำละลาย) แล้วนำไปทำการตรวจวัดสีชิ้นงานก่อนทำการขึ้นรูป หลังทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll mill และ Compression molding พร้อมรายงานผลการทดสอบเป็นค่า L^* , a^* และ b^*

ตอนที่ 3 เป็นการนำเอา PVC มาใช้ประโยชน์ต่อในด้านอื่นๆ คือนำมาผสม (Blend) กับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอื่น ในงานวิจัยนี้จะนำ PVC มาปรับปรุงสมบัติของ ABS ให้มีสมบัติที่นุ่มลงและรับแรงได้มากขึ้น โดยการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้วขนาด 3 mm, 5 mm และ เม็ดพลาสติก Virgin PVC มาผสมขึ้นรูปกับ ABS ด้วยเครื่อง Two-roll-mill ตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากชิ้นงานมีความแข็งมาก จึงต้องนำไปทำการบดก่อน แล้วนำไปทำการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ พร้อมนำผลการทดสอบที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการทดสอบ

เนื่องจากว่าเป็นการผสมระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดคือ ABS และ PVC จึงต้องมีการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด เพื่อดูความเข้ากันได้ การกระจายตัวของเส้นใยแก้ว และการหลุดออกของเส้นใยแก้วว่าเป็นอย่างไร ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

1. เทตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran; THF) ชนิด Analytical grade ของบริษัท ITALMAR (Thailand) CO., LTD. มีสมบัติดังนี้

Viscosity	=	0.48 cP at 25 °C
Density	=	0.8892 g/cm ³
Melting point	=	-108.4 °C, 165 K, -163 °F
Boiling point	=	66 °C, 339 K, 151 °F
Flash point	=	-14 °C

2. ไซโคลเฮกซะโนน (Cyclohexanone) RPE ของบริษัท ITALMAR (Thailand) CO., LTD. มีสมบัติดังนี้

Viscosity	=	2.02 cP at 25 °C
Density	=	0.9478 g/cm ³
Melting point	=	-47 °C, 226 K, -53 °F
Boiling point	=	155.65 °C, 429 K, 312 °F
Flash point	=	44 °C (111 °F)

3. เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่เหลือจากกระบวนการผลิต ของบริษัท Stanley Works Co., Ltd.

- เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ทำการทดสอบการสึกกร่อน
- เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ยังไม่ทำการทดสอบการสึกกร่อน

4. ตัวทำละลายที่ใช้ลบสเกลบนเทปวัด (W 150) ของบริษัท Stanley Works Co., Ltd.

5. เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เกรด VS 3910 YLT ของบริษัท Stanley Works Co., Ltd.

6. เม็ดพลาสติก ABS (ABS) เกรด 757 K ของบริษัท Stanley Works Co., Ltd.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

- เครื่องผสม Two-roll mill รุ่น LRM110 บริษัท LAB TECH ENGINEERING COMPANY LTD.

- เครื่องกดอัด (Compression molding machine) รุ่น MGLP-2UAT บริษัท MACH GROUP (1992) CO., LTD

- เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) รุ่น PTI-220/80 HITECH บริษัท COSMO CO., LTD

- เครื่องบด รุ่น 5 HP บริษัท BOSCO CO., LTD

- นาฬิกาจับเวลา

2. อุปกรณ์สำหรับทดสอบสมบัติเชิงกล

- เครื่องมือวัด

- เวอร์เนีย ; Mitutoyo ขนาด 150 มิลลิเมตร

- ไมโครมิเตอร์ Mitutoyo ขนาด 25 มิลลิเมตร

- เครื่องทดสอบ Universal testing machine (Load Cell 5 KN) LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR 5K บริษัท INTRO ENTERPRISE CO., LTD ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการดึง (Tensile properties)

- เครื่องทดสอบ Hardness (Shore D) TYPE; 6052 SERIAL 13308 บริษัท CEAST CO., LTD

- เครื่องทดสอบ Impact tester รุ่น 258-PC บริษัท YASUDA SEIKI SEISAKU-SHO LTD.

- เครื่องตรวจวัดสี รุ่น Miniscan XE Plus บริษัท COLOR ASSOCIATES CO., LTD

3. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบตัวทำละลาย

- เครื่องแก้วที่ใช้ทดสอบ

- บีกเกอร์
- ขวดรูปชมพู่
- แท่งแก้วคนสาร
- กระบอกตวง
- กรวยกรอง
- กระจกนาฬิกา

- ชามระเหย

- เครื่องเขย่า (Shaker)

- เครื่องทดสอบความหนืด Brookfield viscometer รุ่น LV บริษัท

BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES INC.

- คู่มือ

- เครื่องชั่งสาร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการแยกเทปวัดพีวีซีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

1. การทดสอบหาชนิดของตัวทำละลายและขนาดของเทปวัดที่เหมาะสม

วิธีการทดสอบ

1) เตรียมสารตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของเทปวัด PVC ต่อตัวทำละลาย

ขนาดเทปวัด (mm)	ปริมาณเทปวัด (g) / ตัวทำละลาย (ml)	
	Cyclohexanone	Tetrahydrofuran (THF)
5	25 g/250 ml	25 g/250 ml
20	25 g/250 ml	25 g/250 ml

ละ 3 ชั่วโมง

2) ชั่งสารตัวอย่างตามตารางที่กำหนดไว้ ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ตัวอย่าง

ความเร็ว 150 rpm

3) แล้วนำสารตัวอย่างทั้งหมดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าประมาณ 24 ชั่วโมงด้วย

4) เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้สังเกตผลการทดลอง จากนั้นนำไปกรองแยกสารละลาย PVC และเส้นใยแก้วออกจากกัน

5) นำเส้นใยแก้วที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบพร้อมกับชั่งน้ำหนักจนกว่า น้ำหนักที่ได้จะคงที่

6) เมื่อได้น้ำหนักของเส้นใยแก้วที่แน่นอนแล้ว ให้นำมาคำนวณหา % Yield ของเส้นใยแก้ว และปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (%) พร้อมเปรียบเทียบ และสรุปผลการทดลอง

7) ส่วนสารละลาย PVC ที่กรองได้นั้นจะอยู่ในรูปของน้ำกาว หรือ Plastisol ซึ่งจะนำมาปริมาณ 500 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ml แล้วนำไปทดสอบความหนืดด้วยเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brookfield viscometer ซึ่งจะใช้เข็มเบอร์ 1 และความเร็วรอบ 60 rpm ในการทดสอบ พร้อมกับบันทึกผลที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการทดลอง

2. การใช้ประโยชน์จากน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol)

วิธีการทดสอบ

1) นำน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol) ที่วัดค่าความหนืดเรียบร้อยแล้ว มาเทลงถาดสี่เหลี่ยมขนาด $26 \times 35 \times 2 \text{ cm}^3$ หรือแม่พิมพ์ที่มีความเรียบเสมอกัน โดยจะทำการค่อยๆ เทน้ำกาวปริมาณ 500 ml ลงไปอย่างช้าๆ เพื่อที่จะได้ชิ้นงานที่เรียบไม่มีรอยหรือฟองอากาศเกิดขึ้น

2) จากนั้นนำไปประเหยตัวทำละลายออก โดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จนกว่าตัวทำละลายจะหมด จะได้ชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มอย่างสมบูรณ์

3) นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เป็น

Virgin PVC

4) วิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

ตอนที่ 2 การใช้งานในรูปแบบของการหลอมขึ้นรูป

1. การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ

วิธีการทดสอบ

• เตรียมอัตราส่วนผสมระหว่างเม็ดพลาสติก Virgin PVC กับ เทปวัต PVC/เส้นใยแก้ว ตามสูตรที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างเม็ดพลาสติก Virgin PVC กับ เทปวัต PVC/เส้นใยแก้ว

สารตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม (g)					
	Virgin PVC	Powder	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
เม็ดพลาสติก Virgin PVC	300	270	270	270	270	270
เทปวัต PVC/เส้นใยแก้ว	0	30	30	30	30	30

หมายเหตุ Powder คือ เทปวัต PVC/เส้นใยแก้วที่นำมาบด

- การเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานจะใช้หลักการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll-mill และการกดอัดด้วยเทคนิค Compression molding ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำการขึ้นรูปชิ้นงาน
- 2) นำส่วนผสมที่เตรียมไว้แต่ละสูตร มาทำการผสมด้วยเครื่อง Two-roll mill ที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 5-7 นาที
- 3) จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาตัดให้พอดีกับแม่แบบที่จะทำการกดอัดขึ้นรูป โดยกำหนดทิศทางที่ใช้ในการทดสอบเป็น Machine direction (MD) และ Transverse direction (TD)
- 4) แล้วทำการกดอัดขึ้นรูปด้วยเทคนิค Compression molding ที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 5 นาที และอุณหภูมิการเย็นตัว 18 °C เป็นเวลา 5 นาที
- 5) เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานเรียบร้อยแล้วให้นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ

- การทดสอบชิ้นงาน

- 1) การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)
การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [50] ซึ่งจะตัดชิ้นงานให้เป็นรูปดัมเบล (Dumbell) แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยสมบัติเชิงกลที่ต้องการศึกษา คือ Tensile strength, Young's Modulus และ Elongation at break และทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผล

- 2) การทดสอบความแข็งกด (Hardness)
การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240 [51] โดยหัวกดที่ใช้ในการทดสอบ คือ Shore D และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผล

2. การตรวจวัดสี

วิธีการทดสอบ

- 1) ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ 4 แบบ ดังต่อไปนี้
 - ตัวอย่างที่ 1 เม็ดพลาสติก Virgin PVC
 - ตัวอย่างที่ 2 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ทำการติสเกล
 - ตัวอย่างที่ 3 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ทำการติสเกล แล้วเช็ดสเกลออกด้วยตัวทำละลาย W150 ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีหมู่ฟังก์ชันของ Ketones และ Glycol ethers เป็นองค์ประกอบ
 - ตัวอย่างที่ 4 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ไม่ได้ทำการติสเกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) นำชิ้นงานทั้ง 4 แบบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปหรือให้ความร้อนใดๆ (Origin) ไปทำการตรวจวัดสีครั้งที่ 1 ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยทำการตรวจวัดสีชิ้นงานละ 3 ซ้ำ และเครื่องจะรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^*

3) เมื่อทำการตรวจวัดสีครั้งที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ให้นำชิ้นงานทั้ง 4 แบบ มาทำการผสมด้วยเครื่อง Two-roll-mill แล้วนำชิ้นงานแต่ละแบบไปทำการตรวจวัดสีครั้งที่ 2 (After compounding) ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยทำการตรวจวัดสีชิ้นงานละ 3 ซ้ำ และเครื่องจะรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^*

4) หลังจากนั้นให้นำชิ้นงานทั้ง 4 แบบไปทำการกดอัดด้วยเทคนิค Compression Molding แล้วนำไปทำการตรวจวัดสีครั้งที่ 3 (After compression) ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยทำการตรวจวัดสีชิ้นงานละ 3 ซ้ำ และเครื่องจะรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^*

5) นำผลการทดสอบที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการทดสอบ

ตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC

1. การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ

วิธีการทดสอบ

- กำหนดอัตราส่วนผสม ABS/PVC Ratios ดังต่อไปนี้

- ABS 100
- ABS 90/Virgin PVC 10
- ABS 80/Virgin PVC 20
- ABS 90/PVC Tape 3 mm 10
- ABS 80/PVC Tape 3 mm 20
- ABS 90/PVC Tape 5 mm 10
- ABS 80/PVC Tape 5 mm 20

- การเตรียมและทดสอบชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานจะใช้หลักการผสมด้วยเครื่อง Two-roll mill และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) นำเม็ดพลาสติก Virgin ABS มาทำการอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) จากนั้นนำมาผสมกับ เม็ดพลาสติก Virgin PVC, เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ด้วยเครื่อง Two-roll-mill

