

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ

IMPROVEMENT OF IMPACT STRENGTH OF PVC SHEET BY USING NATURAL RUBBER



สุรพร กิตติสารวัฒน์
SURAPORN KITTISARAWANNO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาาสตร์(เคมี)
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 33332
วัน, เดือน, ปี - 2 ส.ค. 2542

ISBN 974-622-404-2

สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IMPROVEMENT OF IMPACT STRENGTH OF PVC SHEET
BY USING NATURAL RUBBER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION(CHEMISTRY)
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999



COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี โดยใช้ยางธรรมชาติ

นักศึกษา

นางสุรพร กิตติสารวัฒน์

รหัสประจำตัว

38063214

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

การศึกษาวิทยาศาสตร์

พ.ศ.

2542

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครรัตน์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ชวลิต แสงสวัสดิ์

ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ การปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี โดยใช้สารผสมระหว่างยางธรรมชาติในลักษณะของลาเท็กซ์ (Latex) กับสารเพิ่มเนื้อ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เพื่อเป็นสารปรับปรุงการรับแรงกระแทก (Impact modifier) งานวิจัยนี้จะทำการขึ้นรูปแผ่นพีวีซีที่มีการเติมสารเพิ่มเนื้อ CaCO_3 ที่มีการปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ ในอัตราส่วนต่าง ๆ (0-20 phr) โดยใช้ เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่ และ เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและการศึกษาผิวของแผ่นพีวีซี เปรียบเทียบระหว่างพีวีซีที่มีการปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุง จากการทดลอง พบว่า แผ่นพีวีซี (สูตรแข็ง) ที่ผสมยางธรรมชาติ 14% จะรับแรงกระแทกได้ดีที่สุด และมีการยึดตัวที่ดี แต่ความต้านทานแรงดึง ความแข็งที่ผิวและความหนาแน่นลดลง

จากการศึกษาผิวของแผ่นพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่า ลาเท็กซ์ ที่เติมลงไปไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับพีวีซี แต่มีการกระจายตัวที่อยู่ในพีวีซี

Thesis Title	Improvement of Impact Strength of PVC Sheet by Using Natural Rubber
Student	Mrs. Suraporn Kittisarawanno
Student ID.	38063214
Degree	Master of Science
Programme	Science Education
Year	1999
Thesis Advisor	Assist.Prof.Dr.Theerawat Mongkolaussavarat
Thesis Co-advisor	Mr.Chavalit Sangswasd Dr.Ittipol Jangchud

ABSTRACT

The objective of this research work is to improve impact strength of PVC sheets by using natural rubber (NR) as an impact modifier by mixing latex natural rubber with a filler, calcium carbonate (CaCO_3). In this research work, the PVC sheets were compounded by two roll mill and then shaped by compression molding machine. Mechanical testing and surface study of PVC sheet were then carried out. It was found that addition of 14% of latex to the rigid PVC compound showed the highest impact strength and good elongation whereas tensile strength, the hardness and the density had a trend to decrease.

The study on the surface of PVC sheets by using the Scanning Electron Microscope (SEM) found that the latex was not miscible to the PVC, however the latex had good dispersion in the PVC.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ชวลิต แสงสวัสดิ์ และ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาใช้เวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล ผศ.ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์ และอาจารย์อานวย ลากเกษมสุข ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ คุณอรุณ แซ่แต้ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (เคมี) รุ่น 3 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.นุชนาฏ ฦ ระนอง จากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่เอื้อเฟื้ออย่างธรรมชาติ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมอุตสาหกรรมพลาสติก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง บริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด บริษัทดีทีแอล จำกัด (มหาชน) บริษัทปูนคุณภาพ จำกัด และบริษัทศรีเทพไทยเคมี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อพีวีซี ตลอดจนงานสารเคมีเพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออินสนธิ และคุณแม่บัวเทพ เมธาเวศร์ ผู้ให้กำเนิด ให้ความรัก ให้การศึกษา และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดชีวิตของท่าน และท่านทั้งสองได้จากไปก่อนที่จะเห็นความสำเร็จของผู้วิจัย ขอขอบคุณอาจารย์บัญญัติ คุณนุชบาพร และ คุณนุชญ์ กิตติสารวัฒน์ ที่ให้โอกาสและเวลาที่ผู้วิจัยน่าจะดูแลเอาใจใส่ครอบครัว มาทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบบูชาพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนผู้วิจัยด้วยความเคารพยิ่ง

สุรพร กิตติสารวัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
1.5.1 ตัวแปรอิสระ.....	3
1.5.2 ตัวแปรตาม.....	3
1.6 คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์.....	5
2.1.1 การคอมปานด์พีวีซี.....	6
2.1.1.1 สเตบิไลเซอร์.....	6
2.1.1.2 สารหล่อลื่น.....	8
2.1.1.3 พลาสติไซเซอร์.....	9
2.1.1.4 สารรับแรงกระแทก.....	11
2.1.1.5 สารเพิ่มเนื้อ.....	14
2.1.1.6 โพรเซสซิง เอค.....	14
2.1.1.7 สารช่วยในการพองตัว.....	14
2.1.1.8 สี.....	14
2.1.1.9 วิธีการคอมปานด์.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 ยางธรรมชาติ.....	17
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้การทดลอง.....	25
3.2 การเตรียมพีวีซีคอมปานด์ การเตรียมชิ้นงานและทดสอบชิ้นงาน.....	25
3.2.1 การเตรียมพีวีซีคอมปานด์.....	25
3.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจากพีวีซีคอมปานด์.....	27
3.2.3 การทดสอบชิ้นงาน.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	32
4.1 ความต้านทานแรงกระแทก.....	33
4.2 ความต้านทานแรงดึง.....	34
4.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	35
4.4 ความแข็ง.....	36
4.5 ความหนาแน่น.....	37
4.6 ผลการทดสอบรวม.....	37
4.7 ผลการศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	40
5.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
5.1.3 ผลการวิจัย.....	40
5.1.3.1 ความต้านทานแรงกระแทก.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.3.2 ความต้านทานแรงดึง.....	40
5.1.3.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	40
5.1.3.4 ความแข็ง.....	41
5.1.3.5 ความหนาแน่น.....	41
5.1.3.6 การศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด.....	41
5.1.3.7 ความต้านทานแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี (สูตรนัม).....	41
5.2 การอภิปรายผล.....	41
5.2.1 ความต้านทานแรงกระแทก.....	41
5.2.2 ความต้านทานแรงดึง.....	42
5.2.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	42
5.2.5 ความแข็ง.....	42
5.2.6 ความหนาแน่น.....	42
5.2.7 การศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	42
5.2.8 ความต้านทานแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี (สูตรนัม).....	42
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	46
ภาคผนวก ก แสดงตารางทดสอบสมบัติเชิงกล 5 ประการ ของพีวีซีที่เติม Latex ในปริมาณต่าง ๆ กัน.....	47
ภาคผนวก ข แสดงการศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด.....	51
ภาคผนวก ค คำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและกรรมการพิจารณาหัวข้อ และเค้าโครงวิทยานิพนธ์.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสารรับแรงกระแทกที่ใช้ในการคอมเปานด์พีวีซี.....	13
3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลองและแหล่งที่มา.....	24
3.2 แสดงยี่ห้อและรุ่นของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.3 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบในการเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ (สูตรนุ่ม).....	27
3.4 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบในการเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ (สูตรแข็ง).....	27
4.1 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....	33
4.2 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง.....	34
4.3 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	35
4.4 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความแข็ง โดยใช้ Rockwell hardness tester.....	36
4.5 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่น.....	37
4.6 แสดงผลเฉลี่ยของการทดสอบสมบัติเชิงกล 5 ประการ.....	38
5.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพีวีซีที่ทดลองกับพีวีซีทั่วไป.....	43
6.1 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....	48
6.2 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง.....	48
6.3 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	49
6.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง โดยใช้ Rockwell hardness tester.....	49
6.5 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่น.....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพีวีซี.....	5
2.2 แสดงกระบวนการผลิตพีวีซี.....	6
2.3 กราฟตัวอย่างแสดงการหลอมเหลวของพีวีซีจากการตรวจสอบด้วย Brabender plasticorder.....	9
2.4 แสดงส่วนประกอบของสารรับแรงกระแทก.....	12
2.5 แสดงการกระจายของแรงโดยรอบสารรับแรงกระแทก.....	12
2.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ผสมแบบแห้ง.....	15
2.7 แสดงเครื่องผสมแบบเปียก.....	16
2.8 แสดงสูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	17
3.1 แสดงเครื่องผสมความเร็วสูง.....	26
3.2 แสดงเครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่.....	26
3.3 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน.....	29
3.4 แสดงลักษณะชิ้นงานสำหรับทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....	28
3.5 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกไอซอด.....	29
3.6 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	31
3.7 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell hardness tester.....	31
4.1 แสดงความต้านทานแรงกระแทกของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน.....	33
4.2 แสดงความต้านทานแรงดึงของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน.....	34
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน.....	35
4.4 แสดงความแข็งของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน.....	36
4.5 แสดงความหนาแน่นของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน.....	37
4.6 แสดงผิวพีวีซีที่ไม่เติม Latex.....	39
4.7 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 10%.....	39
4.8 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 14%.....	39
6.1 แสดงผิวพีวีซีที่ไม่เติม Latex.....	52
6.2 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 10%.....	53
6.3 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 14%.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ ประเทศไทยมีการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าในด้านอุตสาหกรรมควบคู่ไปกับการพัฒนาด้านเกษตรกรรมและด้านอื่น ๆ การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นต้องก้าวให้ทันกับเทคโนโลยีใหม่ที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วในยุคโลกไร้พรมแดน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการสูญเสียหรือความเสียหายหรือความผิดพลาดขึ้นอย่างน่าเสียดาย เนื่องจากผู้นำเทคโนโลยีไปใช้นั้นอาจไม่มีความรู้และความเข้าใจอย่างถ่องแท้ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตวัสดุสังเคราะห์ประเภทต่าง ๆ มากขึ้นเพื่อจะนำไปใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติที่นับวันจะขาดแคลนลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุประเภทพลาสติกก็เป็นวัสดุสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง ที่ได้เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมมากขึ้น และอาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทในการพัฒนาประเทศ และมีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกด้วย เป็นที่ทราบกันดีว่าพลาสติกมีมากมายหลายชนิด พลาสติกชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานอย่างแพร่หลายก็คือพีวีซี (Polyvinyl chloride) ซึ่งได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีสมบัติต่างๆ ที่หลากหลาย การใช้งานของพีวีซีส่วนมากแล้วจะมุ่งไปในการใช้งานทางด้านงานก่อสร้าง แต่พีวีซีก็ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการบรรจุหีบห่อได้อีกด้วย [1]

พีวีซีถือว่าเป็นวัสดุที่มีส่วนร่วมอนุรักษ์ธรรมชาติ เนื่องจากพีวีซีเป็นหนึ่งในพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) ประเทศอังกฤษได้คัดเลือกพีวีซีในฐานะเป็นพลาสติกที่เข้ากันได้กับสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด [2]

พีวีซีมีสมบัติแข็งและเปราะ ในการทำพีวีซีคอมพอนด์ (PVC compound) จึงมีการเติมสารต่างๆ ลงไป เพื่อทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปและพีวีซีมีสมบัติที่จะนำไปใช้งานได้ดีขึ้น เช่น พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) คือสารที่เติมลงไปเพื่อให้พีวีซีมีความเหนียว นุ่ม และหักงอได้ แต่ปริมาณ พลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปต้องมีปริมาณที่พอเหมาะด้วย อย่างไรก็ตาม พีวีซีก็ยังมีสมบัติที่รับแรงกระแทกได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นพอลิเมอร์ของไอโซพรีนมอนอเมอร์ (Isoprene) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในประเทศ ปัจจุบันนี้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก ร้อยละ 90 ของปริมาณการผลิต จะเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกที่มีอัตราการส่งออกเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 7 ต่อปี ที่เหลืออีกร้อยละ 10 เป็นการผลิตเพื่อใช้ในประเทศที่มีอัตราการเพิ่มในระดับน่าพอใจ คือ เฉลี่ย

กว่าร้อยละ 14 ต่อปี แต่การเป็นผู้นำด้านการผลิตยางที่สมบูรณ์นั้น ต้องรวมทั้งปริมาณการผลิตและด้านคุณภาพ สำหรับประเทศไทยเป็นผู้นำด้านปริมาณการผลิตยางเท่านั้น ยังไม่ได้เป็นผู้นำด้านคุณภาพยางที่แท้จริง เพราะยางที่ผลิตและส่งออกส่วนใหญ่มีเพียง 2-3 ชนิดและเป็นยางที่มีคุณภาพปานกลาง [3]

ปัจจุบันได้มีการเร่งพัฒนาและแก้ปัญหการผลิตยางธรรมชาติ โดยจะเน้นการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานยาง รวมทั้งพัฒนาการประยุกต์ใช้งานให้มีความหลากหลาย และมีปริมาณการใช้งานที่มากขึ้น

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงเลือกพีวีซีเป็นพลาสติกที่จะศึกษาการปรับปรุงการรับแรงกระแทกให้ดีขึ้น โดยใช้ยางธรรมชาติซึ่งมีความยืดหยุ่นดี เป็นสารปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Modifier)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณยางธรรมชาติที่เหมาะสมที่ใช้ปรับปรุงสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

พีวีซี (Polyvinyl chloride) เป็นพลาสติกที่แข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี สามารถแปรรูปได้ง่าย บำรุงรักษาได้ง่ายและกันน้ำได้ การผลิตพีวีซี เพื่อจะนำมาใช้งานนั้นจะต้องมีส่วนประกอบหรือส่วนผสมต่างๆ ผสมลงไป เช่น สเตบิลไลเซอร์ สารหล่อลื่น สารเพิ่มเนื้อและพลาสติกไซเซอร์ แต่พีวีซีในปัจจุบันมีข้อจำกัดในการรับแรงกระแทก

เป็นที่ทราบกันดีว่ายางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นดี จึงมีแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติมาปรับปรุงการรับแรงกระแทกของพีวีซี และยังคงใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ผสมเพื่อเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ซึ่งอยู่ในรูปของ Modified CaCO_3 ผลที่ได้คาดว่าจะทำให้พีวีซีมีสมบัติความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ จะกล่าวถึงการนำยางธรรมชาติมาใช้ปรับปรุงสารเพิ่มเนื้อ CaCO_3 (Modified CaCO_3) ในพีวีซี

1.4.1 การศึกษากระบวนการผลิตแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 การหาปริมาณของยางธรรมชาติที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปรับปรุงสารเพิ่มเนื้อของพีวีซี

1.4.3 การทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพีวีซี ที่ผสมกับสารเพิ่มเนื้อที่เป็น Unmodified CaCO₃ และ Modified CaCO₃ ดังนี้

1.4.3.1 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength) ตาม ASTM-D 256

1.4.3.2 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ตาม ASTM-D 882

1.4.3.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ตาม ASTM-D 882

1.4.3.4 ความแข็ง (Hardness) ตาม ASTM-D 2240

1.4.3.5 ความหนาแน่น (Density)

1.4.4 ศึกษาพื้นผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

1.5 ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1.5.1 ตัวแปรอิสระ

ปริมาณของยางธรรมชาติใน พีวีซี คอมเปานด์

1.5.2 ตัวแปรตาม

1.5.2.1 ความต้านทานแรงกระแทก

1.5.2.2 ความต้านทานแรงดึง

1.5.2.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว

1.5.2.4 ความแข็ง

1.5.2.5 ความหนาแน่น

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 พอลิเมอร์ (Polymer) หมายถึง โมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ ซึ่งเรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) ซ้ำกันหลาย ๆ หน่วย

1.6.2 พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) หมายถึงกระบวนการที่มอนอเมอร์ทำปฏิกิริยากันแล้วได้พอลิเมอร์

1.6.3 พีวีซี (Polyvinyl chloride) หมายถึง พอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (Vinyl Chloride Monomer)

1.6.4 พีวีซีคอมเปานด์ (PVC Compound) หมายถึง พีวีซีที่ผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติของพีวีซีให้ดีขึ้น สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.5 Impact Strength หมายถึง ความต้านทานแรงกระแทก มีหน่วยเป็น จูลต่อเมตร (J/m)

1.6.6 phr มาจาก part per hundred parts of resin หมายถึง ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน หรือพลาสติก

1.6.7 สเตบิไลเซอร์ (Stabilizers) หรือตัวคงสภาพ หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อช่วยป้องกันการสลายตัวด้วยความร้อนขณะที่ขึ้นรูปพีวีซี หรือการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและเพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพ การเปลี่ยนสีและการป้องกันการสูญเสียสมบัติเชิงกล

1.6.8 สารหล่อลื่น (Lubricants) หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ไม่ละลายในพอลิเมอร์ สามารถจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ผิวของชิ้นงานหรือทำให้เกิดฟิล์มเคลือบชิ้นงาน ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป สารหล่อลื่นนี้จะทำให้การเคลื่อนตัวของชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย และช่วยลดความหนืดของพีวีซีหลอมเหลว ทำให้ผลิตได้ง่ายขึ้น

1.6.9 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) หมายถึง สารที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีความเหนียว ความนิ่มและการหักงอได้ (Flexibility) เพิ่มขึ้น

1.6.10 สารเพิ่มเนื้อ (Fillers) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาตรทำให้ลดต้นทุนการผลิตหรืออาจช่วยเพิ่มสมบัติการไหลได้ในบางกรณี

1.6.11 สารตัวเติม (Additives) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อทำพีวีซีคอมเปานด์ ได้แก่ สารเพิ่มเนื้อ สเตบิไลเซอร์ สารหล่อลื่น

1.6.12 โพรเซสซิง เอค (Processing aids) หมายถึง สารเติมแต่งที่ช่วยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ง่ายขึ้น

1.6.13 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) หมายถึง อัตราส่วนของแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

1.6.14 ความแข็ง (Hardness) หมายถึง การต้านทานต่อการเกิดรอยกด การทดสอบความแข็งกระทำโดยการกดพอลิเมอร์ด้วยแรงจำนวนหนึ่ง และวัดคูวารอยที่เกิดขึ้นจากการกดนั้น ลึกมากน้อยเพียงใด

1.6.15 Impact Resistance หมายถึง ความต้านทานต่อการรับแรงกระแทก

1.6.16 Impact Test หมายถึง การทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก

1.6.17 Impact Modifiers หมายถึง สารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก

1.6.18 Modified CaCO₃ หมายถึง แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยยางธรรมชาติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ ผู้วิจัยจะได้ศึกษาถึงทฤษฎี เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยตามหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์
- 2.2 ยาง
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์

พีวีซี (Polyvinyl chloride) จัดเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (Vinyl Chloride Monomer, VCM) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีจุดเดือด -14 องศาเซลเซียส

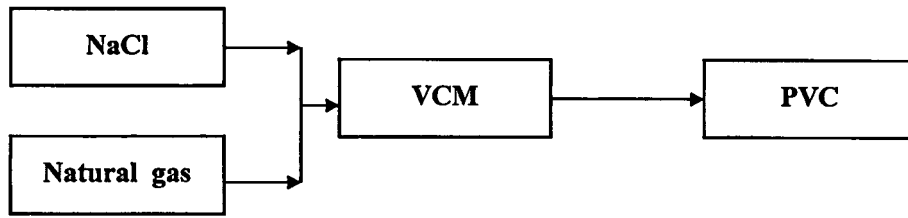
พีวีซีเป็นวัสดุสังเคราะห์ประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นอนุกรมของ Vinyl Chloride ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และคลอรีน (Cl) เป็นส่วนประกอบดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพีวีซี

แหล่งกำเนิดของคลอรีนก็คือเกลือแกง หรือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) การแยกโซเดียมคลอไรด์โดยใช้กระแสไฟฟ้าจะได้คลอรีนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ คลอรีนก็คือองค์ประกอบหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เกษตรกรรมและอุตสาหกรรมกระดาษ ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์จะใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วกระดาษและอะลูมิเนียม ในการผลิตวีซีเอ็ม มอนอเมอร์ คาร์บอน และไฮโดรเจนส่วนใหญ่จะได้มาจากก๊าซธรรมชาติ ดังภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตพีวีซี [1]

Cl_2 (ที่ได้มาจาก NaCl) จะรวมกับ ethylene หรือ ethyne (ที่ได้มาจาก Natural gas) ทำให้เกิด VCM [3]

2.1.1 การคอมเปานด์ พีวีซี (Compounding of PVC)

เนื่องจากการให้ความร้อนกับพีวีซีจนถึงอุณหภูมิหลอมเหลว ทำให้พีวีซีมีสมบัติทนต่อความร้อน (Thermal Stability) ได้น้อยลง มีความหนืดสูง และมักจะเกาะติดผิวโลหะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมส่วนผสมหลายชนิดเข้าไปในเรซินก่อนการหลอมเหลว เพื่อปรับปรุงให้สามารถทนความร้อนในกระบวนการผลิตได้ การใช้สารตัวเติมต่าง ๆ ยังช่วยเพิ่มสมบัติต่าง ๆ ของพีวีซีคอมเปานด์ให้ดียิ่งขึ้นด้วย ในพีวีซีคอมเปานด์อาจจะประกอบไปด้วยส่วนผสมดังนี้

สตาบิไลเซอร์	(Stabilizers)
สารหล่อลื่น	(Lubricants)
พลาสติกไซเซอร์	(Plasticizers)
สารเพิ่มเนื้อ	(Fillers)
ผงสี	(Pigments)
สารรับแรงกระแทก	(Impact modifier)
สารช่วยในการพองตัว	(Blowing agents)
โปรเซสซิง เออด	(Processing aids)

ในพีวีซีคอมเปานด์มีสารตัวเติมที่พบเสมอ ๆ 2 ชนิด คือ สตาบิไลเซอร์และสารหล่อลื่นพบว่าถ้าขาดสาร 2 ชนิดนี้จะไม่สามารถทำพีวีซีคอมเปานด์ได้

2.1.1.1 สตาบิไลเซอร์ (Stabilizers)

ดังได้กล่าวข้างต้นว่า พีวีซีที่ไม่ได้ปรับปรุง (Unmodified PVC) เมื่อร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์และเกิดการออกซิไดซ์ พร้อมทั้งเกิดการเปลี่ยนสีจาก สีใส เป็น เหลือง แดงและดำในที่สุด โดยเปลี่ยนเป็นคาร์บอน (Carbonizing)

กระบวนการสลายตัว (Degradation) ไม่สามารถป้องกันได้ แต่ทำให้ลดลงได้ จนกระทั่งสามารถนำพีวีซีคอมปานด์มาผลิตเป็นสินค้าที่มีการเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย โดยเติมสารประเภท ฮีทสเตบิไลเซอร์ (Heat stabilizer) ลงไป

สารสเตบิไลเซอร์ส่วนใหญ่จะเป็นพวกเกลือ โลหะ หรือสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายตัวเร่งการสลายตัว (Degradation) ของพีวีซี สเตบิไลเซอร์ที่นิยมใช้ในการทำพีวีซีคอมปานด์ ได้แก่

1) เกลือของเลด (Lead salt) ที่นิยมใช้ในการทำพีวีซีคอมปานด์ ประกอบด้วย สเตบิไลเซอร์ตัวแรกที่ใช้กันจะเป็นเลดคาร์บอเนต (White lead) แต่ได้มีการนำ เกลือของตะกั่วตัวอื่นมาทดแทน เกลือของตะกั่วที่ใช้ส่วนใหญ่ มีดังนี้

- Tribasic lead sulphate - ใช้งานทั่วไป (General purpose)
- Dibasic lead phthalate - ใช้ทำสายเคเบิลทนอุณหภูมิสูง
- Dibasic lead phosphite - ใช้กับงานที่ทนสภาพแวดล้อมภายนอก (Outdoor weathering)
- Normal lead stearate - ใช้งานทั่วไป พร้อมทั้งใช้หล่อลื่น
- Dibasic lead stearate - ใช้งานทั่วไป พร้อมทั้งใช้หล่อลื่น

เลดสเตบิไลเซอร์ สามารถทำหน้าที่เป็นสเตบิไลเซอร์และสารหล่อลื่น หรืออยู่ใน Co-precipitated form เลดสเตบิไลเซอร์ ทำให้พีวีซีคอมปานด์มีสมบัติคงตัว (Stability) ได้เป็นเวลานาน มีราคาถูกและมักจะใช้กับยูพีวีซี (UPVC) คอมปานด์เพื่อทำท่อ, ข้อต่อ และ Profile โดยจะมีการเติมสารสเตบิไลเซอร์ และสารหล่อลื่นปริมาณพอเหมาะเพียงครั้งเดียว นอกจากนี้ยังนิยมใช้ทำ ฉนวนเคเบิลอ่อน (Flexible cable insulation) ข้อเสียของ เลดสเตบิไลเซอร์ คือ มีน้ำหนักมาก เป็นพิษ และทึบแสง

2) แบเรียม / แคดเมียม สเตบิไลเซอร์ (Barium/Cadmium stabilizers)

สารผสมแบเรียมในรูปของแข็งกับแคดเมียมในรูปของเหลวจัดเป็นสเตบิไลเซอร์ ที่มีประสิทธิภาพสูงรวมทั้งมีราคาพอประมาณ นอกจากนี้ยังจะมีการใส่สาร Antioxidant เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ถ้าสารสเตบิไลเซอร์มีส่วนผสมแคดเมียมมากเท่าไรก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ราคาจะสูงขึ้น การใช้สารประกอบแบเรียม/แคดเมียมกับพีวีซีคอมปานด์ทั้งชนิดแข็ง และชนิดอ่อน (Flexible) โดยการเติมสารนี้ลงไป ในปริมาณน้อย ๆ ก็จะทำให้สมบัติใสและทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี แต่เนื่องจากแคดเมียมเป็นสารที่พบว่ามีพิษ ดังนั้นในบางประเทศจึงมีการค้นคว้าหาสเตบิไลเซอร์ ตัวอื่นมาแทนที่แบเรียม/แคดเมียม