3) แล้วนำไปทำการบด เพื่อที่จะสามารถนำไปฉีดขึ้นรูปได้

4) หลังจากบดเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อดูค่า Tensile strength, Young's Modulus และ Elongation at break

5) นำไปทดสอบ Impact strength (Speed 3.4719 m/sec) ที่มาตรฐาน ASTM D - 256 [52] เพื่อดูความทนแรงกระแทกของชิ้นงาน

6) ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการทดสอบ

2. การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นงานที่เกิดจากการผสมขึ้นรูประหว่าง ABS และ PVC (Virgin PVC, เทปวัด PVC/เส้นใยแก้วขนาด 3 mm และ 5 mm) ที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM เพื่อดูโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและการกระจายตัวของเส้นใยแก้ว รวมถึงลักษณะการหลุดออกของเส้นใยแก้วว่ามีการหลุดออกเป็นอย่างไร ซึ่งตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบมีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง คือ

- ABS 90/Virgin PVC 10
- ABS 80/Virgin PVC 20
- ABS 90/PVC Tape 3 mm 10
- ABS 80/PVC Tape 3 mm 20
- ABS 90/PVC Tape 5 mm 10
- ABS 80/PVC Tape 5 mm 20

วิธีการทดสอบ

- 1) นำชิ้นงานทั้ง 6 แบบ มาทำรอยเพื่อที่จะได้นำไปหักได้ง่าย เนื่องจากว่าชิ้นงานมีความแข็งมาก
- 2) จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดไปแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 30-45 นาที ขณะแช่ในไนโตรเจนเหลวให้ทำการแยกชิ้นงานแต่ละสูตร เพื่อที่จะได้ไม่ปนกัน
- 3) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้นำชิ้นงานแต่ละแบบ มาทำการหักชิ้นงานให้มีพื้นผิวเรียบที่สุด เพื่อที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ได้
- 4) นำชิ้นงานที่หักเรียบร้อยแล้วไปทำการเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำไปส่องกล้องเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM
- 5) นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด

4.1.1 การทดสอบหาชนิดของตัวทำละลายและขนาดที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อนำมาสกัดแยกเส้นใยแก้วออกจาก PVC แล้วใช้ประโยชน์เป็นน้ำกาว PVC (PVC paste) หรือพลาสติกซอล (Plastisol) ซึ่งสามารถเทหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ PVC (Castable PVC products) รวมทั้งได้เส้นใยแก้วที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต โดยตัวทำละลายที่ใช้จะพิจารณาจาก

- ความสามารถในการละลาย โดยดูจากค่าการละลาย (Solubility parameter)
- มีราคาไม่แพงและหาง่าย
- มีความเป็นพิษต่ำ และแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ดี

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า PVC สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย Dimethyl formamide, Tetrahydrofuran (THF) และ Cyclohexanone (CHN) [17] สำหรับงานวิจัยนี้ ตัวทำละลายที่นำมาทดสอบคือ Cyclohexanone (CHN) และ Tetrahydrofuran (THF) เนื่องจากว่า Dimethyl formamide มีความเป็นพิษและราคาแพงจึงไม่ได้นำมาใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบหาชนิดของตัวทำละลายโดยการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ขนาด 5 mm และ 20 mm มาทำการเปรียบเทียบการละลายระหว่างตัวทำละลายทั้งสองชนิด (รูปที่ 4.1) ซึ่งทำการทดสอบด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ได้น้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol) และเส้นใยแก้วแยกออกมา (รูปที่ 4.2) โดยจะรายงานผลในรูปของปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (ตารางที่ 4.1) และ % Yield ของเส้นใยแก้ว (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 การสกัด PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด ที่มีขนาด 5 mm (ภาพซ้าย) และ 20 mm (ภาพขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างน้ำกาวที่ได้จากการสกัด PVC (Plastisol) และเส้นใยแก้วหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (%)

ขนาดของเทปวัด (mm)	ปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (%)	
	Cyclohexanone	Tetrahydrofuran (THF)
5	36.0 ± 1.00	36.8 ± 4.8
20	28.9 ± 2.9	35.7 ± 3.7

ตารางที่ 4.2 % Yield ของเส้นใยแก้ว

ขนาดของเทปวัด (mm)	% Yield ของเส้นใยแก้ว	
	Cyclohexanone	Tetrahydrofuran (THF)
5	116.3 ± 3.2	118.8 ± 15.4
20	93.1 ± 9.3	115.5 ± 11.9

สำหรับส่วนที่เป็นน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol) จะนำมาทำการทดสอบหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ผลค่าความหนืดที่วัดได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 ค่าความหนืดของน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol)

ขนาดของเทปวัด (mm)	ค่าความหนืด (mPa.s)	
	Cyclohexanone	Tetrahydrofuran (THF)
5	33.0	14.0
20	51.5	15.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

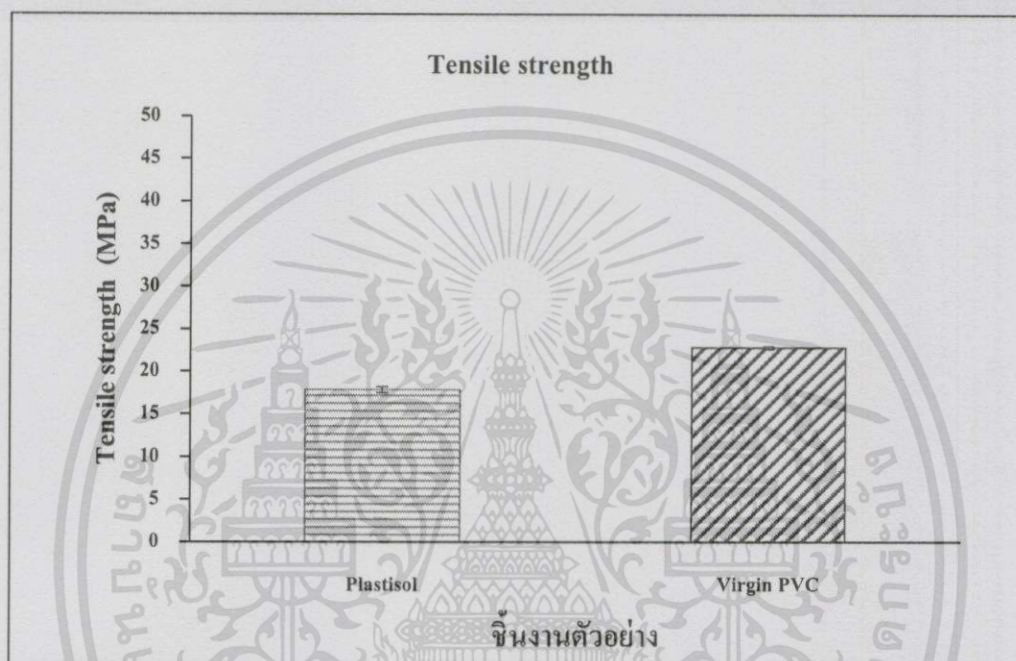
เมื่อทำการสกัดแยกเส้นใยแก้วออกจาก PVC ได้ค่า ปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (%), % Yield ของเส้นใยแก้ว และค่าความหนืดของน้ำกาวที่ได้จาก PVC ซึ่งมีความสัมพันธ์กันคือถ้ามีการละลายที่ดี ค่าความหนืดมาก และได้ค่า % Yield ที่สูง จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้นั้น มีปริมาณที่ไม่ค่อยแตกต่างกันเท่าไร และจากค่า % Yield ของเส้นใยแก้ว (ตารางที่ 4.2) จะเห็นว่า % Yield ที่ได้เกินร้อย เนื่องจากการกรองเส้นใยแก้วออกมาน้ำกาวที่ได้นั้น ทำได้ยากในการจะเอาเนื้อ PVC ออกได้หมด จึงทำให้เหลือเนื้อของ PVC ติดไปกับเส้นใยแก้วด้วย และเมื่อนำน้ำกาวที่ได้มาวัดค่าความหนืด (ตารางที่ 4.3) ความหนืดของน้ำกาวเมื่อใช้ THF เป็นตัวทำละลาย แม้ว่าชิ้นงานจะมีขนาดที่ต่างกันความหนืดที่ได้มีค่าไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อใช้ Cyclohexanone เป็นตัวทำละลาย พบว่าเทปวัดขนาด 20 mm มีค่าความหนืดมากกว่า 5 mm เนื่องมาจากว่า 5 mm มีขนาดเส้นใยที่สั้นกว่า อาจเกิดการเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนมากกว่า 20 mm ทำให้ละลายเนื้อ PVC ออกมาได้น้อยกว่า ความหนืดที่ได้จึงต่ำกว่า 20 mm และอาจเป็นไปได้ที่เทปวัดที่มีขนาด 5 mm นั้นมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า การที่จะละลาย PVC ออกมาให้หมด โดยที่เป็นตัวทำละลาย Cyclohexanone จะค่อนข้างยาก ซึ่งการละลายเนื้อ PVC ที่เทปวัดขนาด 20 mm จะดีกว่า เห็นได้จาก % Yield ของเส้นใยแก้ว ที่ออกมาไม่เกิน 100% (ตารางที่ 4.2) แสดงว่าโอกาสที่ PVC จะไปติดกับเส้นใยวามีน้อยกว่าเส้นใยสั้น จึงทำให้พอลิเมอร์ละลายออกมาได้ค่อนข้างเยอะ เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณตัวทำละลายที่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้เทปวัดขนาด 5 mm มีความหนืดของน้ำกาวน้อยกว่าเทปวัดขนาด 20 mm ที่ใช้ Cyclohexanone เป็นตัวทำละลาย

นอกจากนี้ในการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมระหว่าง THF และ Cyclohexanone โดยพิจารณาจากค่า Hansen solubility parameter values (ตารางที่ 2.2) พบว่า THF มีค่าใกล้เคียงกันกับ PVC มากกว่า Cyclohexanone โดย THF มีค่า $\delta_D = 16.8$, $\delta_P = 5.7$ และ $\delta_H = 8.0$ Cyclohexanone มีค่า $\delta_D = 8.7$, $\delta_P = 3.1$ และ $\delta_H = 2.5$ ส่วน PVC มีค่า $\delta_D = 17.6$, $\delta_P = 7.8$ และ $\delta_H = 3.4$ แต่เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อด้วยโปรแกรม HSPiP[®] พบว่า Cyclohexanone มีค่ารัศมีของวงกลม (RED) = 0.4 ขณะที่ THF มีค่า RED = 1.3 จากทฤษฎี ถ้าค่า RED มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่าตัวทำละลายนั้นเป็นตัวทำละลายที่ดี แต่ถ้าค่า RED มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ตัวทำละลายนั้นเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดี จึงสรุปได้ว่า Cyclohexanone เป็นตัวทำละลายที่ดีกว่า THF อีกทั้ง Cyclohexanone ยังมีราคาที่ถูกกว่า THF ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Cyclohexanone เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด

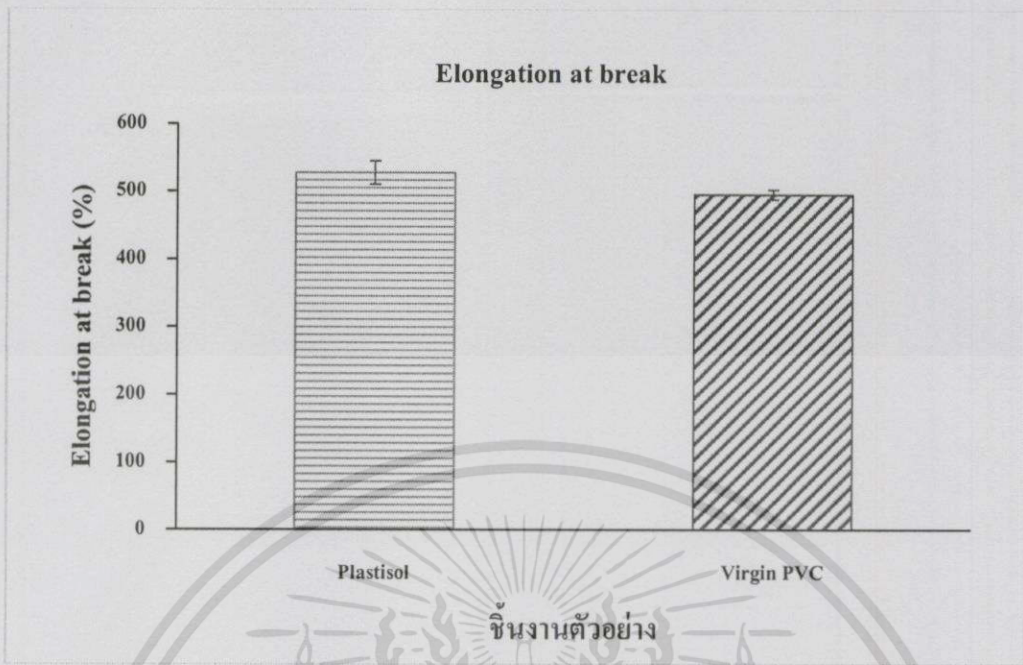
หมายเหตุ โปรแกรม HSPiP[®] เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการประมาณค่าการละลายของพอลิเมอร์ โดยใช้แบบจำลองบอกพฤติกรรมการละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายที่ดี ทำให้รู้ว่าตัวทำละลายที่เลือกใช้เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมหรือไม่

4.1.2 การใช้ประโยชน์จากน้ำกาวซึ่งสกัดได้จาก PVC (Plastisol)

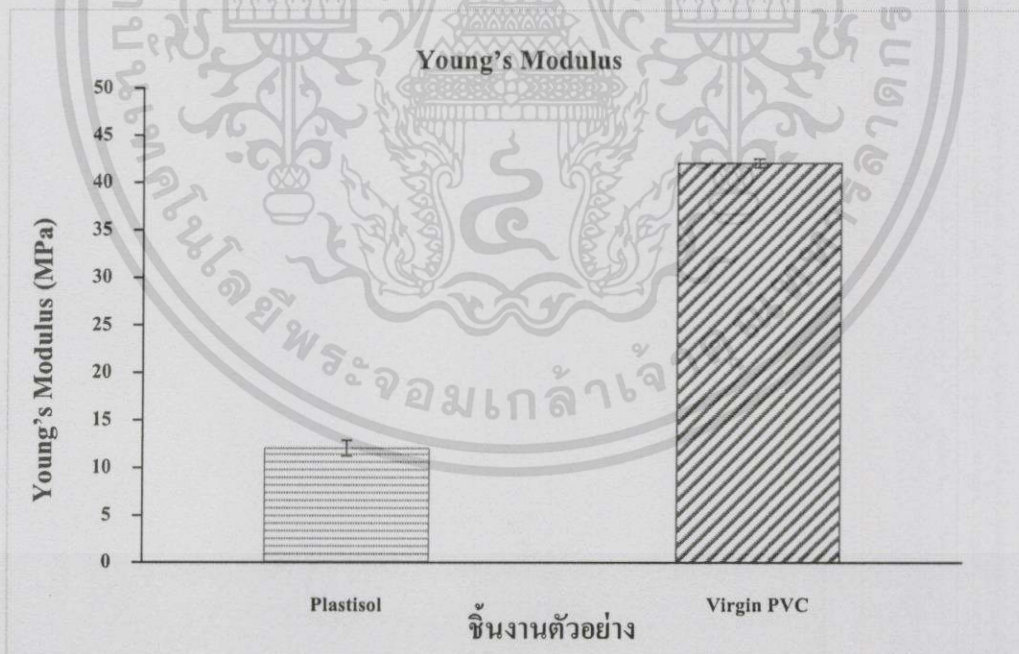
นอกจากนี้ น้ำกาว (Plastisol) ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อในรูปของการเทหล่อ คือการนำน้ำกาวที่ได้มาเทลงในแม่พิมพ์แล้วระเหยตัวทำละลายออก โดยการอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนกว่าตัวทำละลายจะระเหยหมด จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาตัดเป็นรูปคัมเบล เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับ Virgin PVC ดังกราฟ รูปที่ 4.3 ถึง 4.6



รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ Virgin PVC

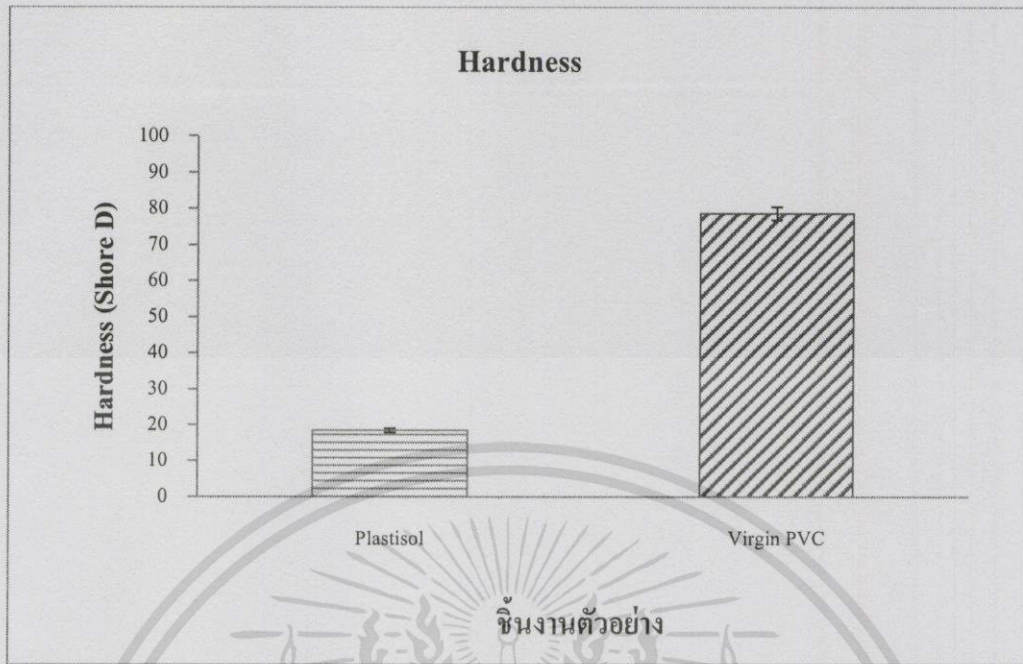


รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ Virgin PVC



รูปที่ 4.5 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ Virgin PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟผลการทดสอบ Hardness เปรียบเทียบระหว่างน้ำกาว (Plastisol) กับ Virgin PVC

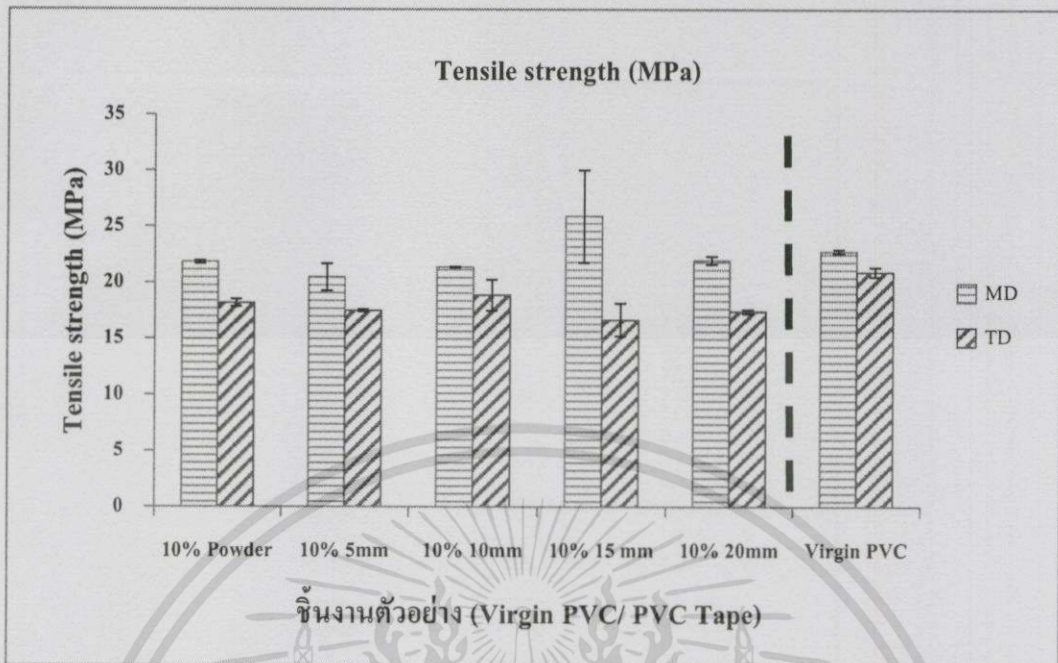
จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.6 สังเกตได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบชิ้นงาน Plastisol กับชิ้นงาน Virgin PVC พบว่า Plastisol ที่เตรียมจากน้ำกาวที่สกัดได้ จะมีค่า Young's Modulus, Tensile strength และ Hardness ที่ต่ำกว่า Virgin PVC เนื่องจาก PVC นั้นผ่านกระบวนการทางความร้อนมาด้วยกัน 2 รอบ ครั้งแรกคือ การขึ้นรูปเทปวัดด้วยเทคนิค Pultrusion และครั้งที่สองเป็นการผ่านความร้อนจากการที่อบเพื่อระเหยตัวทำละลาย จึงทำให้ PVC เกิดการเสียดสภาพบางส่วน ด้วยการที่ PVC ถูกตัดสายโซ่ จึงทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งสามารถนำ Plastisol ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ PVC สูตรอื่น เช่น งานรองแก้ว พวงกุญแจกระเบื้องยาง ฯลฯ

4.2 การใช้งานในรูปของการหลอมขึ้นรูปใหม่

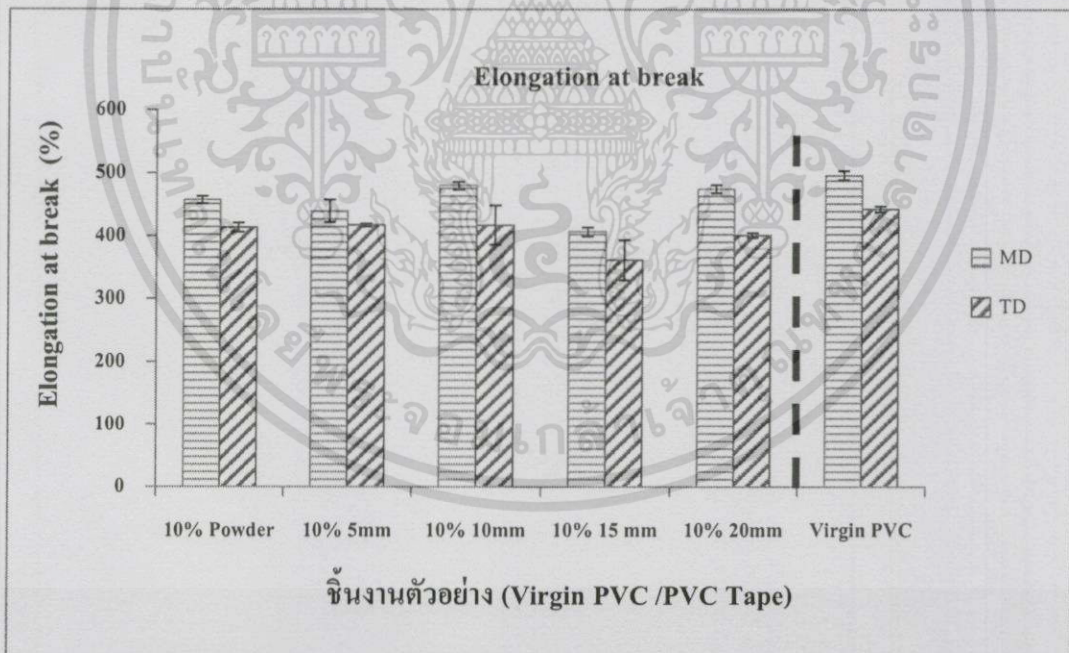
4.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ

สำหรับตอนนี้จะเป็นการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมาใช้ประโยชน์ต่อในด้านของการหลอมขึ้นรูปใหม่หรือที่เรียกว่ากระบวนการรีไซเคิล (Recycle) โดยการนำเทปวัดมาตัดด้วยมือให้มีขนาดต่างกัน คือ 5 mm, 10 mm, 15 mm และ 20 mm รวมไปถึงเทปวัดที่ผ่านการบดด้วยเครื่องจักรให้มีความละเอียด (PVC powder) ทำการผสมกับเม็ดพีวีซีใหม่ (Virgin PVC) ในสัดส่วน 10% โดยน้ำหนักเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติก Virgin PVC 100% ซึ่งมีการกำหนดทิศทางของชิ้นงาน คือ MD และ TD ซึ่งผลการทดสอบที่ได้แสดงตามกราฟรูปที่ 4.7 ถึง 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

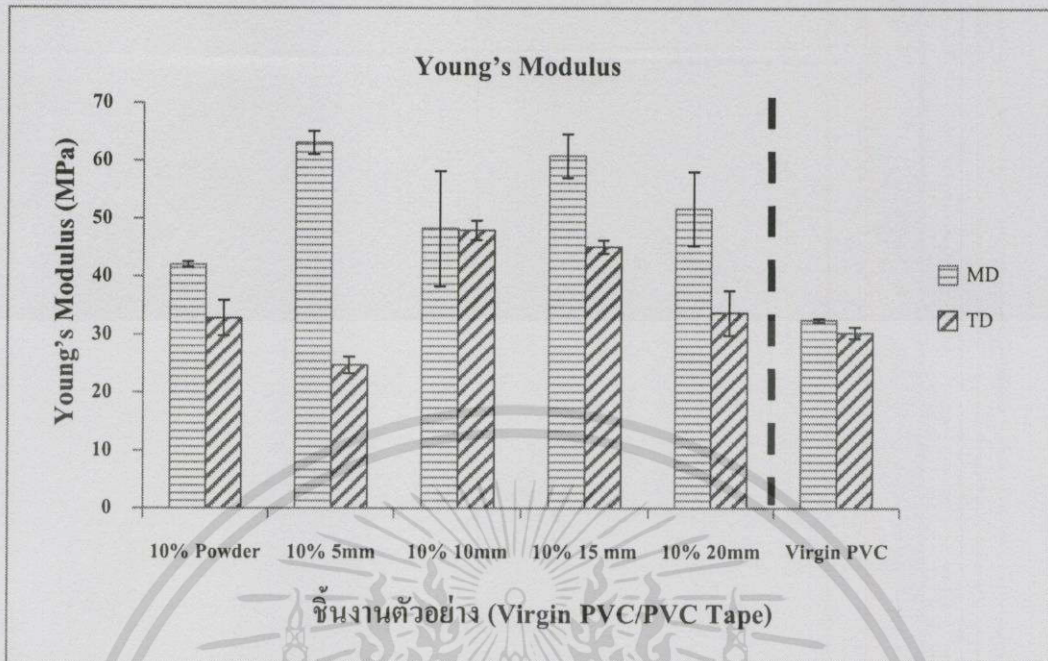


รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดสอบ Tensile Strength ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC

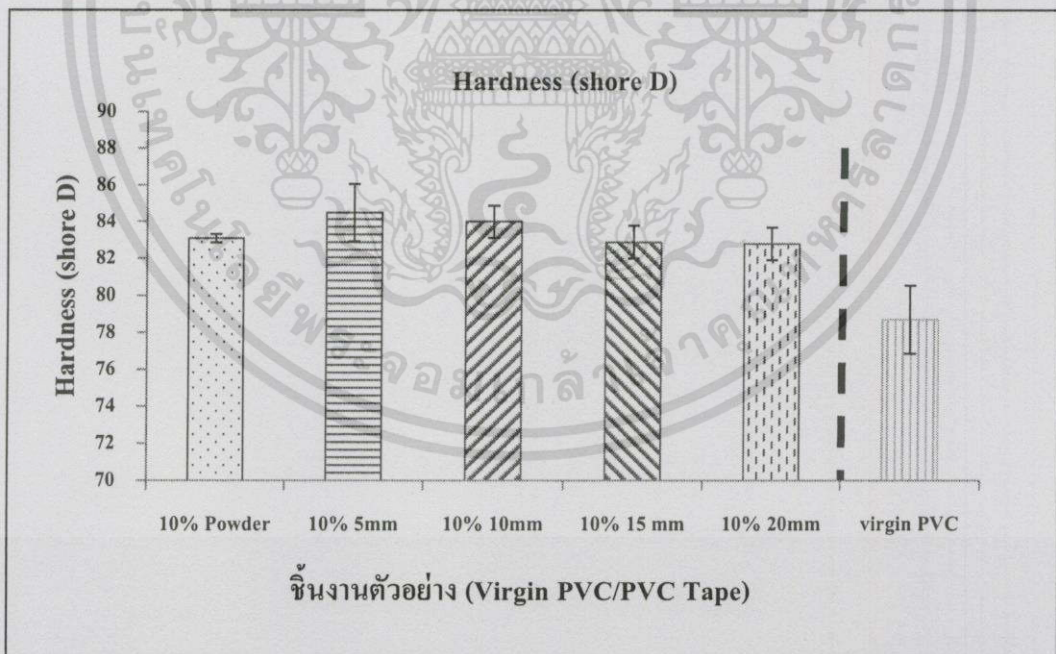


รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC



รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดสอบ Hardness (shore D) ของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Virgin PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่มีความยาวเพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีค่า Young's Modulus คีขึ้น ซึ่งทิศทาง MD จะมีความแข็งแรงมากกว่า TD เนื่องจากเส้นใยมีการจัดเรียงตัวตามแนวแรงส่วนใหญ่ เมื่อได้รับแรงดึงทำให้สามารถส่งผ่านแรงต่อไปได้ จึงทำให้ชิ้นงานที่เป็นทิศทาง MD แข็งแรงกว่า แต่ถ้าใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่มีความยาวมากเกินไป อาจทำให้เส้นใยพันกันและกระจายตัวได้ยาก เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เป็น Virgin PVC พบว่าชิ้นงานที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว มีค่า Tensile strength ที่ใกล้เคียงกับ Virgin PVC เพราะ PVC ที่มาจากเทปวัดเกิดการเสียดสีระหว่างผ่านกระบวนการขึ้นรูป แต่เนื่องจากการใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง ทำให้ชิ้นงานที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใย คงความแข็งแรงได้ใกล้เคียงกับ Virgin PVC แต่เส้นใยแก้วนี้จะเข้าไปแทรกในเนื้อ PVC ทำให้เกิดรอยต่อที่ไม่ต่อเนื่องระหว่างพื้นผิวของเส้นใยแก้วกับเนื้อ PVC เมื่อได้รับแรงกระทำ ชิ้นงานไม่สามารถรับแรงแล้วส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ชิ้นงานที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ขาดออกจากกันได้เร็วกว่า Virgin PVC (รูปที่ 4.8) และจากผลการทดสอบความแข็งกด (Hardness) (รูปที่ 4.10) พบว่าชิ้นงานที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ 10% (ซึ่งจะมีปริมาณเส้นใยแก้วสุทธิในเนื้อ PVC อยู่ประมาณ 3%) พบว่าเส้นใยแก้วจำนวนเล็กน้อยนี้สามารถที่จะทำให้ความแข็งกดนั้นเพิ่มขึ้น และมากกว่า Virgin PVC แต่เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว เหมือนกันค่าความแข็งกดนั้นจะไม่ค่อยแตกต่างกัน

4.2.2 การตรวจวัดสี

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการรีไซเคิล ได้มีการนำเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว มาทำการทดสอบ และขึ้นรูปชิ้นงาน โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน ซึ่งทำการศึกษาว่าการขึ้นรูปชิ้นงาน และหมักพิมพ์ที่ทำการตีสเกลลงบนเทปวัดนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานหรือไม่ จึงได้กำหนดชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวัดสีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.11)คือ

- ตัวอย่างที่ 1 เม็ดพลาสติก Virgin PVC
- ตัวอย่างที่ 2 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้วที่ทำการตีสเกล
- ตัวอย่างที่ 3 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้วที่ทำการตีสเกลแล้วเข็ดสเกลออกด้วยตัวทำ