3) แบเรียม/แคดเมียม/ซิงค์สเตบิไลเซอร์ (Barium/Cadmium/Zinc stabilizers)

สเตบิไลเซอร์เหล่านี้จะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งสามารถเติมเข้ากับพีวีซีอ่อนได้ง่าย สารเหล่านี้มีประสิทธิภาพดีกว่าชนิดแบเรียม/แคดเมียม และ ไม่เหมาะสมในการใช้กับพีวีซีแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบเซอร์ใบอนุญาตในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตบิลไลเซอร์ชนิดนี้ราคาถูกกว่า แบเรียม/แคดเมียม แต่มีสมบัติด้านความใสที่ขอดีเยี่ยมในพีวีซี คอมเปาน์ดชนิดใส และยังใช้กับงานที่ทนสภาพแวดล้อมกลางแจ้งได้ดี ประสิทธิภาพของมันจะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอัตราส่วนผสมของสารทั้ง 3 สาร

4) แบเรียม/ซิงค์ สเตบิลไลเซอร์ (Barium/Zinc stabilizers)

สเตบิลไลเซอร์ชนิดนี้มีการพัฒนามาใช้อย่างรวดเร็ว เพื่อนำมาทดแทนแบเรียม/แคดเมียมสเตบิลไลเซอร์ จะอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลวใช้ได้กับงานทั่วไป (General purpose stabilizer) โดยจะใช้กับ พีวีซีแข็ง และพีวีซีอ่อน

5) ทิน สเตบิลไลเซอร์ (Tin stabilizers)

สารประกอบทินุก (Tin compound) จะอยู่ในรูปของของแข็ง เช่น ลอเรตและ มาลีเอต (Laurates and Maleates) และอยู่ในรูปของเหลว เช่น สารเอสเทอร์ และสารประกอบเชิงซ้อนของซัลเฟอร์ สารเหล่านี้เป็นสเตบิลไลเซอร์ที่ดีเยี่ยมแต่มีราคาแพง สารประกอบของซัลเฟอร์ จะใช้กับพีวีซีแข็งเป็นส่วนมาก และในการทำขวด แผ่นพลาสติกใส (Transparency plastic sheet) และแผ่นฟอยล์ (Foil) ก็จะทำให้ความใสที่ดีเยี่ยม ทินสเตบิลไลเซอร์เหมาะที่จะใช้กับงานบรรจุภัณฑ์ด้านอาหาร (Food packaging) และทำขวดพีวีซีแข็ง (Rigid PVC bottle) เพื่อบรรจุผลไม้

6) แคลเซียม/ซิงค์ สเตบิลไลเซอร์ (Calcium/Zinc stabilizers)

สารนี้อยู่ในลักษณะของแข็งและของเหลว จะใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เป็นพิษ (Non-Toxic packaging) เช่น ขวดพีวีซีแข็ง และท่ออ่อนทางการแพทย์ (Flexible medical tubing) สเตบิลไลเซอร์นี้ไม่ช่วยสมบัติด้านความแข็งแรง ดังนั้นจึงต้องเสริมความแข็งแรงโดยใช้ร่วมกับ Additives เช่น Organic phosphites และ Epoxidised soybean oils

2.1.1.2 สารหล่อลื่น (Lubricant)

สารหล่อลื่น จัดเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในพีวีซีคอมเปาน์ด แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ภายใน (Internal) และภายนอก (External) ขึ้นกับหน้าที่การทำงานในพีวีซีหลอมเหลว

สารหล่อลื่นภายในจะช่วยลดความหนืดของพีวีซีหลอมเหลว ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ส่วนสารหล่อลื่นภายนอกจะเคลื่อนตัวเองออกจากพีวีซีหลอมเหลว และจะไปลดแรงดึงดูดของพีวีซีหลอมเหลวกับผิวโลหะของเครื่องจักร ซึ่งจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการผลิตให้ดีขึ้น

ในการขึ้นรูปพีวีซี ควรใช้สารหล่อลื่นทั้งภายในและภายนอกในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คอมเปาน์ดที่ดี ถ้าใส่สารหล่อลื่นน้อยเกินไปจะทำให้มีความหนืดสูงและอาจเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้ แต่การใส่สารมากเกินไปจะทำให้หลอมเหลวยากหรือไม่หลอมเหลวเลย

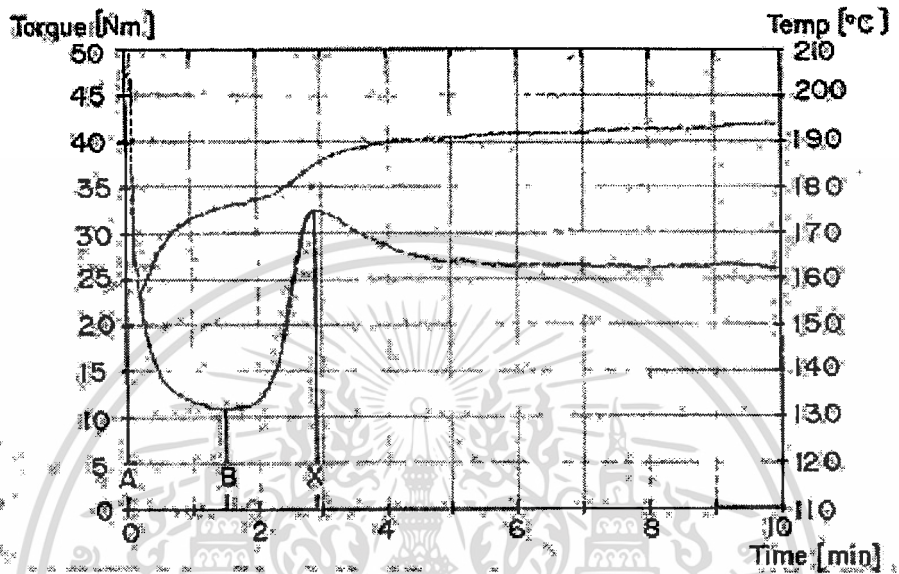
การหาปริมาณสารหล่อลื่นที่เหมาะสม สามารถจะใช้เครื่องมือตรวจสอบได้ เช่น เครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติกอร์เดอร์ (Brabender plasticorder) โดยเครื่องจะแสดงลักษณะการหลอมเหลวของพีวีซีคอมเปาน์ดในรูปของกราฟ ดังภาพที่ 2.3

จุด A เป็นค่าทอร์กเริ่มต้นขณะที่ใส่ผงพีวีซี

จุด B เป็นค่าทอร์กต่ำสุด

จุด X เป็นค่าทอร์กสูงสุด

จุด A ถึง X เป็นช่วง Fusion time หรือช่วงที่เกิดการหลอมเหลว [4]



ภาพที่ 2.3 กราฟตัวอย่างแสดงการหลอมเหลวของพีวีซี จากการตรวจสอบด้วย Brabender plasticorder [4]

ตัวอย่างสารหล่อลื่นที่ใช้ในพีวีซีคอมเปานด์ ได้แก่
 กรดสเตียริกและโลหะสเตียเรต (Stearic acid and metal stearates)
 เกลือของกรดไขมัน (Metal soap)
 น้ำมันและขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin wax and oils)
 พอลิเอทิลีน โมเลกุลต่ำ (Low molecular weight polyethylene)
 ออกซิไดซ์ พอลิเอทิลีน แวกซ์ (Oxidized polyethylene waxes)
 น้ำมันแร่ (Mineral oils)
 ขี้ผึ้งธรรมชาติและสังเคราะห์ (Natural & synthetic waxes)

2.1.1.3 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

พลาสติไซเซอร์ จัดเป็นสารตัวเติมที่สำคัญมากพอ ๆ กับสแตบิลไลเซอร์และสารหล่อลื่น โดยจะทำให้พีวีซีมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าสามารถทำคอมเปานด์ได้หลากหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ใช้ทำท่อพีวีซีแข็งจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความอ่อน เช่น ท่อสายยางทางการแพทย์ (Medical tubing) และรองเท้ายาง (Gum boots)

พลาสติกไซเซออร์มีให้เลือกมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะกำหนดลักษณะของคอมเปาน์ดซึ่งเหมาะสม สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของคอมเปาน์ด รวมทั้งของผลิตภัณฑ์ด้วย เมื่อทราบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการก็จะสามารถเลือกใช้พลาสติกไซเซออร์ได้ ตัวอย่างพลาสติกไซเซออร์มีดังนี้

1) พะทาเลทเอสเทอร์ (Phthalate ester)

พลาสติกไซเซออร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมากในพีวีซี สารที่ใช้กันมากที่สุดคือ ไดออกทิล พะทาเลท [Diocetyl phthalate (DOP)] ซึ่งมีราคาถูก ละลาย ได้รวดเร็ว และมีการระเหยต่ำ ปัจจุบันไม่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นสารที่ก่อมะเร็ง

พะทาเลทที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะละลายได้เร็ว แต่จะระเหยได้ง่ายก่อให้เกิดปัญหาในการคอมเปาน์ด ส่วนชนิดมวลโมเลกุลสูงจะละลายตัวได้ช้า ต้องใช้เวลานานและอุณหภูมิในการผสมสูงแต่มีอัตราการระเหยต่ำ เมื่อต้องการสมบัติการระเหยต่ำเราจะเลือกใช้พะทาเลทชนิดมวลโมเลกุลสูง เช่น ฉนวนเคเบิลทนอุณหภูมิสูง (High temperature cable insulation)

2) ไตรเมลลิเทต เอสเทอร์ (Trimellitate esters)

สารไตรเมลลิเทต (Trimellitate) ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นไตรออกทิลไตรเมลลิเทต (Triocetyl-trimellitate) เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีการระเหยต่ำ มักจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสัมผัสกับอุณหภูมิสูง ๆ เช่น สายเคเบิลทนอุณหภูมิสูง และใช้เป็นส่วนประกอบภายในของรถยนต์ เช่น ตัวหุ้มแผ่นกันกระแทกต่าง ๆ (Crash pad cover) สารเหล่านี้ละลายได้ช้า และมีราคาแพง

3) ฟอสเฟต เอสเทอร์ (Phosphate ester)

สารนี้จัดเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ละลายได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะไตรครีซิล (Tricresyl) และไตรโทลิลฟอสเฟต (Tritolyl phosphate) จะให้คอมเปาน์ดที่แข็งแรงกว่าใช้พะทาเลท (Phthalate) เมื่อใช้ปริมาณเท่า ๆ กัน ปกติจะใช้ในงานที่ต้องการสมบัติขยับยั้งการติดไฟ (Flame retardancy) เช่น ฉนวนเคเบิล สารเหล่านี้มีราคาแพงด้วย

4) อดิเปท และเซบาเทท เอสเทอร์ (Adipate & sebacate ester)

สารอดิเปท และเซบาเททมักจะเป็นพวกออกทิลเอสเทอร์ (Octyl esters) สารเหล่านี้จะหลอมตัวช้าและถ้าไม่มีสารอื่นช่วยจะมีปัญหาในการผสม อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้จะให้คอมเปาน์ดที่ยืดหยุ่นกว่าพะทาเลทเมื่อใช้ปริมาณเท่ากัน และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้ดีเยี่ยม (Low temperature flexibility) และมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง ตัวอย่างที่ใช้ เช่น ท่อสายยางทางการแพทย์สำหรับสูบลีดเลือด และปะเก็นประตูเย็น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องการสมบัติการคืนตัว (Resiliency) และสมบัติยืดหยุ่นได้ที่อุณหภูมิต่ำ สารเอสเทอร์เหล่านี้มีราคาแพงมาก ๆ มักใช้ร่วมกับ DOP เพื่อลดต้นทุน และยังคงให้สมบัติการคืนตัวที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผลิตเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) พลาสติไซเซอร์ชนิดโพลีเมอร์ (Polymeric plasticizers)

สารเหล่านี้จะเป็นโพลีเอสเทอร์อิมิตัวที่มีมวลโมเลกุลต่ำ อยู่ในรูปของเหลว มักใช้กับงานที่ต้องการสภาพความต้านทาน การละลายของตัวทำละลาย เช่น ท่อเชื้อเพลิง รองเท้ายาง (Gum boot) ที่ทนน้ำมัน และ ฯลฯ สารเหล่านี้มีความหนืดสูงไม่ค่อยละลาย และต้องการความร้อนช่วยลดความหนืดก่อนทำการผสม การผสมมักจะเป็นการผสมแห้ง (Dry blending process)

นอกเหนือจากพลาสติไซเซอร์ที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว ยังมีพลาสติไซเซอร์ที่จัดเป็น Secondary plasticizers หรือ Extenders เช่น Paraffinic aromatic and Naphthenic oils พลาสติไซเซอร์ชนิดนี้จะไม่ค่อยละลายในพีวีซี หรือไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันและจะแยกตัวออกจากคอมเปานด์ในที่สุดถ้าใช้เพียงลำพัง สาเหตุที่ใช้สารนี้ เพราะมีราคาถูกเมื่อผสมกับพลาสติไซเซอร์แบบแรกด้วยอัตราพอเหมาะและนำมาผสมกับพีวีซีจะช่วยลดต้นทุนลงได้ อย่างไรก็ตามถ้าใช้ Secondary Plasticizer ผสม จำต้องตรวจสอบและควบคุมคุณภาพด้วย

2.1.1.4 สารรับแรงกระแทก (Impact modifiers)

ในการปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ เช่น การทนทานต่อแรงกระแทก การทนความร้อน ตลอดจนการขึ้นรูปได้ง่าย จะใช้พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

Polymer blend ที่มีมานานที่สุด ได้แก่ การใช้ยางผสมกับพอลิเมอร์อื่น ๆ เพื่อให้พอลิเมอร์นั้น มีความเหนียว ทนต่อแรงกระแทกดีขึ้น เช่น HIPS (High impact polystyrene) และ ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) ซึ่งเดิมยางลงไปตั้งแต่อยู่ใน Reactor เพื่อทำ Grafting ในโครงสร้างหรือการนำมาผสมภายนอก Reactor เช่น กรณีของพีวีซีซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกหรือที่เรียกว่า “ Impact modifier ”

Impact modifier จะประกอบด้วย 2 ส่วน ดังภาพที่ 2.4 คือ

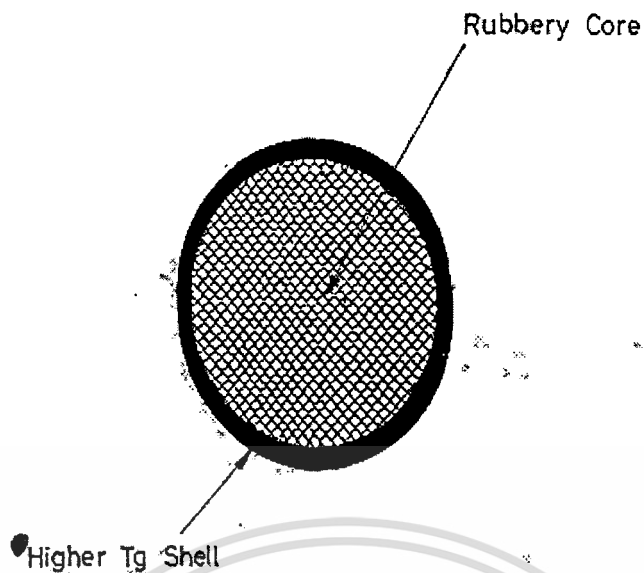
1) ส่วนที่เป็นแกนกลางหรือแกนหลัก (Rubbery core)

2) ส่วนขอบหรือขอบนอก (Higher Tg shell)

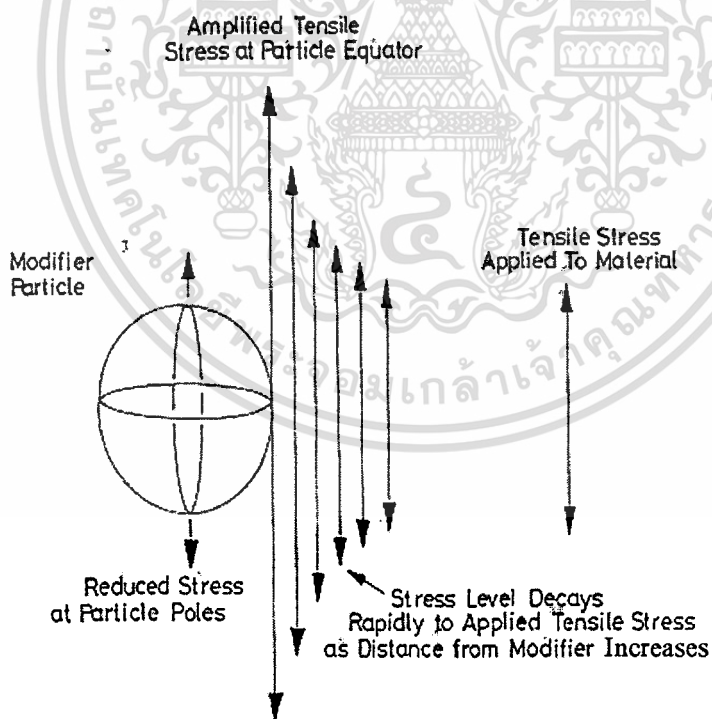
ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ดังนี้

1) Rubbery core ทำหน้าที่หลักในการรับแรงกระแทก

2) Higher Tg shell ทำหน้าที่แยกส่วนของพอลิเมอร์ เพื่อให้ Impact modifiers มีการกระจายตัวได้ดีขึ้น และเข้ากันได้ดีของพอลิเมอร์ [5]



ภาพที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของสารรับแรงกระแทก [5]



ภาพที่ 2.5 แสดงการกระจายของแรงโดยรอบสารรับแรงกระแทก [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารรับแรงกระแทกจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายแรงที่เข้ามาสู่พอลิเมอร์ เมื่อแรงมากระทบโดยรอบสารรับแรงกระแทก แรงจะลดลงตามระยะทางที่ห่างเพิ่มขึ้นจากสารรับแรงกระแทก ซึ่งแรงนี้จะลดลงไปที่ส่วนข้างของสารรับแรงกระแทก ดังภาพที่ 2.5 มีผลทำให้ความเสียหาย

- 1) Acrylic impact modifiers
- 2) MBS (Methacrylate butadiene styrene)
- 3) ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)

การเลือกใช้สารรับแรงกระแทก ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสมบัติด้านอื่นด้วย เช่น การทนต่อสภาวะอากาศ การติดไฟ และ Tensile strength เป็นต้น

ในพีวีซีแข็งที่ใช้ทำขวดและแผ่นพีวีซีมักจะเปราะ จึงจำเป็นต้องเติมสารรับแรงกระแทก ที่เกิดขึ้นต่อพอลิเมอร์ไม่เป็นจุดใหญ่ แต่จะกระจายเป็นจุดเล็กแทน

สารรับแรงกระแทก แบ่งออกเป็นเพื่อเพิ่ม Impact strength สารเหล่านี้มีลักษณะคล้ายยาง จะอยู่ในรูปผงเป็นส่วนใหญ่ เช่น MBS resin, EVA/PVC graft copolymers, Chlorinated polyethylene และ Polyacrylate ตัวอย่างของสารรับแรงกระแทก ที่ใช้ในการคอมเปานด์พีวีซี แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสารรับแรงกระแทก ที่ใช้ในการคอมเปานด์พีวีซี [5]

Product name, abbreviation	Elastomer component VC graft base polymer
<i>For outdoor use</i>	
EVA	ethylene-vinyl acetate copolymer as grafting base
EVA/ VC	ethylene-vinyl acetate vinyl chloride graft copolymer
PAE/ VC	polyacrylate/ vinyl chloride graft polymer
ACE	acrylate/ methyl methacrylate graft polymer for PVC polyblends
CPE	chlorinated polyethylene for PVC polyblends
<i>For indoor use only</i>	
MBS	methyl methacrylate-butadiene-styrene graft polymer
ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer

ส่วนประกอบหลักที่มีต่อสมบัติของพีวีซี และกระบวนการผลิตนั้น ได้กล่าวมาแล้วข้าง

ต้น ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มักจะเติมลงไปเพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การเติมสารเหล่านี้จะมีผลต่อต้นทุนการผลิตด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.5 สารเพิ่มเนื้อ (Fillers) จะเติมลงไปเพื่อลดต้นทุน การเติมสารนี้ในพีวีซีแข็งมักจะลดความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) แต่ในพีวีซีอ่อนนั้นสามารถจะเติมสารนี้ได้มากเมื่อใช้พลาสติกไซเซออร์ช่วย และไม่ทำให้ความต้านทานต่อแรงกระแทกตกลงมากเกินไป

สารเพิ่มเนื้อมีราคาถูก จึงทำให้ต้นทุนของคอมเปานด์ลดลง สารเพิ่มเนื้อที่นิยมใช้คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งอยู่ในรูปผงละเอียด โดยมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง 20 ไมครอน สารเพิ่มเนื้อที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวได้ดีในคอมเปานด์แต่จะมีราคาแพง แคลเซียมคาร์บอเนตจะมีทั้งในรูปธรรมชาติ หรือเคลือบด้วยสารหล่อลื่น สารเพิ่มเนื้ออื่น ได้แก่ Talc, wollastonite, China clays และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ Asbestos กับงานกระเบื้องยางปูพื้นในช่วงแรก ๆ โดยใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อแบบเสริมแรง (Reinforced fillers) แต่ในปัจจุบันนี้ ได้มีการลดปริมาณการใช้ Asbestos ในงานกระเบื้องยางปูพื้น เนื่องจาก Asbestos มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

2.1.1.6 โพรเซสซิง เอด ที่ใช้ในสูตรผสมของพีวีซีแข็ง จะเป็น Acrylic resin หรือ Hydrocarbon resin ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ โดยจะทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซออร์ ช่วยทำให้การหลอมเหลวของคอมเปานด์ดี และสม่ำเสมอขึ้น

2.1.1.7 สารช่วยในการพองตัว ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความกลวงอยู่ภายในทั้งแข็งและอ่อน (Cellular product) เช่น ฝ้าผนังบ้าน หนังสือพิมพ์ วัสดุที่ใช้กันมากที่สุดคือ Azodicarbonamide

2.1.1.8 สี ประเภท Pigment และ Dye มีมากมายหลายชนิด และมีผลกระทบต่อการผลิตคอมเปานด์โดยเฉพาะในงานอัดรีด (Extrusion) ผงสีสามารถทำให้อัตราการหลอมเหลวของพีวีซีคอมเปานด์เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อลักษณะของความสม่ำเสมอของคอมเปานด์ และผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบผลของสีผสมกับพีวีซีทำได้โดยใช้เครื่องบราเวนเคอร์ พลาสติกอร์เคอร์ ซึ่งจะแสดงลักษณะการหลอมเหลวของมันได้อย่างชัดเจน มีประโยชน์ในการปรับแต่งผสมต่าง ๆ ให้ได้คอมเปานด์ที่มีเนื้อสม่ำเสมอ

2.1.1.9 วิธีการคอมเปานด์ (Compounding method)

เป็นวิธีการที่ผสมพีวีซีที่มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ด กับส่วนผสมของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้พีวีซีที่มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง

วิธีการคอมเปานด์มี 3 วิธี คือ

- 1) การผสมแบบแห้ง (Dry blending)
- 2) การคอมเปานด์แบบแบทช์ (Batch compounding)
- 3) การคอมเปานด์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding)

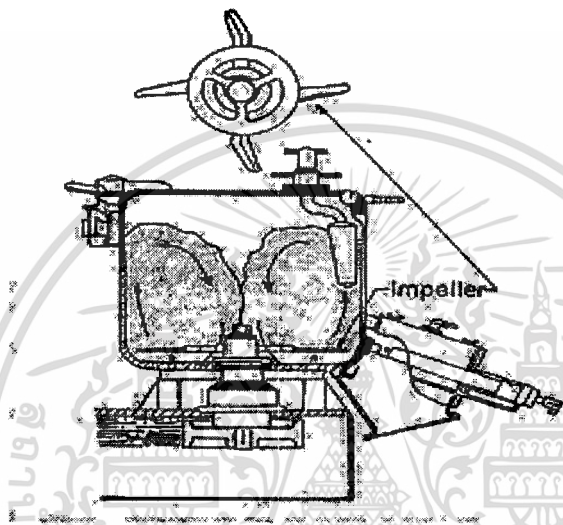
1) การผสมแบบแห้ง

เป็นกระบวนการแปรรูปส่วนผสมต่าง ๆ ของพีวีซีแข็งให้เป็นคอมเปานด์ในรูปผง ซึ่งเหมาะกับการขึ้นรูปหรืออัดรีด ทำได้โดยผสมส่วนประกอบต่าง ๆ เข้ากับเรซินด้วยเครื่องผสม

ความเร็วสูง ดังภาพที่ 2.6 การผสมแบบแห้งสามารถใช้ผสมคอมเปานด์ที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมอยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากสมบัติพิเศษของซัสเพนชันพีวีซี ในการผสมความเร็วสูงนี้จะใช้ใบพัดผสมหมุนด้วยความเร็ว 1400 รอบ/ นาที ทำให้เกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทาน ในการผสมพีวีซีแข็ง เมื่อเรซินและสารเติมแต่งถูกผสมเข้าด้วยกันแล้ว จะให้ความหนาแน่นรวม (Bulk density) สูงขึ้น ที่อุณหภูมิสูงถึง 120-130 องศาเซลเซียส หลังจากเย็นตัวลงคอมเปานด์ที่ได้จะเหมาะกับการคอมเปานด์ในช่วงที่ทำผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการตัดชั้นตอน Melt compounding ลงจึงใช้สเตบิไลเซอร์ลดลง ซึ่งทำให้ต้นทุนของส่วนผสมลดลงด้วย