ละลาย W 150

- ตัวอย่างที่ 4 เทปวัด PVC/เส้นใยแก้วที่ไม่ได้ทำการตีสเกล



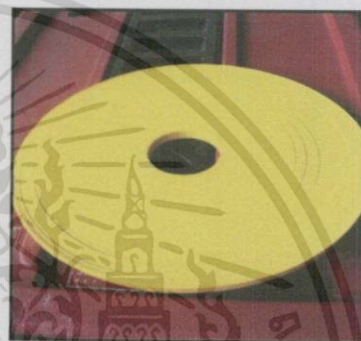
ตัวอย่างที่ 1



ตัวอย่างที่ 2



ตัวอย่างที่ 3



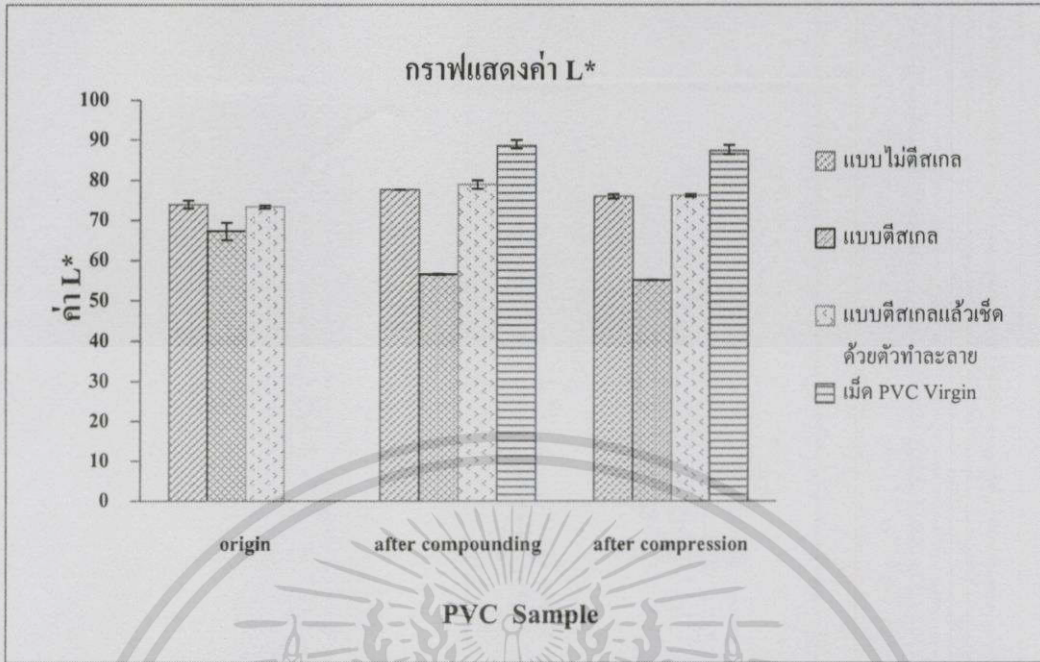
ตัวอย่างที่ 4

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบการวัดสี

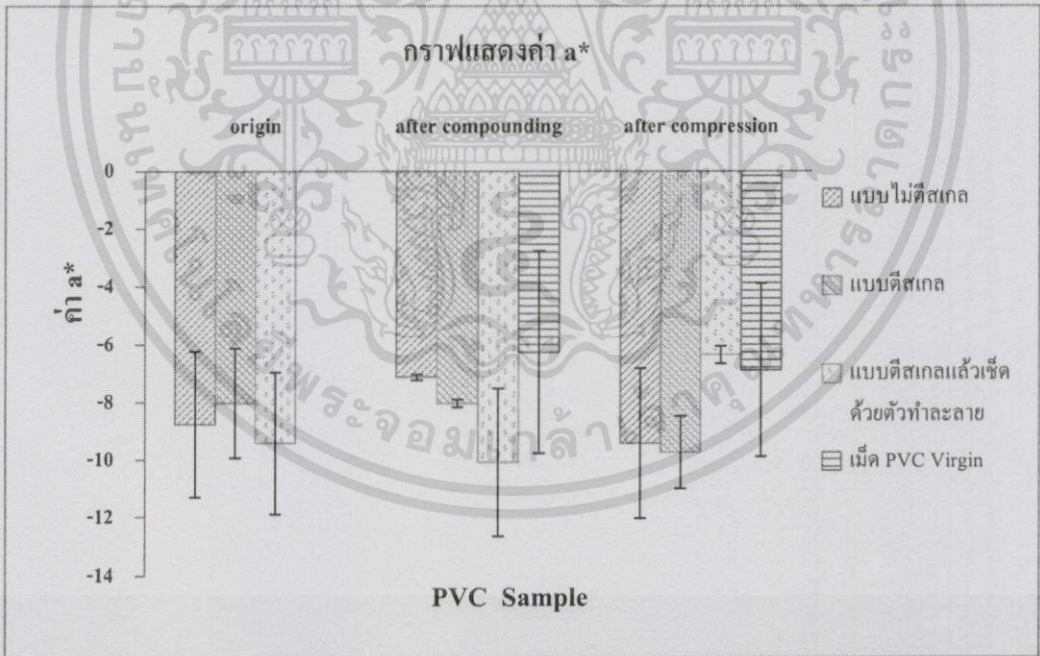
จากนั้นจะนำชิ้นงานทั้ง 4 แบบ ไปทำการทดสอบการตรวจวัดสีพร้อมกับนำไปขึ้นรูปชิ้นงานโดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยเครื่อง Two-roll-mill และกระบวนการกดอัดด้วยเทคนิค Compression Molding ซึ่งจะทำการตรวจวัดสีพร้อมดูการเปลี่ยนแปลงของสี แบ่งช่วงการทดสอบการตรวจวัดสีเป็น 3 ครั้ง คือ

- ครั้งที่ 1 ตอนเป็นชิ้นงานเริ่มต้นยังไม่ผ่านกระบวนการใดๆ (Origin)
- ครั้งที่ 2 หลังผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่อง Two-roll-mill (After compounding)
- ครั้งที่ 3 หลังผ่านกระบวนการกดอัดด้วยเทคนิค Compression molding (After compression)

ทุกๆ ครั้งที่ทำการตรวจวัดสี จะทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดสี และรายงานผลการตรวจวัดสีเป็นค่า L^* (ค่า 0 เป็นสีดำ ส่วนค่า 100 เป็นสีขาว), a^* (ค่าบวกเป็นสีแดง ส่วนค่าติดลบเป็นสีเขียว) และ b^* (ค่าบวกเป็นสีเหลือง ส่วนค่าติดลบเป็นสีน้ำเงิน)

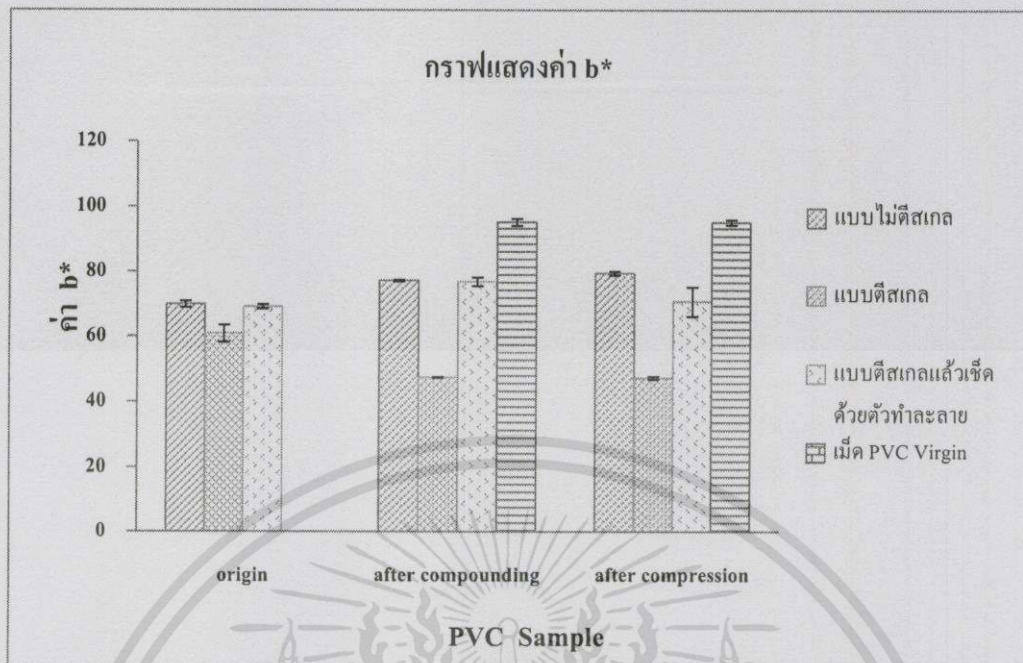


รูปที่ 4.12 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า L*



รูปที่ 4.13 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า a*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยค่า b*

จะเห็นได้ว่าเมื่อนำชิ้นงานทั้ง 4 แบบ มาทำการตรวจวัดสีทั้งหมด 3 ครั้ง คือตั้งแต่เป็นชิ้นงานเริ่มต้น หลังผ่านการผสมขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll-mill และกระบวนการกดอัดด้วยเทคนิค Compression molding พร้อมรายงานเป็นค่า L*, a* และ b* ในที่นี้จะรายงานค่า L* และ b* เป็นหลัก เนื่องจากกราฟรูปที่ 4.13 แสดงค่า a* มีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่าไร จากกราฟรูปที่ 4.12 แสดงค่า L* (แสดงค่าขาว-ดำ) และกราฟรูปที่ 4.14 แสดงค่า b* (แสดงค่าเหลือง-น้ำเงิน) เมื่อทำการเปรียบเทียบชิ้นงานแบบไม่ตีสเกลและแบบตีสเกลแล้วฉีดสเกลออกด้วยตัวทำละลายพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลาย (W150) ซึ่งเป็นตัวทำละลายจำพวก Ketones, Glycol ether และ Aromatic ที่ใช้ในการฉีดสเกลมีประสิทธิภาพในการฉีดหมึกพิมพ์ออก ทำให้ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่จะเห็นได้ว่าชิ้นงานแบบตีสเกลจะมีค่า L* และ b* ลดลงและเป็นค่าที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ เนื่องจากว่าชิ้นงานแบบตีสเกลเป็นชิ้นงานที่มีสีค่าของหมึกพิมพ์ที่ทำการตีสเกลปนอยู่ จึงเป็นสาเหตุให้มีค่า L* และ b* น้อยที่สุดในทางตรงกันข้ามเมื่อนำชิ้นงานทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับแบบ Virgin PVC พบว่า แบบ Virgin PVC มีค่า L* มากที่สุด เนื่องจากชิ้นงานแบบอื่นๆ ที่เป็นวัสดุรีไซเคิล เมื่อนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ PVC อาจเกิดการเสียสภาพได้ มีผลทำให้ค่า L* ที่ได้มีค่าน้อยกว่า Virgin PVC นั่นเอง

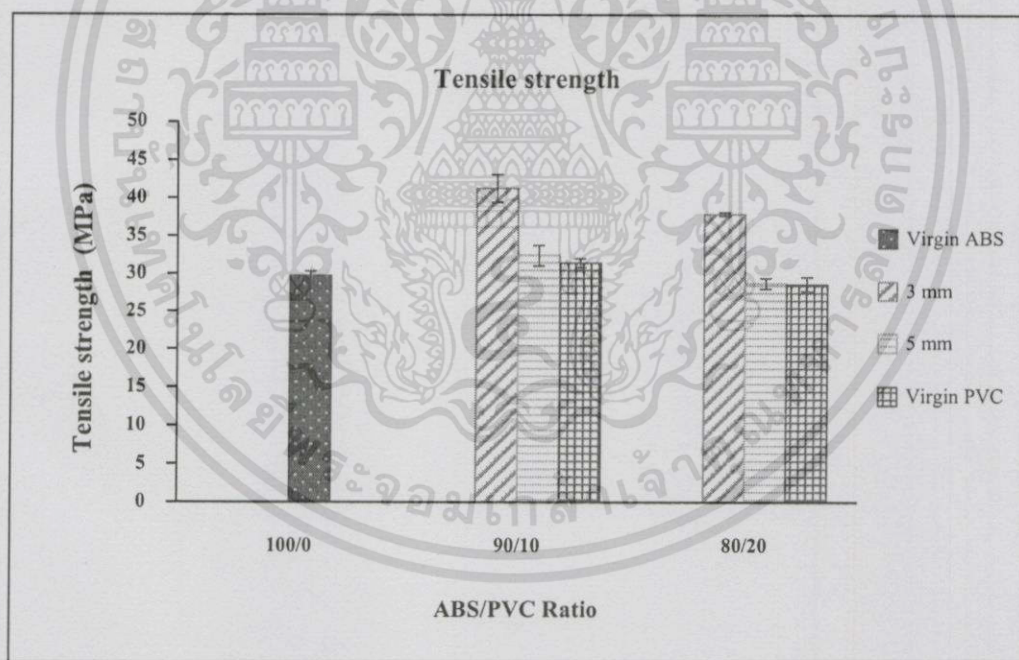
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลและการวัดสีสามารถกล่าวได้ว่า การผสมเศษเทปวัด PVC/เส้นใยแก้วตัดสั้น สามารถเสริมแรงให้กับชิ้นงาน PVC ทำให้ได้ชิ้นงานคงความแข็งแรงได้ แต่การใช้เศษเทปวัดที่ตีสเกลอาจทำให้สีของวัสดุเปลี่ยนไปเล็กน้อย อาจส่งผลต่อความสวยงามของ

ผลิตภัณฑ์ ถ้าต้องการให้สีไม่เปลี่ยนแปลง อาจต้องทำการใช้ตัวทำละลายลบสเกลออก หรือเลือกใช้ เฉพาะเศษเทปวัดที่ยังไม่ได้ตีสเกล

4.3 การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC

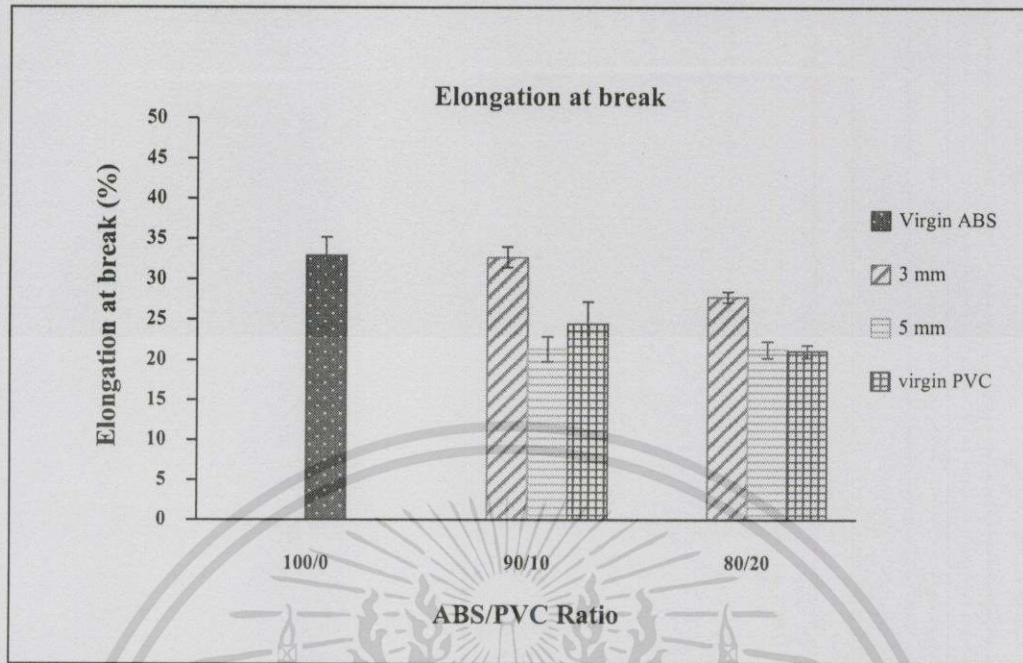
4.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ

PVC เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และนำไปผสมกับวัสดุ อื่นๆ ได้หลายชนิด เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุนั้นๆ ให้ตรงกับการใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็น การนำ ABS มาผสมกับ PVC เนื่องจากว่าพอลิเมอร์ทั้งสองตัวนี้ (PVC และ ABS) นิยมใช้ในงาน อุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่างๆ แต่ ABS เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงมาก มีสมบัติทนต่อแรง กระแทกสูง จึงได้นำ PVC มาเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงสมบัติของ ABS ให้มีสมบัติที่รับแรง กระแทกได้มากขึ้นและทนสารเคมีได้ดีขึ้น โดยการนำเม็ดพลาสติก Virgin ABS มาผสมกับ PVC ที่ เป็นทั้งแบบเม็ดพลาสติก Virgin PVC และเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่ความยาว 3 mm และ 5 mm ตามอัตราส่วน ABS/PVC ที่กำหนดไว้

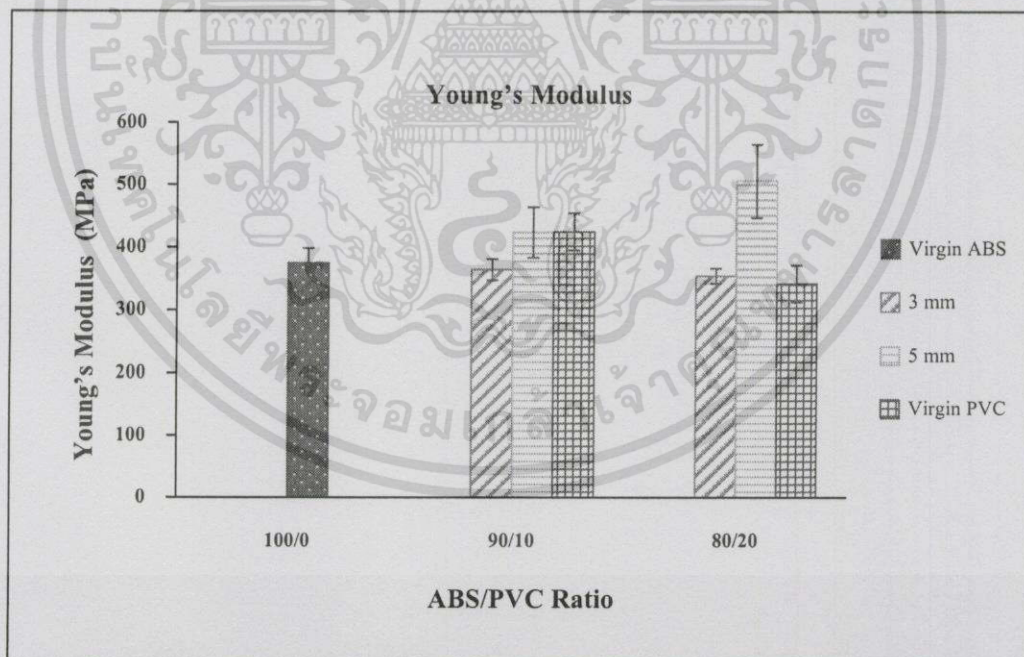


รูปที่ 4.15 กราฟผลการทดสอบ Tensile strength ของ ABS/PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

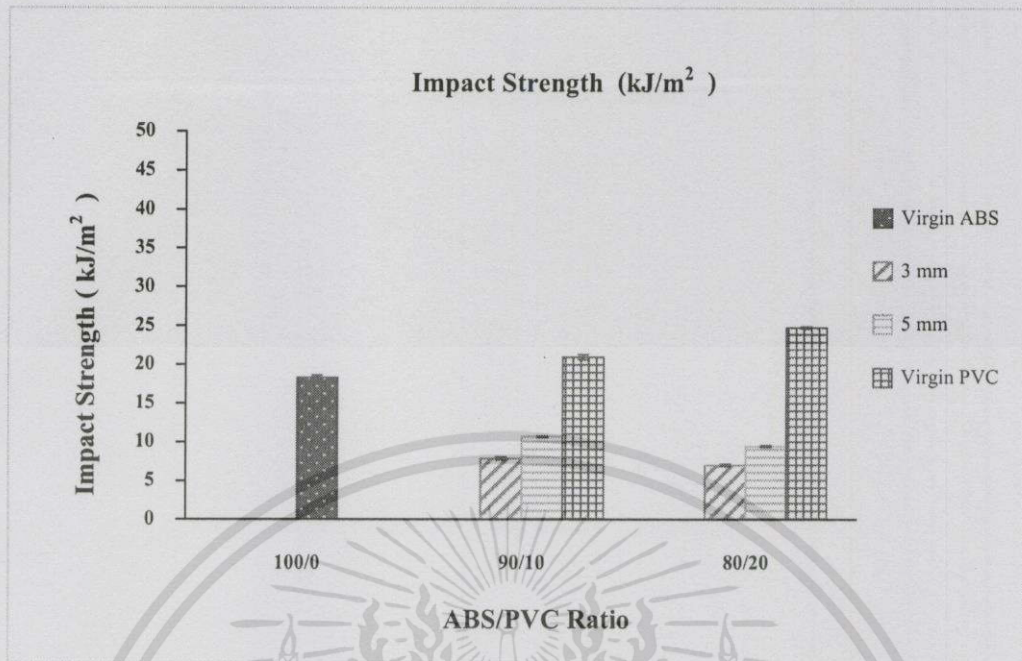


รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดสอบ Elongation at break ของ ABS/PVC



รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดสอบ Young's Modulus ของ ABS/PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



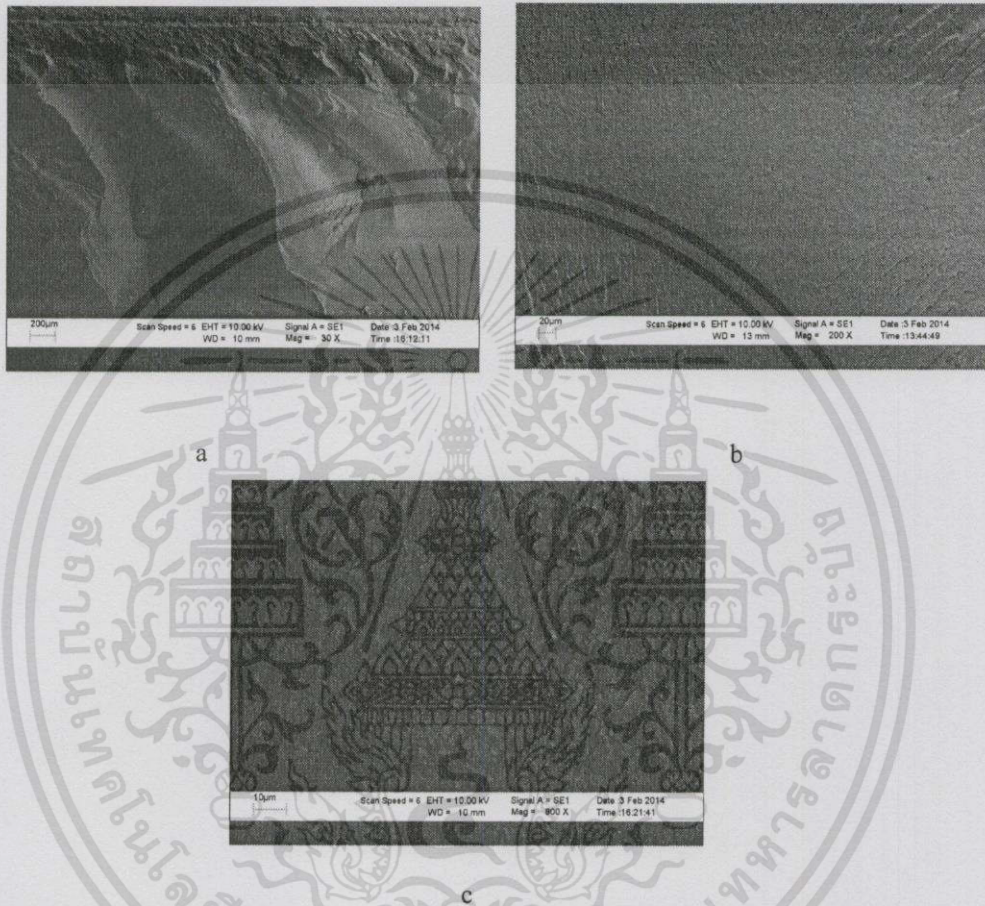
รูปที่ 4.18 กราฟผลการทดสอบ Impact strength ของ ABS/PVC

จากกราฟ (รูปที่ 4.15-4.17) สังเกตเห็นได้ว่า ABS สามารถปรับปรุงสมบัติได้ด้วย PVC เพื่อให้สมบัติดีขึ้นโดยใช้เศษเหลือของเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว มาตัดให้ได้ขนาด 3 mm และ 5 mm จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น เมื่อทำการใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว เพราะเส้นใยแก้วจะทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง ซึ่งเทปวัดขนาด 3 mm จะมีความแข็งแรงมากกว่า 5 mm อาจเป็นเพราะเส้นใยแก้วที่ 3 mm อาจจะสามารถจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักรได้ดีกว่า เมื่อได้รับแรงดึงขึ้นงานจึงทนต่อแรงดึงได้ดีกว่า แต่ถ้าใส่ปริมาณของเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Tensile strength ลดลง เนื่องจาก PVC เกิดการเสียดสีระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ส่วนการใส่ Virgin PVC ไม่ได้ทำให้ความทนแรงดึงของชิ้นงานแตกต่างจาก Virgin ABS และการที่เส้นใยยึดติดกับเนื้อพอลิเมอร์ไม่ดีนั้น อาจเป็นผลทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกันได้ง่ายกว่า Virgin PVC (รูปที่ 4.16)

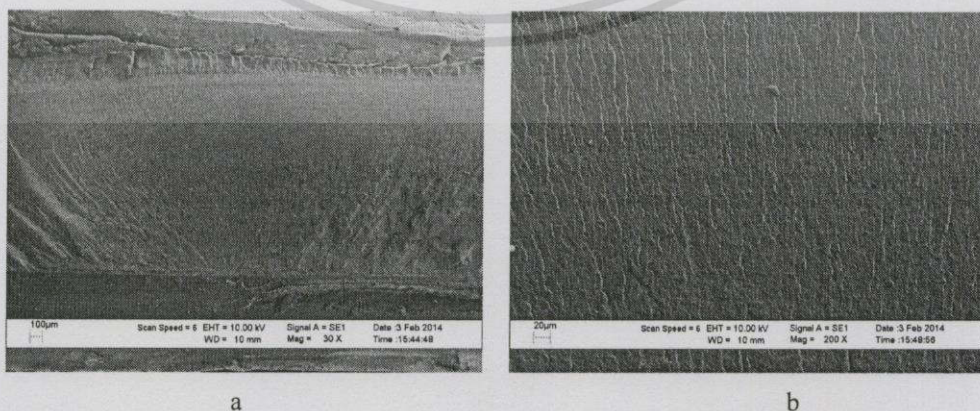
เมื่อพิจารณาจากสมบัติความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) ซึ่งสังเกตจากกราฟ รูปที่ 4.18 พบว่าการใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ทำให้ชิ้นงานมีความทนต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยแก้วแทรกอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ อาจเกิดรอยต่อที่ไม่ต่อเนื่องระหว่างผิวของเส้นใยแก้วกับเนื้อพอลิเมอร์ ทำให้เกิดเป็นรอยตำหนิในชิ้นงาน เมื่อได้รับแรงกระแทกจึงเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่า Virgin ABS โดยที่ 3 mm ทนต่อแรงกระแทกได้น้อยกว่า 5 mm อาจเป็นเพราะเส้นใยแก้วนั้นสั้นกว่า การส่งผ่านแรงที่ได้รับจึงน้อยกว่า แต่ถ้าใส่ Virgin PVC ชิ้นงานนั้นจะสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าชิ้นงานที่ใส่ Virgin ABS และที่ใส่เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว

4.3.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

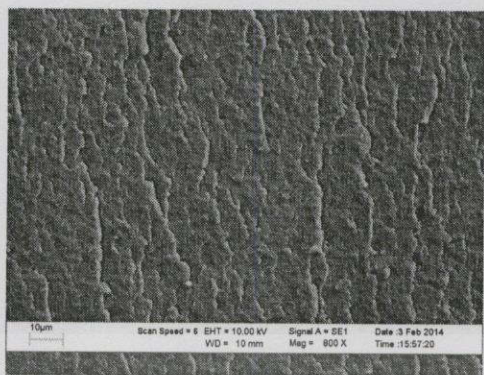
สำหรับวัสดุที่นำมาทำการทดสอบนั้นเป็นวัสดุที่มีเส้นใยแก้วเป็นส่วนประกอบ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาสัณฐานวิทยา เพื่อศึกษาการกระจายตัวและการยึดเกาะของเส้นใยแก้วในเนื้อ ABS และ PVC โดยนำมาส่องด้วยกล้อง SEM ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.24



รูปที่ 4.19 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/Virgin PVC (90:10) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า, (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



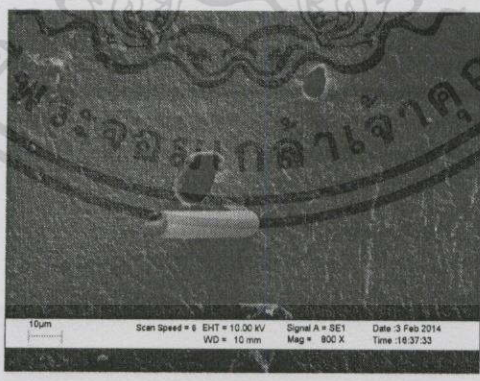
c

รูปที่ 4.20 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/Virgin PVC (80:20) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า, (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า



a

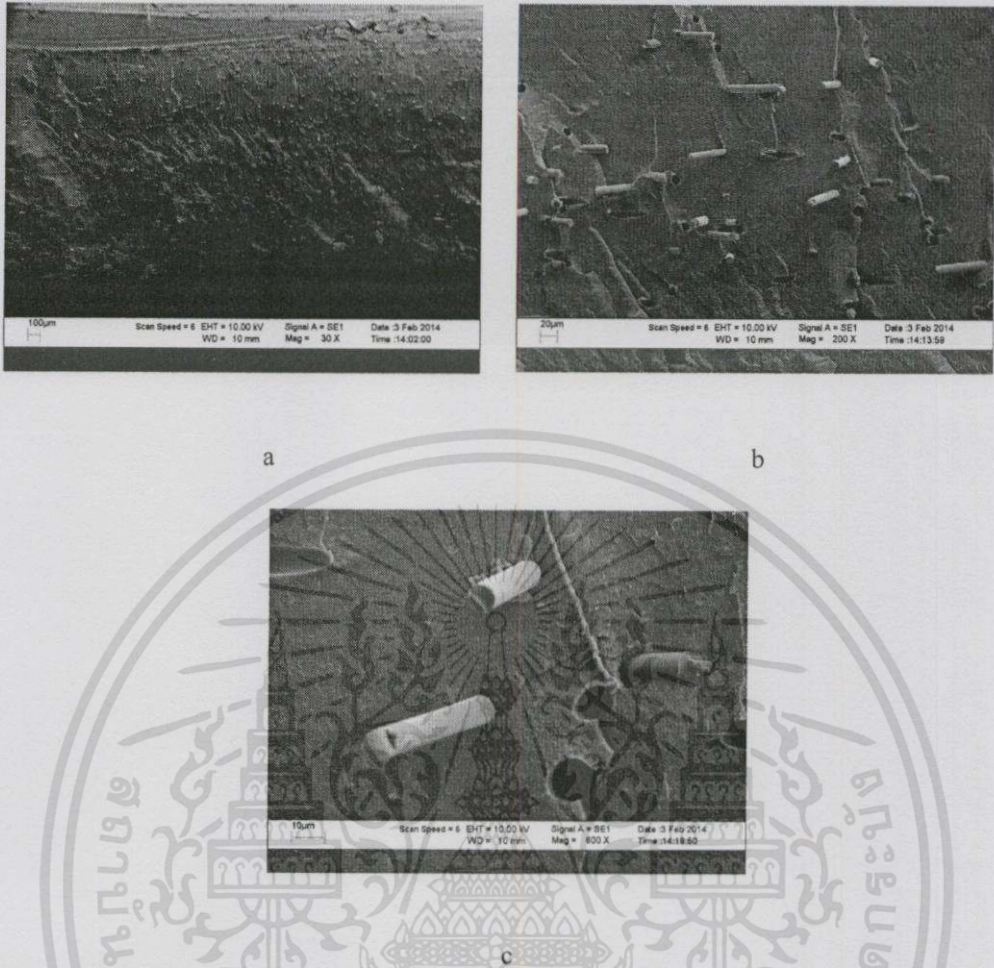
b



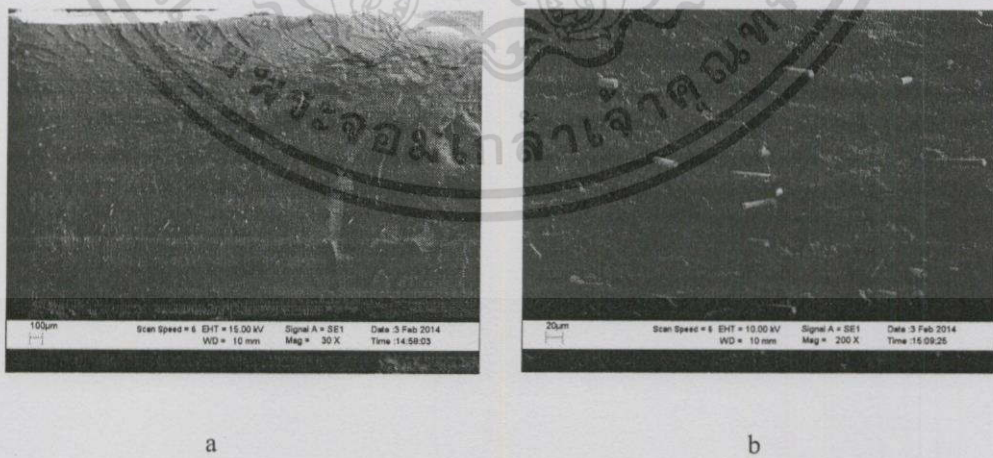
c

รูปที่ 4.21 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/PVC fiber glass 3 mm (90:10) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า, (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า

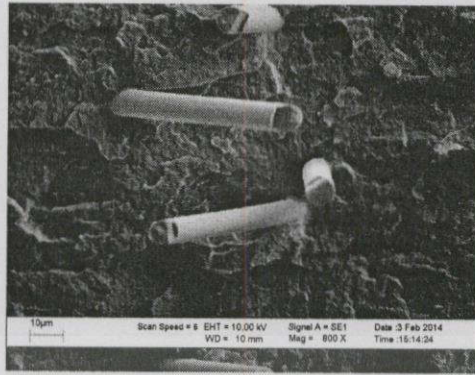
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/PVC fiber glass 3 mm (80:20) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า, (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



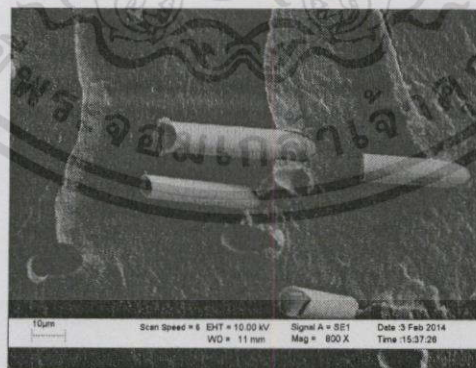
c

รูปที่ 4.23 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/fiber glass 5 mm (80:20) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า



a

b



c

รูปที่ 4.24 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ ABS/PVC fiber glass 5 mm (80:20) ที่กำลังขยาย (a) 30 เท่า (b) 200 เท่า และ (c) 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 30, 200 และ 800 เท่า ที่กำลังขยายต่ำ จะเป็นการศึกษาดูการกระจายตัวของเส้นใยแก้ว เมื่อคุณลักษณะของเส้นใยแก้วที่กระจายตัวอยู่ พบว่าเส้นใยแก้วสามารถที่จะกระจายตัวได้ทั่วชิ้นงานไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนที่กำลังขยายสูงขึ้น จะสังเกตเห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยแก้วได้ชัดเจนมากขึ้น และที่กำลังขยายสูงสุด จะเป็นการดูลักษณะการหลุดออกของเส้นใยแก้ว พบว่า เส้นใยแก้วมีลักษณะการหลุดออกแบบผิวเรียบไม่มีเนื้อพอลิเมอร์หลุดติดออกมากับเส้นใย ซึ่งรูที่เห็นในภาพคือ รูที่เส้นใยแก้วเคยอยู่ แสดงว่าเส้นใยแก้วยึดเกาะไม่ดีกับพอลิเมอร์เป็นการหลุดออกแบบ Adhesive failure



สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลเศษขยะจาก PVC/เส้นใยแก้ว เพื่อเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าของเศษขยะพีวีซี ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทั้งหมด 3 ตอน คือ ตอนแรกศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมมาสกัดเส้นใยแก้วออกจากพีวีซีเพื่อนำสิ่งที่สกัดได้แต่ละส่วน ได้แก่ เส้นใยแก้ว และน้ำกาวพีวีซี (Plastisol) มาใช้ประโยชน์ ตอนที่สองเป็นการใช้งานในรูปของการหลอมขึ้นรูปใหม่ โดยนำเทปวัดพีวีซีมาหลอมและขึ้นรูปชิ้นงาน สุดท้ายคือตอนที่สามเป็นการปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 การศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายแยก PVC และเส้นใยแก้วออกจากเทปวัด

จากการสกัดเทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ Cyclohexanone และ Tetrahydrofuran (THF) จากค่า Hansen solubility parameter values พบว่า Cyclohexanone เป็นตัวทำละลายที่ดีกว่าและมีราคาถูกกว่า THF จึงเลือกใช้ Cyclohexanone เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแยกเส้นใยแก้ว และน้ำกาว (Plastisol) ออกมา โดยเทปวัดที่มีขนาดเล็กจะละลายได้ยาก เนื่องจากว่ามีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ส่วนน้ำกาวที่ได้จากการสกัดนั้น นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่ามีสมบัติที่ดี และเหนียว

5.2 การใช้งานในรูปของการหลอมขึ้นรูปใหม่

การหลอมขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้เทปวัด PVC/เส้นใยแก้ว ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเม็ด PVC ใหม่ (Virgin PVC) พบว่าถันทะปวัดมีความยาวเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่า Young's Modulus และ Hardness ดีขึ้น แต่ Tensile strength และ Elongation at break มีค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การหลอมขึ้นรูปอาจส่งผลให้สีของชิ้นงานเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากการเสียดสภาพของพีวีซี (Degradation) และสีของสเกล แต่สามารถลดความเข้มของสีได้โดยการเช็ดสีของสเกลด้วยตัวทำละลาย