ภาพที่ 2.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ผสมแบบแห้ง [4]

ส่วนพีวีซีอ่อนนั้น เรซินจะร้อนขึ้นโดยการกวนอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส อนุภาคของเรซินจะมีลักษณะพูนและเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะดูดซับพลาติไซเซอร์ และคอมเปานด์ที่ได้จะอยู่ในรูปผง ซึ่งเหมาะที่จะนำไปผลิตต่อไป

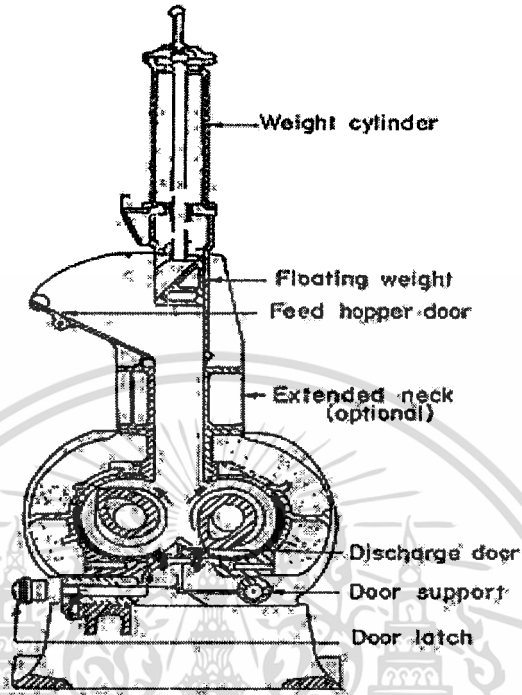
2) การผสมแบบแบทช์

การผสมแบบแบทช์ ทำได้โดยผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันและหลอมเหลวส่วนผสม โดยใช้ลูกกลิ้งผสม หรือผสมในช่องผสมของเบนบุรีมิกเซอร์ (Banbury mixer) ดังภาพที่ 2.7

เทคนิคในการทำ ได้แก่ ชั่งส่วนประกอบต่างๆ แต่ละส่วน แล้วใส่ในเบนบุรีมิกเซอร์ จากนั้นให้ใบกวน 2 ใบหมุนทวนกันพร้อมกับหลอมส่วนผสมด้วยซึ่งจะใช้เวลาผสมประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ ของเหลวจะถูกส่งไปยังลูกกลิ้งผสมและทำการผสมต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นแผ่นพลาสติก จากนั้นตัดแผ่นพลาสติกออกเป็นแผ่นเล็ก

ลง หรือให้เย็นแล้วนำไปทำเป็นเม็ดต่อไป ตามปกติจะเป็นกระบวนการต่อเนื่อง จนวัสดุถูกตัดเป็นเม็ด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจากเครื่องลูกกลิ้งผสมนั้น วัสดุใหม่จะถูกผสมในแบบนรีมิกเซอร์ การผสมแบบนี้สมบัติของวัสดุ จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของแต่ละแบทช์



ภาพที่ 2.7 แสดงเครื่องผสมแบบแบทช์ [4]

3) การผสมแบบต่อเนื่อง

การผสมแบบต่อเนื่องประกอบด้วยการผสมแบบแห้ง ตามด้วยการป้อนส่วนผสม เข้าไปยังชุดการผสมแบบต่อเนื่อง ทำให้เย็นตัวและตัดเป็นเม็ดต่อไป จากนั้นบรรจุลงถุงหรือทำการ ผสมอีกครั้งหนึ่ง

ชุดการคอมเปานด์แบบต่อเนื่องอาจจะใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอน (Single screw extruder) โดยเฉพาะแบบระเหยได้ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (Twin screw extruder) หรือเป็น เครื่องคอมเปานด์แบบพิเศษ

ในการผสมจะเริ่มต้นโดยการป้อนวัสดุที่ผสมแล้วลงไปจนถึงป้อนเม็ด จากนั้น เกลียวหนอน (Screw) จะทำการผสมและส่งผ่านไปที่หัวฉีด (Die) เพื่อตัดเม็ดหรือรีดเป็นแผ่น (Strip) หรือตัดที่หัวรีดเลข

สิ่งสำคัญในการผสมคือต้องควบคุมไม่ให้เกิดความร้อนมากเกินไป และควบคุม สภาพการผลิตให้คงที่ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิและเวลา เพื่อให้ได้คอมเปานด์ที่ สามารถใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ได้อย่างไม่มีปัญหา

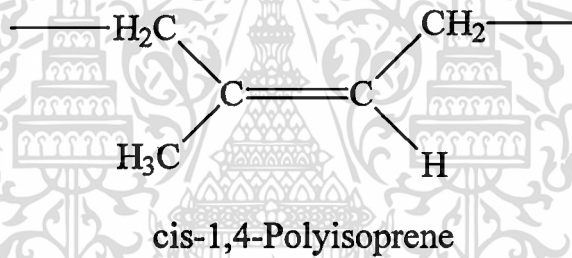
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

ยางธรรมชาติได้มาจากน้ำยางของต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) จะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ (Colloid) มีสีคล้ายน้ำนม เรียกว่าน้ำยางดิบหรือ ลาเท็กซ์ (Latex) โดยทั่วไปมีสารที่เป็นของแข็งประมาณ 30 %

น้ำยางดิบที่ได้จากต้นยางจะถูกนำไปกรองเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและสิ่งปนเปื้อนออกไป มีการเติมกรดอะซิติก กรดฟอร์มิคหรือกรดซัลฟูริก ลงไปเพื่อให้ยางจับตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนออกมา ยางที่ได้นี้เมื่อทำให้แห้งเป็นแผ่นเรียกว่ายางดิบ มีโปรตีน 2-4 % และสารอื่นเช่นกรดคาร์บอกซิลิก และสเตอรอล (Sterol) 1 - 2 % เจือปนอยู่

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง มีโครงสร้างเป็นแบบซิส (cis) กล่าวคือมีหมู่ CH_2 สองหมู่อยู่ข้างเดียวกัน ในหน่วยที่ซ้ำๆกันของโครงสร้างโดยตลอดซึ่งคล้ายคลึงกับโครงสร้างของ cis-Isoprene ดังนั้นอาจเรียกยางธรรมชาติว่าเป็น cis 1,4-Polyisoprene [6]



ภาพที่ 2.8 แสดงสูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ

เนื่องจาก โครงสร้าง โมเลกุลของยางธรรมชาติ ไม่มีการเชื่อม โยงระหว่างโมเลกุล (Crosslink) ยางธรรมชาติจึงมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก กล่าวคือรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายมากเมื่อได้รับความร้อน มีสภาพอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะ แต่เมื่อถูกกับความเย็นจะกลับแข็งตัว และมีสภาพเปราะ แตกง่าย ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ได้เท่าที่ควร

ยางธรรมชาติเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี มีความยืดหยุ่นระหว่างอุณหภูมิ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส สมบัติทางกลขึ้นอยู่กับการผสมของกำมะถัน ยางอ่อนจะผสมกำมะถัน 3-20% ถ้ามีกำมะถันผสมอยู่น้อยจะทำให้ยึดตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1834 ชาลส์ กูดเยียร์ (Charles Goodyear) ได้พยายามทำการทดลองเพื่อให้ยางธรรมชาติมีสมบัติดีขึ้น โดยกระบวนการที่เรียกว่า วุลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง โดยการเติมกำมะถันหรือสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ยางมีสมบัติดีขึ้น เหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางเป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง มี 2 ประเภท คือ ยางธรรมชาติ (NR, Natural rubber) และยางสังเคราะห์หรือยางเทียม (SR, Synthetic rubber) อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติยังจะแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ตามวิธีการแปรรูป แต่สมบัติโดยทั่วไปของยางที่ผลิตโดยวิธีต่างกันจะไม่มี ความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งไม่เหมือนกับยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ ที่ปัจจุบันมีจำหน่ายมากมาย แต่ละชนิดของยางสังเคราะห์จะมีสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันอย่างมาก นอกจากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ในลักษณะของวัตถุดิบใหม่ที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งานแล้ว ยังมียางอีกประเภทที่นำผลิตภัณฑ์ยางเสียแล้วหรือผลิตภัณฑ์ที่เสียระหว่างกระบวนการผลิตไปผ่านกระบวนการซึ่งเรียกว่า Reclaim process และได้ยางรีเครม (Reclaim rubber) สามารถนำกลับมาใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ยางได้อีก แต่มีสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางค่อนข้างจำกัดหรือต่ำ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

จตุพร รัตนผลา (2535 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาถึงผลของลักษณะของสารเติมแต่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใส่ในสารประกอบพีวีซีชนิดนิ่มและระดับของการหลอมของพีวีซีที่มีต่อสมบัติเชิงกล

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประเภทเพิ่มเนื้อ ที่จะเพิ่มปริมาณของผสมแต่ละลดสมบัติเชิงกลของพีวีซี ผลของลักษณะของสารเติมแต่งที่นำมาศึกษาได้แก่ ผลของความแตกต่างทางโครงสร้างของสารเพิ่มเนื้อแคลเซียมคาร์บอเนตแต่ละชนิด การกระจายของขนาดของสารเพิ่มเนื้อหลังจากการบด โดยพบว่า การกระจายของขนาดที่กว้างจะให้สมบัติการทนแรงดึงและการฉีกขาดดีกว่า

ปริมาณของสารเติมแต่งและพลาสติกไซเซอร์ จะทำให้เพิ่ม Stress concentration ขึ้นในเนื้อพอลิเมอร์ จึงทำให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลง ค่า Stress concentration สามารถอธิบายโดยใช้ First power law และ Two-third power law โดยค่า S และ S' จะลดลงจากหนึ่งหน่วย เมื่อสารเพิ่มเนื้อมากขึ้นจากสมการที่ปรับปรุงใหม่ จะพบว่าพลาสติกไซเซอร์มีอิทธิพลกับค่า Stress concentration จากค่าความชันของกราฟของ Power law พบว่า ที่ปริมาณพลาสติกไซเซอร์และสารเพิ่มเนื้อน้อยจะใช้ First power law มาอธิบาย ขณะที่เมื่อสารเติมแต่งมาก ๆ Two-third power law จะเหมาะสมกว่า แต่ที่ปริมาณพลาสติกไซเซอร์สูง (70 phr DOP) จะเป็น First power law ตลอดจนถึงปริมาณสารเติมแต่ง 50 phr

การใช้ Silane coupling agent เพื่อปรับปรุงผิวของสารเติมแต่งจะช่วยปรับปรุงสมบัติทนแรงฉีกขาด ขณะที่ Titanate coupling agent จะให้ผลที่ต่ำกว่า

ระดับของการหลอมของพีวีซี สามารถหาได้จากค่าการดูดกลืนพลังงานจาก DSC thermograms โดยระดับของการหลอมของพีวีซี จะมีผลต่อค่าสมบัติการพับงอ โดยสารประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีวีซีชนิดนิ่มที่มีสารเติมแต่งจะให้สมบัติที่ดีที่ปริมาณการหลอมสมบูรณ์ และสารประกอบ พีวีซีที่ไม่ใส่สารเติมแต่งจะให้สมบัติที่ดีที่ปริมาณการหลอมต่ำกว่า [7]

วรารัตน์ โสภโณวงศ์ (2536 : บทคัดย่อ) ศึกษาและวิจัยถึงการนำเศษยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วมาใช้เป็นสารปรับปรุงการรับแรงกระแทกในพีวีซี เศษยางที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้ากีฬา ซึ่งมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ เศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นกลาง (เป็นเศษของโฟม EVA ที่วัลคาไนซ์แล้ว) เศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นนอก (เป็นเศษของยางผสมระหว่าง NR, SBR และ BR ที่วัลคาไนซ์แล้ว) และเศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าประกอบ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพื้นรองเท้าชั้นกลางและชั้นนอก

การใช้เศษยางเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเพื่อลดขนาดของยาง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้โดยทั่วไปก่อนการนำยางกลับมาใช้ใหม่ การนำเศษยางมาผสมนอกจากจะเป็นการลดปริมาณเศษขยะแล้ว ยังช่วยให้ราคาของผลิตภัณฑ์ลดลงอีกด้วย

การทดลองนี้ ศึกษาความทนทานในการรับแรงกระแทกของพีวีซี โดยใช้เครื่องมือ Charpy ศึกษาระดับการหลอมของพีวีซี โดยใช้ Differential scanning calorimetry (DSC) ศึกษาสัณฐานวิทยาของพีวีซี ซึ่งปรับปรุงด้วยการเติมเศษยางโดยการใช้อัลลอยเทอร์สตันแบบใช้แสง จากนั้นนำตัวอย่างเพื่อวัดการกระจายขนาดของเศษยางก่อนและหลังกระบวนการผสม ศึกษาการปรับปรุงผิวของเศษยางเพื่อให้เข้ากับพีวีซีได้ดีขึ้น โดยการใช้ Silane และ Zirconate coupling agents และศึกษาชนิดของเศษยาง, ปริมาณที่ใช้, การแยกขนาด และขนาดของเศษยางที่มีผลต่อความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกของพีวีซี

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พีวีซี ที่เติมเศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นกลางในปริมาณ 10% มีค่าระดับการหลอมที่เหมาะสมประมาณ 40% ที่ให้ค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทก 5.5 kJ/m² ขณะที่พีวีซีที่ไม่ได้เติมเศษยางให้ค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกประมาณ 3 kJ/m² ตลอดช่วงระดับการหลอม ส่วนการศึกษาพฤติกรรมในการรับแรงกระแทก พบว่า ขึ้นกับชนิดและปริมาณของเศษยางที่ใช้ แต่การแยกขนาดเศษยางของพื้นรองเท้าประกอบ ไม่สามารถทำให้การกระจายขนาดของเศษยาง และค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกดีขึ้น การเติมเศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นกลางในปริมาณ 20% และ 25% ลงในพีวีซี ทำให้ค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกสูงกว่า พีวีซีที่เติม 5% ABS ซึ่งเป็นสารปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกที่ใช้ในท้องตลาด [8]

ชาคริต สิริสิงห์ (2536 : บทคัดย่อ) ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบเรียมเฟอไรต์ (Barium ferrite) เป็นสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ในพีวีซี (PVC) เพื่อให้มีสมบัติแม่เหล็ก Barium ferrite ที่ใช้ในงานวิจัยได้จากปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate) และเฟอริกออกไซด์ (Ferric oxide) การกระจายขนาดของอนุภาคของแบเรียมเฟอไรต์ที่เตรียมได้ ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในส่วนแรกของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสูตรและสภาวะที่เหมาะสมใน

การผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) และสมบัติทางด้านแม่เหล็ก (Magnetic properties) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ความทนต่อแรงกระแทกสามารถหาได้โดยใช้เครื่องวัดชนิด Charpy ส่วนสมบัติทางด้านแม่เหล็กสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง B-H tracer จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 160° C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ในส่วนที่สองของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษา เพื่อปรับปรุงค่าความทนต่อแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์โดยใช้ Silane และ Zirconate coupling agents รวมทั้งอีพอกซีไดซ์ ยางธรรมชาติเหลว (Epoxidised liquid natural rubber or ELNR) ช่วย จากผลการทดลองพบว่า Zirconate coupling agents ที่ความเข้มข้น 1% และ 2% โดยน้ำหนักของแบเรียมเฟอโรไรท์ช่วยเพิ่มความทนต่อแรง 5.28% และ 18.63% ตามลำดับ ELNR ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักของแบเรียมเฟอโรไรท์ช่วยเพิ่มความทนต่อแรงกระแทก 25.93% แต่ ELNR ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักของแบเรียมเฟอโรไรท์ และ Silane coupling agent ไม่ช่วยเพิ่มความทนต่อแรงกระแทก

ในส่วนสุดท้ายของงานวิจัยนี้เป็นการพยายามที่จะปรับปรุงสมบัติทางด้านแม่เหล็ก โดยการจัดเรียงตัว (Orientation) ของอนุภาคของแบเรียมเฟอโรไรท์ และ โมเลกุลของพีวีซีก่อนที่จะทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า การจัดเรียงตัวของอนุภาคของแบเรียมเฟอโรไรท์และ โมเลกุลของพีวีซีไม่ช่วยให้สมบัติทางด้านแม่เหล็กเพิ่มสูงขึ้นในกรณีนี้ เนื่องจากผลของการคลายตัวของโมเลกุลพีวีซี (PVC molecular relaxation) ขณะทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีอัดขึ้นรูป (Compression molding) [9]

กษมา จารุกัจจร (2536 : บทคัดย่อ) ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกของพลาสติกพีวีซี (PVC) ที่ผสมด้วยเศษยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วโดยใช้สารช่วยการผสม (Compatibiliser) เศษยางที่ใช้เป็นเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตรองเท้ากีฬาซึ่งมีทั้งหมด 3 ส่วน คือ เศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นกลาง (เป็นเศษของโฟม EVA ที่วัลคาไนซ์แล้ว) เศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นนอก เป็นเศษยางผสมระหว่าง NR, SBR และ BR ที่วัลคาไนซ์ แล้ว และเศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าประกอบ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพื้นรองเท้าชั้นกลาง และชั้นนอกสำหรับสารช่วยการผสมที่ใช้ศึกษาแบ่งตามสภาพขั้ว (Polarity) ได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มมีขั้ว และกลุ่มไม่มีขั้ว

การทดลองนี้ ศึกษาความทนทานในการรับแรงกระแทกของคอมปานด์พีวีซี โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงกระแทกชนิด Charpy ศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของพีวีซี ซึ่งปรับปรุงโดยการเติมเศษยางและใช้สารช่วยการผสม โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จากนั้นถ่ายรูปเพื่อวัดการกระจายของขนาดเศษยาง DMTA ใช้ในการศึกษาความเข้ากันได้ (Compatibility) ของ Blend ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเศษยางและสารช่วยการผสมต่อค่าความทนทานในการรับแรงกระแทกของ Blend ความทนทานในการรับแรงกระแทกของ Blend ขึ้นกับ Compatibility ของพีวีซี เศษยางและสารช่วยการผสม สารช่วยการผสมที่ดีจะทำให้ค่าความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการรับแรงกระแทกของ Blend มีค่าสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยของขนาดเศษยางที่กระจายในพีวีซี มีขนาดเล็กและขนาดเศษยางที่กระจายในพีวีซีมีช่วงที่แคบ จากผลการทดลองพบว่า สารที่ช่วยการผสมที่ทำให้ค่าการรับแรงกระแทกของพีวีซี ที่ผสมด้วยเศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นนอกและพื้นรองเท้าประกอบมีค่าสูงที่สุดคือ EVA(10%VA) และ EAA-Mg (68 %) ตามลำดับ ส่วนรองเท้าชั้นกลางนั้นสารที่ช่วยในการผสมมีค่าสูงที่สุดคือ VAMAC, S-B-S (TR1102) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารช่วยการผสมต่อเศษยาง ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกของพีวีซี ที่ผสมด้วยเศษยางและสารช่วยการผสมคือ 2 : 10

ค่าความทนทานในการรับแรงกระแทกของพีวีซี ที่ผสมด้วยเศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นกลางโดยใช้ S-B-S (TR1102) เป็นสารช่วยการผสมมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่า (11.23 kJ/m^2) เมื่อเปรียบเทียบกับพีวีซี ที่ผสมด้วยเศษยางที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นกลาง (5.36 kJ/m^2) [10]

โดมศักดิ์ กฤตยาพรชัย ปราณี กัญญาธิพ และ Frederick H. Axtell (2539 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมเศษวัสดุยางที่วัลคาไนซ์แล้ว การวิจัยนี้แสดงถึงการนำผู้ยาง 3 ชนิด (Midsole, Outsole และ Laminate) ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้ากีฬามาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์ โดยใช้เป็นสารเพิ่มความทนต่อแรงกระแทกให้พีวีซี แต่โดยทั่วไปยางและพลาสติกไม่สามารถผสมให้เข้ากันได้ดี (Incompatible) การเติมสารช่วยการผสม (Compatibiliser) ลงไปจะช่วยเพิ่มการเกาะติดระหว่างเฟสของยางและพลาสติก เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะทำให้เบลนด์พีวีซีรับแรงกระแทกได้มากขึ้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้สารช่วยการผสม 4 ชนิด (SBR , EAA , EVA และ Ethylene Acrylic Elastomer หรือ VAMAC) ในปริมาณ 20% โดยน้ำหนักพบว่าเบลนด์พีวีซีที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบรีดผสม (Extrusion process) สามารถรับแรงกระแทกได้มากกว่าพีวีซีที่ไม่ได้ผสมสารช่วยการผสมและผู้ยางประมาณ 1.5 - 6 เท่า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของผู้ยาง นอกจากนี้ยังพบว่าเบลนด์พีวีซีนี้อาจรับแรงกระแทกในระดับที่สูงกว่าเบลนด์พีวีซีที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอีกครั้งด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการสลายตัว (Degradation) ของพีวีซีที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปอีกครั้งที่สองนี้ [11]

M.Sanbarapandion และ K.Kishore (1995) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการผสมเข้ากันได้ของพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโพรพิลเมทาครีเลต (PPMA) โดยพิจารณาจากจุดเปลี่ยนตัวคล้ายแก้ว (Glass transition temperature หรือ T_g) และเวลาผ่อนคลายของโปรตรอน Spin lattice (Proton spin lattice relaxation time : T_{ρ} (H)) ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ว่า พีวีซี กับ PPMA สามารถผสมเข้ากันได้ PPMA แสดงให้เห็นพฤติกรรมตอนต้นว่าเข้ากันได้กับ พีวีซี โดยการวัด T_g เท่านั้นแต่ไม่สามารถวัดได้โดยใช้ T_{ρ} (H) สิ่งเหล่านี้แสดงว่าขนาดของเฟสควมอยู่ระหว่าง 3 ถึง 15 nm และการผสม พีวีซี / PPMA สามารถควบคุมได้โดยอาศัยปฏิกิริยาภายในแบบคายความร้อนระหว่างกลุ่มเอสเทอร์ของเมทาครีเลต และเมทินโปรตรอนของพีวีซี [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธนสาร ไม่เสื่อมสุข ปราณี ภิญญูชีพ และ Frederick H. Axtell (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลขององค์ประกอบของส่วนผสม และกระบวนการขึ้นรูปที่มีต่อค่าความทนแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนเมื่อเติมเศษยางที่ใช้แล้ว โดยศึกษาถึงสภาวะของกระบวนการที่มีผลต่อสมบัติ ความทนแรงกระแทกของสารผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเศษยาง โดยเศษยางที่ใช้ได้จากกระบวนการผลิตรองเท้ากีฬา มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ Midsole Outsole และ Laminate จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงกระแทกของสารผสมที่เตรียมโดยกระบวนการรีดผสม (Extrusion) จะแตกต่างกันไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณยางที่ใส่และชนิดของยาง ในขณะที่เมื่อนำสารผสมจากกระบวนการรีดผสมมาขึ้นรูปอีกครั้ง (Reprocess) ด้วยวิธีการฉีด ค่าความทนแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ผสมยาง [13]

ธีรวุฒิ นรินทร์พงษ์และคณะ (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การผสมเยื่อเคลฟลาร์กับเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ : ด้านสมบัติเชิงกลและด้านการผสมเข้ากัน ซึ่งศึกษาถึงการเสริมแรง สไตรีน - บิวทีลีน สไตรีน เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์ ด้วยเยื่อเคลฟลาร์ เมื่อเทียบปริมาณของเยื่อเคลฟลาร์ พบว่าค่ามอดูลัสจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความทนต่อแรงดึงที่จุดขาดและค่ายืดตัวก่อนขาดจะมีค่าลดลง จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนบริเวณพื้นผิวของรอยขาดจะพบเส้นใยในลักษณะขาดออกและหลุดออก [14]

วรพงษ์ ชวลิตอัมพรและคณะ (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง สมบัติเชิงกลของเยื่ออะรามิดผสมพอลิโพรพิลีน โดยศึกษาถึงการใช้เยื่อของเส้นใยอะรามิด (Aramid fibers) เพื่อเสริมความแข็งแรงให้พอลิโพรพิลีน ชั้นแรกศึกษาสภาวะการผสมที่เหมาะสมในเครื่องผสมภายในจากการแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเหนือจุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนพบว่า ไม่มีผลต่อสมบัติทางเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมและแปรปริมาณของเยื่ออะรามิดถึง 8% พบว่า ค่ามอดูลัสและค่าแรงดึงที่จุดสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเยื่ออะรามิดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของเยื่ออะรามิดในพอลิเมอร์ผสมไม่ดี เมื่อใส่มากขึ้นเรื่อย ๆ คณะผู้วิจัยได้พยายามปรับปรุงการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของเยื่อ โดยวิธีการไฮโดรไลซ์และเติมสารช่วยผสม [15]