5.3 การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC

การปรับปรุงสมบัติของ ABS ด้วย PVC พบว่าสามารถปรับปรุงสมบัติได้ โดยผสมกับเทป วัต PVC/เส้นใยแก้ว ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเส้นใยแก้วทำหน้าที่เป็นตัว เสริมแรง จึงทนต่อแรงดึงได้เพิ่มขึ้น แต่การที่มีเทปวัต PVC/เส้นใยแก้ว จะทำให้ Impact strength ลดลง การผสมกับ Virgin PVC จะทำให้ชิ้นงานทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาทาง สัณฐานวิทยา (Morphology) จะเห็นได้ว่าเส้นใยแก้วสามารถกระจายตัวได้ทั่วทั้งชิ้นงาน และเส้นใย แก้วมีการหลุดออกแบบ Adhesive failure

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการนำพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ มาปรับปรุงสมบัติของ ABS เช่น การนำ Polycarbonate (PC) ไปปรับปรุงสมบัติของ ABS เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น และ Impact strength ให้กับ ABS
2. ทดสอบความสามารถในการทนต่อน้ำมันและสารเคมีของวัสดุผสม ABS ด้วย PVC เพิ่มเติมเพื่อดูว่า ABS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVC จะสามารถทนต่อน้ำมันและสารเคมีได้เพิ่มขึ้น หรือไม่
3. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำกาว (Plastisol) โดยการนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น พวงกุญแจ ถาดรองแก้ว เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ธุรกิจอุตสาหกรรม. “การรีไซเคิลขยะวัสดุพลาสติก”. [Online]. Available : <http://yongrecycle.blogspot.com/2012/10/smes.html>. 2556.
- [2] ประชาไท. “พีวีซี สารพิษแปลงโฉม”. [Online]. Available : <http://prachatai.com/journal/2004/12/1531>. 2556.
- [3] บริษัท ไทยมังกร พลาสติก อุตสาหกรรม จำกัด. “สัญลักษณ์รีไซเคิล”. [Online]. Available : <http://www.เม็ดพลาสติก.net/สัญลักษณ์พลาสติก/>. 2556
- [4] วิกิพีเดีย. “รีไซเคิล”. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/รีไซเคิล>. 2556.
- [5] ภูมิพัฒน์ รัตนตรีเจริญ. “พลาสติก 7 ประเภท”. [Online]. Available : [http://www.stou.ac.th/study/sumrit/1-56\(500\)/page 4-I-56\(500\).html](http://www.stou.ac.th/study/sumrit/1-56(500)/page%204-I-56(500).html). 2556.
- [6] สุภาสินี ลิ้มปานานภาพ. “คอมโพสิต”. [Online]. Available : <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter10.pdf>. 2556.
- [7] วิกิพีเดีย. “พลาสติก”. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/พลาสติก>. 2556.
- [8] พรรรัตน์ เพชรภักดี. “พลังงานทางเลือก”. [Online]. Available : http://bangkoktiretrading.blogspot.com/2012/08/blog-post_7863.html. 2556.
- [9] L. DiMugno. “มารู้จักสัญลักษณ์รีไซเคิลขยะกันเถอะ”. [Online]. Available : <http://www.mnn.com/lifestyle/recycling/stories/recycling-symbols-decoded>. 2556.
- [10] อรสา อ่อนจันทร์. “การนำมาใช้ใหม่ของพลาสติก (Recycle)”. [Online]. Available : <http://www.thaibizcenter.com/knowledgecenter.asp?kid=5920>. 2556.
- [11] J. Leadbitter. “PVC and sustainability”. Progress in Polymer Science, Vol. 27 (2002) : pp 2197- 2226.
- [12] วิกิพีเดีย. “รีไซเคิล”. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/พอลิไวนิลคลอไรด์>. 2556.
- [13] Wall Stickers Korea. “คุณสมบัติของสาร PVC”. [Online]. Available : <http://www.wallstickerkorea.net/store/article/view-th.html>. 2556.
- [14] T. Buakamsri. “มายาภาพของการรีไซเคิลพีวีซี”. [Online]. Available : <http://taragraphies.org/2011/02/02/myth-pvc-recycling>. 2556.
- [15] คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. “การสกัดด้วยตัวทำละลาย”. [Online]. Available: http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter8.pdf. 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] สุวัฒนา คั่นน. “การสกัดด้วยตัวทำละลาย”. [Online]. Available :
<http://www.suwattana.net/separation/page8.html>. 2556.
- [17] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. “การวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ชนิดของพอลิเมอร์”. [Online]. Available :
[http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656%20Chapter%201%20Polymer%](http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656%20Chapter%201%20Polymer%20). 2556.
- [18] วิกิพีเดีย. “Solvent”. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/solvent>. 2556.
- [19] ปรีชา พหลเทพ. “เรียนพอลิเมอร์ไปทำไม”. [Online]. Available :
http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/s_muangpil.pdf. 2556.
- [20] M. Mathew. “Compatibility Studies of PS/EIBR, SAN/NBR & RBS/EIBR Binary Systems”. [Online]. Available :
http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/117/2/11_chapter3.pdf. 2013.
- [21] Siam Plast Industry Co., Ltd. “พีวีซีเหลว”. [Online]. Available :
http://www.siamplaste.co.th/pvc_plastisol.htm. 2556.
- [22] Polymer Coating Co., Ltd. “PVC เหลว (Plastisol)”. [Online]. Available :
<http://www.polymer-coating.com/th/product/th/plastisol.php>. 2557.
- [23] Siam Plast Industry Co., Ltd. “พีวีซีเหลว”. [Online]. Available :
<http://www.siamplaste.co.th/images/Handles&Logos.jpg>. 2557.
- [24] My memory. “พลาสติก ABS คืออะไร”. [Online]. Available :
<http://mymemomy.wordpress.com>. 2556.
- [25] หจก.จี.พี.พลาสติก. “พลาสติก ABS”. [Online]. Available :
http://www.gp-plast.com/product_images/174255522444-PreG_01abs_0n_sml.jpg. 2557.
- [26] วิกิพีเดีย. “Lego”. [Online]. Available :
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/32/Lego_Color_Bricks.jpg/220px-Lego_Color_Bricks.jpg. 2557.
- [27] Thai Fukuvu Co., Ltd. “ABS”. [Online]. Available :
<http://www.thaifukuvi.com/Extrude/Pages/ABS.aspx>. 2556.
- [28] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิช. “รู้จักกับ ABS”. [Online]. Available :
<http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/77/cool51-02.jpg>. 2557.
- [29] J.A. Brydson. “ABS Blend PVC”. Plastic materials, Sixth edition (1995). Oxford :
 Butterworth-Heinemann Ltd. page 431.

- [30] วัชรินทร์ มีเครือรอด. “การออกแบบฝาปิดท่อระบายน้ำจากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบด้วยเส้นใยแก้วโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์”. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [31] บริษัท โพลีไลน์ จำกัด. “ไฟเบอร์กลาส”. [Online]. Available :
<http://www.polyline2002.com/upload/images/Image/Product/1.jpg>. 2556.
- [32] บริษัท โพลีไลน์ จำกัด. “ไฟเบอร์กลาส”. [Online]. Available :
<http://www.polyline2002.com/upload/images/Image/Product/3-2.jpg>. 2556.
- [33] บริษัท โพลีไลน์ จำกัด. “ไฟเบอร์กลาส”. [Online]. Available :
<http://www.polyline2002.com/upload/images/Image/Product/4.jpg>. 2556.
- [34] ปรีชา อนุพงษ์อ้อจ. “สี”. [Online]. Available :
http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/62/light1/ligh_25.htm. 2556.
- [35] ปรีชา อนุพงษ์อ้อจ. “สีของวัตถุ”. [Online]. Available :
http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/62/light1/ligh_26.htm. 2556.
- [36] วิกิพีเดีย. “Munsell color system”. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system. 2557.
- [37] ปรีชา อนุพงษ์อ้อจ. “สีของวัตถุ”. [Online]. Available :
http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/62/light1/ligh_27.htm. 2556.
- [38] ศศิภา เต็กอวยพร. “การพัฒนาระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ”. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 2554.
- [39] Molecular expression. “Specular Reflection”. [Online]. Available :
<http://library.thinkquest.org/26162/fig4-1.gif>. 2014.
- [40] Light Measurement Handbook. “Diffuse Transmission”. [Online]. Available :
<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/reflection/specular/specularjavafigure1.jpg>. 2014.
- [41] สื่ออิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. “CIE”. [Online]. Available :
http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/ea341/lesson2/ch02_6.pdf. 2557
- [42] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. “การวัดสี”. [Online]. Available :
<http://www.sci.buu.ac.th/~food/www/img/doc/InstructionMediColorMeasurementFood.pdf>. 2556.

- [43] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. “Scanning Eletron Microscopy (SEM)”. [Online]. Available :
<http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/218-scanning-eletronmicroscopysem-.html>. 2556.
- [44] มานพ ตันตระบัณฑิตย์. “การเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM”. [Online]. Available :
<http://www.elecnet.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/sem/w5.1/5.1.html>. 2556.
- [45] M. Sadat-Shojai and G.-R. Bakhshande. “**Recycling of PVC wastes**”. Polymer Degradation and Stability, Vol. 96 (2011) : pp 404-415.
- [46] D. Braun. “**Recycling of PVC**”. Progress in Polymer Science, Vol.27 (2002) :
 pp 2171–2195.
- [47] ปาริชาติ ยศแก้ว, นายอภิสิทธิ์ โฉมิตชัยขงค์ และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. “ผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และผงไม้”. กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (กลุ่มวิจัย P-PROF) สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2554.
- [48] นริสา จันทร์ทอง และพัชรียา ตูมตั้ง. “การศึกษาการปรับสภาพผงขี้เลื่อยเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกพีวีซี”. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551.
- [49] D. Garcia, R. Balart, L. Sa´nchez and J. Lo´pez. “**Compatibility of Recycled PVC/ABS Blends. Effect of Previous Degradation**”. Polymer engineering and science, Vol.47 (2007) : pp 789-796.
- [50] ASTM INTERNATIONAL. “**Test Method For Tensile Properties**”. [Online]. Available :
<http://www.astm.org/search/fullsite-search.html>. 2014.
- [51] ASTM INTERNATIONAL. “**Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness**”. [Online]. Available : <http://www.astm.org/Standards/D2240.htm>. 2014.
- [52] ASTM INTERNATIONAL. “**ASTM D256-10 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**”. [Online]. Available :
<http://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=d%20256&>. 2014.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

0.3097 = ปริมาณเส้นใยแก้วทั้งหมด

0.6903 = ปริมาณเนื้อ PVC ทั้งหมด

$0.3097 \times 100 = 30.97\%$ → เปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วทั้งหมด

$\frac{\text{น้ำหนักสุดท้ายของเส้นใยแก้วที่แห้งแล้ว}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของสายวัด}} \times 100 = \text{ปริมาณเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (\%)}$

$\frac{\text{ปริมาณเส้นใยแก้วที่สกัดได้ (\%)}}{\text{ปริมาณเส้นใยแก้วทั้งหมด (\%)}} \times 100 = \% \text{ Yield ของเส้นใยแก้วที่สกัดได้}$

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของเส้นใยแก้วที่สกัดได้

$$\frac{7.85}{25.0013} \times 100 = 31.40\%$$

หมายเหตุ 7.85 = น้ำหนักของเส้นใยแก้วหลังอบแห้ง

25.0013 = น้ำหนักของสายวัดเริ่มต้นที่มีเส้นใยแก้วอยู่ด้วย

ตัวอย่างการคำนวณ % Yield ของเส้นใยแก้วที่สกัดได้

$$\frac{31.40}{30.97} \times 100 = 101.39\%$$