2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วยปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทางด้านอุตสาหกรรมมากมายหลายชนิด ซึ่งผู้ผลิตทำขึ้นตามเทคโนโลยีที่ได้รับมา และอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการทำและใช้ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอย่างมีคุณภาพ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขึ้นมา และมีการประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษา เพื่อให้ทราบทั่วกัน เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หน้าต่างพีวีซี มอก.1043-2543[16] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ มอก.216-2520[17] และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม มอก.17-2532[18] เป็นต้น ซึ่งผู้ที่ต้องการทราบข้อมูลต่าง ๆ
เหล่านี้ สามารถที่จะติดต่อได้ที่ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ ผู้วิจัย จะดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2 การเตรียมพีวีซีคอมปานด์ การเตรียมชิ้นงานและการทดสอบชิ้นงาน

3.1 จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการทดลองผลิตแผ่นพีวีซีและทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นพีวีซีในห้องปฏิบัติการ โดยมี วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลองและแหล่งที่มา

สารเคมี	แหล่งที่มา
1. Polyvinyl chloride	บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด
2. Barium/Cadmium/Zinc Stabilizer	บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด
3. Gemosol	บริษัท ดีทแฮล์ม จำกัด (มหาชน)
4. Stearic acid	บริษัท ดีทแฮล์ม จำกัด (มหาชน)
5. Polyethylene wax	บริษัท ดีทแฮล์ม จำกัด (มหาชน)
6. Calcium carbonate	บริษัท ปูนคุณภาพ จำกัด
7. Di isodecyl phthalate (DIDP)	บริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด
8. Epoxidized soybean oil (EDENOL D81)	บริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด
9. Processing aids (Kaneka Pa-20)	บริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด
10. ยางธรรมชาติหรือ Latex	สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้การทดลอง

ตารางที่ 3.2 แสดงยี่ห้อและรุ่นของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น
1. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)	Lab tech	LMX5
2. เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่ (Two-roll mill machine)	Lab tech	-
3. เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน (Compression machine)	Lab tech	-
4. เครื่องชั่งละเอียด	Oertling	SCD62
5. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile tester) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	Lloyd	-
6. เครื่องทดสอบความแข็ง (Rockwell hardness tester)	Matsuzawa	DXT-1
7. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกไอซอด (Izod impact tester)	Ceast	6545/000
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	Philips	XL30PC
9. เครื่องเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึง (Contour cut)	Ceast	-

3.2 การเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ การเตรียมชิ้นงานและทดสอบชิ้นงาน

3.2.1 การเตรียมพีวีซีคอมเปานด์

จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 : การเตรียม Modified CaCO₃

ขั้นที่ 2 : การเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ โดยใช้ Modified และ Unmodified CaCO₃

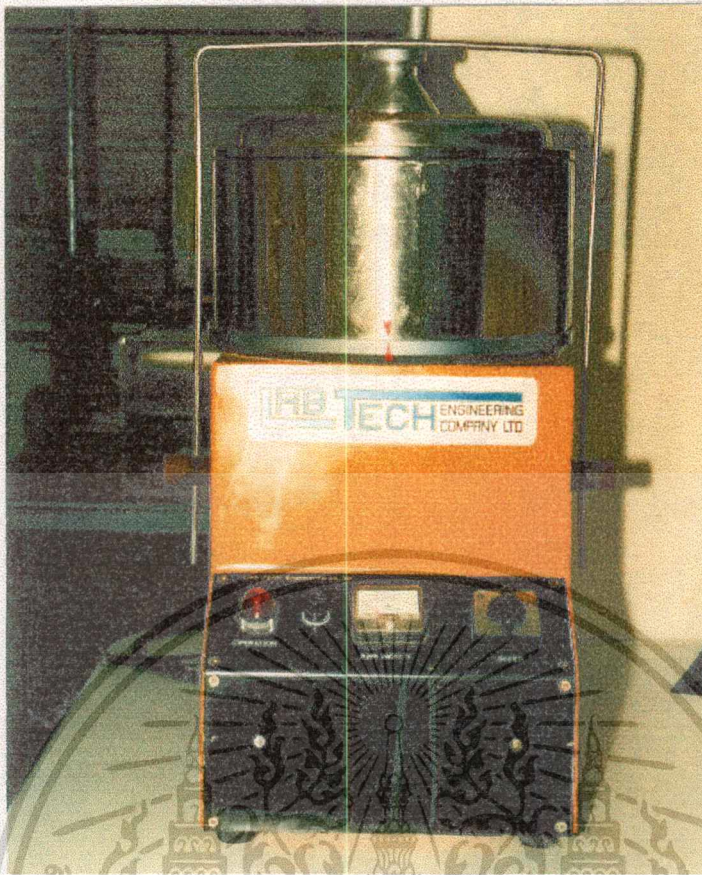
ขั้นที่ 1 การเตรียม Modified CaCO₃

- ทำให้น้ำยางเข้มข้น (Concentrated Latex) จับบนผิวของ CaCO₃ ดังนี้
- นำ CaCO₃ 160 กรัม ผสมกับน้ำยางเข้มข้น 10 , 12 , 14 , 16 , 18 และ 20%

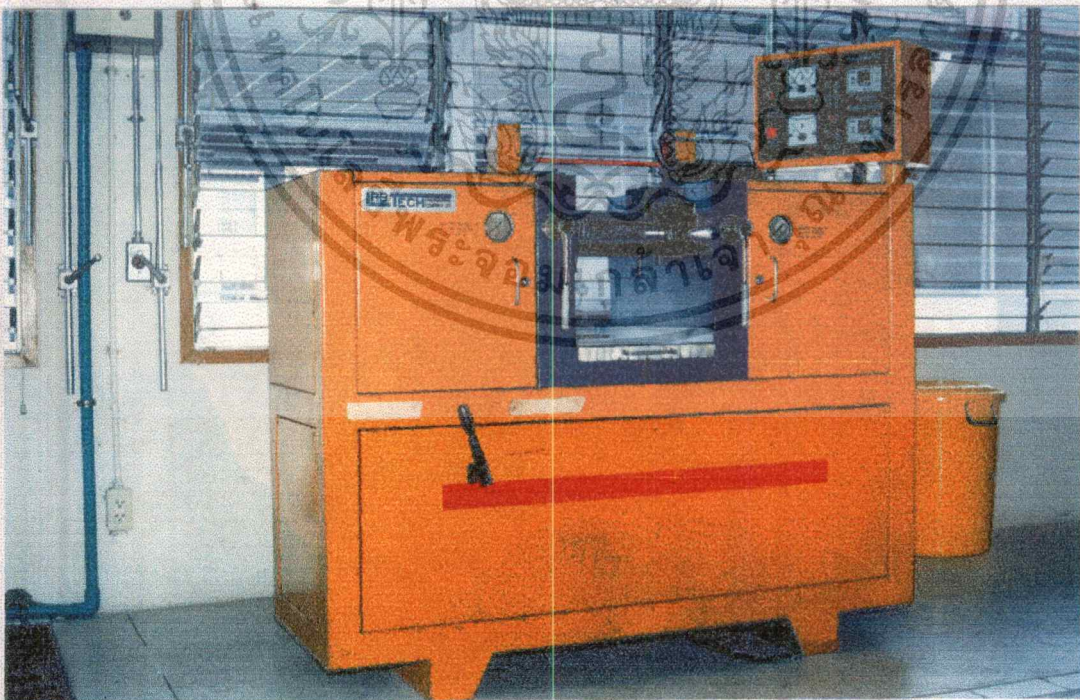
โดยน้ำหนักตามลำดับ ในบีกเกอร์ที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นที่ 2 การเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ โดยใช้ Modified และ Unmodified CaCO₃

- นำ PVC Resin และสารเติมแต่งแต่ละชนิดในปริมาณและอัตราส่วนต่าง ๆ กันผสมกันตามตารางที่ 3.1 หรือตารางที่ 3.2 ผสมใน High Speed Mixer ดังภาพที่ 3.1 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm อุณหภูมิประมาณ 80°C



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องผสมความเร็วสูง



ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องผสมแบบจุกกึ่งตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบในการเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ (สูตรนิ่ม)

สารเคมี	Part per hundred parts of resin (phr)
PVC	100
Ba-Cd-Zn Stabilizer	2.0
Stearic acid	1.0
Di isodecyl phthalate	60
EDENOL D81	5.0
Unmodified CaCO ₃ หรือ Modified CaCO ₃	25

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบในการเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ (สูตรแข็ง)

สารเคมี	Part per hundred parts of resin (phr)
PVC	100
Ba-Cd-Zn Stabilizer	1.5
Gemosol	0.3
EDENOL D81	5.5
Polyethylene wax	0.1
Kaneka PA-20	1.5
Unmodified CaCO ₃ หรือ Modified CaCO ₃	20

3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน ทดสอบจากพีวีซีคอมเปานด์

3.2.2.1 เตรียมแผ่นพลาสติกโดยใช้เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่ โดยการนำพีวีซี ประมาณ 300 กรัม ใส่ลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ดังภาพที่ 3.2 เพื่อทำการนวดผสมที่อุณหภูมิ 160°-180°C ประมาณ 10 นาที เมื่อครบกำหนดแล้วจึงตัดแผ่นพลาสติกออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้พับติดกัน

3.2.2.2 เตรียมแผ่นพลาสติก โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.3 ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร ซึ่งมีขั้นตอนการทำดังนี้

- 1) เตรียมแม่แบบขนาด 3 และ 6 มิลลิเมตร
- 2) ตั้งอุณหภูมิอัดขึ้นงาน ไว้ที่ 190°C
- 3) นำแผ่นพลาสติกที่ได้จากการนวดผสมโดยลูกกลิ้งใส่ในแม่แบบ
- 4) ขึ้นรูปตามกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

3.2.3 การทดสอบชิ้นงาน

นำแผ่นพลาสติกที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ 5 ประการ ดังนี้

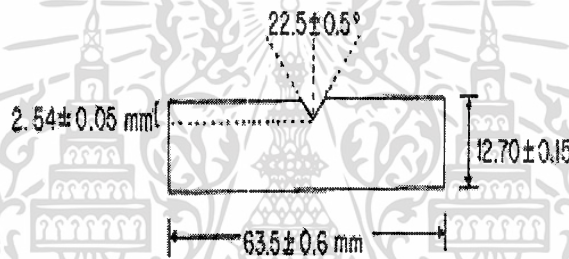
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength) ตาม ASTM-D 256
- การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ตาม ASTM-D 882
- การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ASTM-D 882
- การทดสอบความแข็ง (Hardness) ASTM-D 2240
- การทดสอบความหนาแน่น (Density)
- การศึกษาผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

3.2.3.1 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ASTM-D 256

ตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดมาตรฐาน กว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 63.5 มิลลิเมตร และหนา ประมาณ 6 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะชิ้นงานสำหรับทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

แล้วจึงนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกไอซอด ดังภาพที่ 3.5

- 1) วัดความหนาของชิ้นงาน
- 2) เริ่มทำการทดสอบโดยยกแขนเหวี่ยงขึ้นไปบนตัวจับ ใส่ชิ้นงานลงไป ในช่องใส่ชิ้นงาน โดยหันด้านที่มีรอยบาก (V-NOTCH) ไปด้านขวามือ (ทางเดียวกันกับที่แขนเหวี่ยงลงมา) แล้วยึดชิ้นงานโดยใช้ตัวนำร่องช่วย

3) ปลดแขนเหวี่ยงซึ่งมีฟ่อนติดอยู่ที่ปลายลงมากระแทกชิ้นงาน

4) อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักในหน่วยจูล

5) บันทึกค่าที่อ่านได้ คำนวณค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกดังนี้

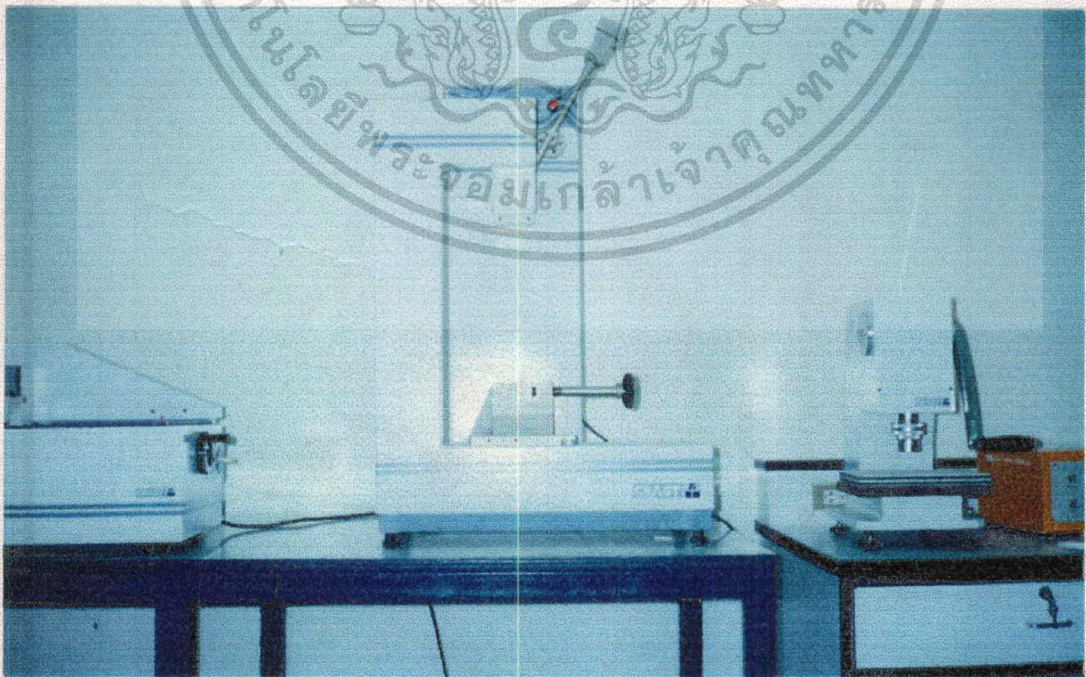
$$\text{ค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทก} = \frac{\text{ค่าพลังงานที่อ่านได้ (จูล)}}{\text{ความหนาของชิ้นงาน (เมตรหรือมิลลิเมตร)}}$$

- 6) เปรียบเทียบความต้านทานแรงกระแทกระหว่างชิ้นงาน Unmodified CaCO_3 กับชิ้นงาน Modified CaCO_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

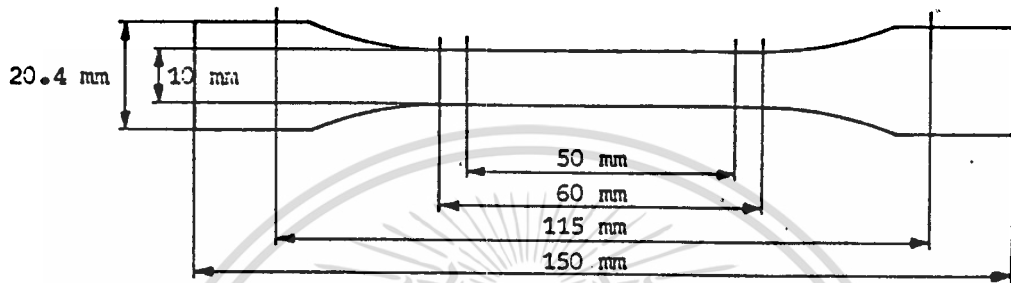


ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกไอซอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน เมืออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

3.2.3.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง ASTM -D 882

นำชิ้นงานที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร มาตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ทดสอบ ASTM-D 882 Type 1 รูปดัมเบล ดังภาพที่ 3.6 ด้วยเครื่อง Contour cut แล้วนำชิ้นงานรูปดัมเบล ไปทำเครื่องหมายตรงจุดกึ่งกลาง และนำไปวางบนเครื่องทดสอบแรงดึง ดังภาพที่ 3.7 ตามตำแหน่ง ที่ต้องการ ป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการให้เครื่องแสดงผล เมื่อเปิดเครื่อง เครื่องจะทำงานโดย อัตโนมัติ และจะหยุดเมื่อชิ้นงานขาด



ภาพที่ 3.6 แสดงชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

3.2.3.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ASTM-D 882 สามารถทราบค่าจากเครื่องทดสอบแรงดึง

3.2.3.4 การทดสอบความแข็ง ASTM -D2240

โดยเตรียมชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1.5 x 1.5 นิ้ว แล้วนำชิ้นงานไปทำการทดสอบความแข็งที่ผิวด้วย Rockwell hardness tester ดังภาพที่ 3.8 ดังนี้

- 1) ใส่วิวเข็ม HRB ขนาด 1/2 นิ้ว และเลือกน้ำหนักกด 150 กิโลกรัม
- 2) นำชิ้นงานวางบนแท่น และเลื่อนแท่นขึ้นช้า ๆ ให้หัวเข็มสัมผัสผิวของชิ้นงานพอดี
- 3) เปิดเครื่อง จากนั้นเครื่องจะทำการวัดค่าความแข็งอัตโนมัติจนจบ และแสดงค่าความแข็งที่ผิวตามหน่วยที่ทดสอบ

3.2.3.5 การทดสอบความหนาแน่น

ชั่งน้ำหนักและหาปริมาตรของชิ้นงานแล้วคำนวณหาความหนาแน่น โดยใช้สูตร

$$\rho = \frac{m}{v}$$

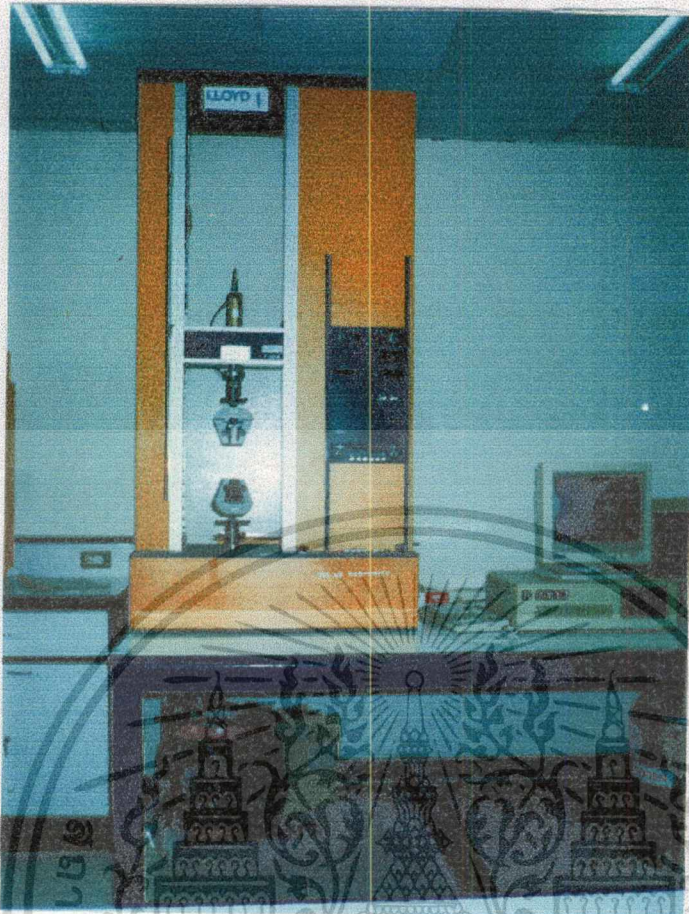
เมื่อ ρ แทนความหนาแน่นของชิ้นงานมีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

m แทนมวลของชิ้นงานมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

v แทนปริมาตรของชิ้นงานมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรแข่งขันเพื่อการแข่งขันเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็นเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว



ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell hardness tester
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมพีวีซีคอมเปานด์ ทั้งสูตรนิ่มและสูตรแข็ง แล้วทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของพีวีซีคอมเปานด์ (สูตรแข็ง) ซึ่งปรากฏผลการทดสอบดังนี้

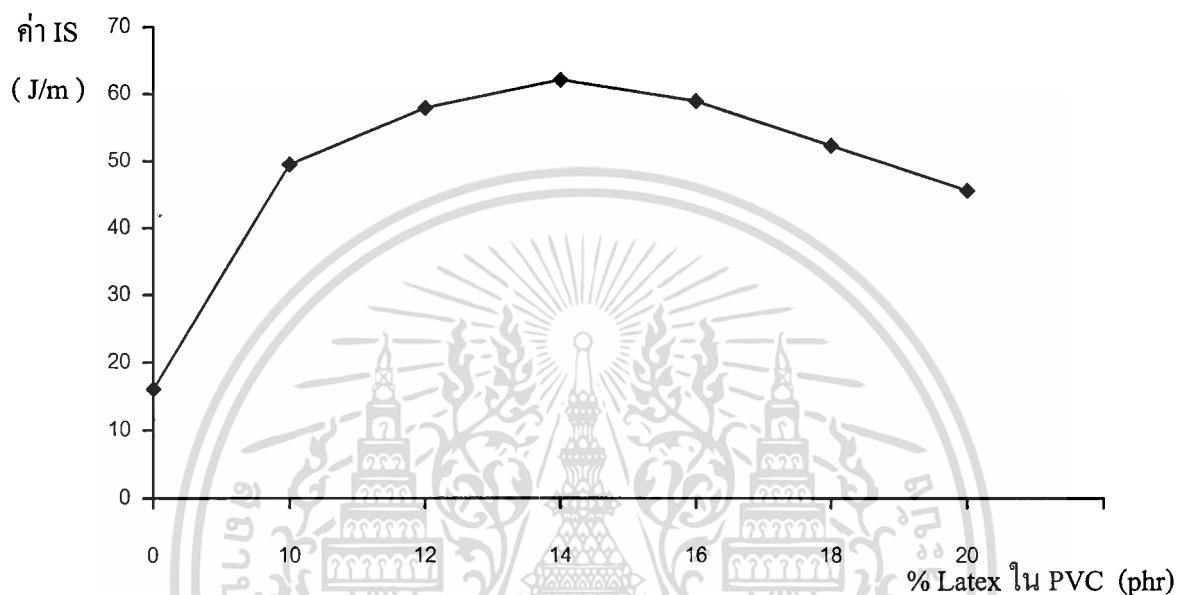
- 4.1 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength)
- 4.2 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)
- 4.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation)
- 4.4 ความแข็ง (Hardness)
- 4.5 ความหนาแน่น (Density)
- 4.6 ผลการทดสอบรวม
- 4.7 ผลการศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)



4.1 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (IS)

%Latex	0	10	12	14	16	18	20
ISเฉลี่ย(J/m)	16.07	49.50	57.94	62.10	58.90	52.30	45.62



ภาพที่ 4.1 แสดงความต้านทานแรงกระแทกของพีวีซี ที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 แสดงว่า

4.1.1 พีวีซีที่เติม Latex จะรับแรงกระแทกได้ดีกว่าพีวีซีที่ไม่เติม Latex หรืออาจกล่าวได้ว่า พีวีซีที่เติม Modified CaCO₃ จะรับแรงกระแทกได้ดีกว่าพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO₃

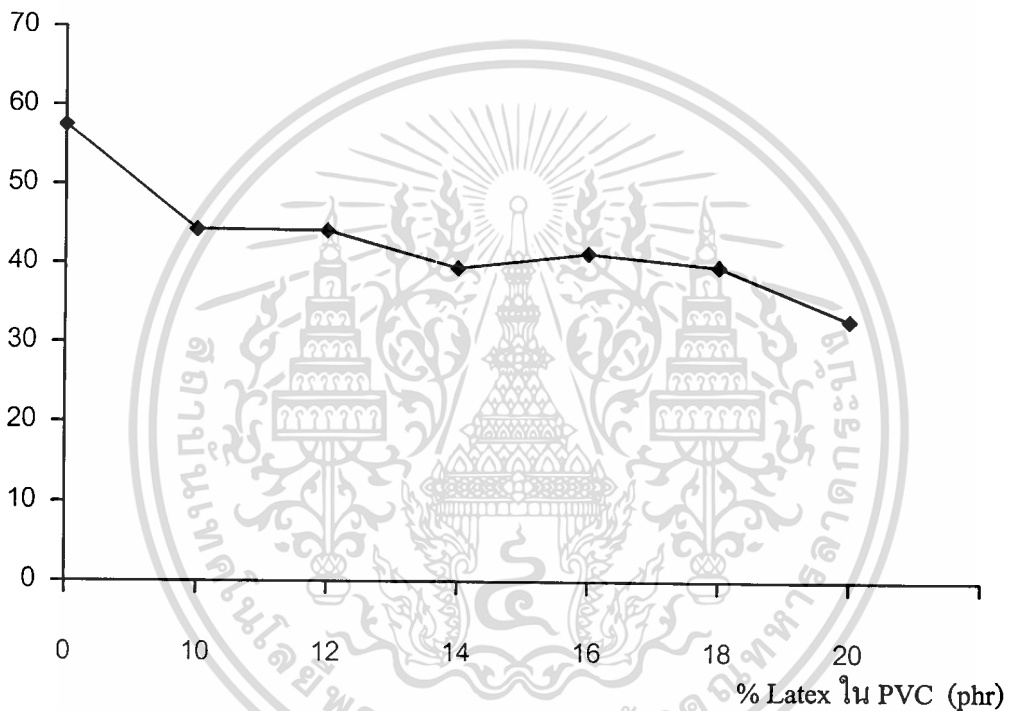
4.1.2 ค่าความต้านทานแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของ Latex ที่เติมลงไปในช่วงแรก ๆ โดยที่พีวีซีที่เติม Latex 14% จะรับแรงกระแทกได้ดีที่สุด แต่จะลดลงในช่วงหลัง โดยที่พีวีซีที่เติม Latex 16% ,18% และ 20% จะรับแรงกระแทกลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของ Latex ที่เติมลงไป

4.2 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง

%Latex	0	10	12	14	16	18	20
Max. Stress เฉลี่ย(MPa)	57.55	44.24	44.09	39.43	41.29	39.62	32.90

Max. Stress (MPa)



ภาพที่ 4.2 แสดงความต้านทานแรงดึงของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 แสดงว่า

4.2.1 พีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงน้อยกว่า พีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3

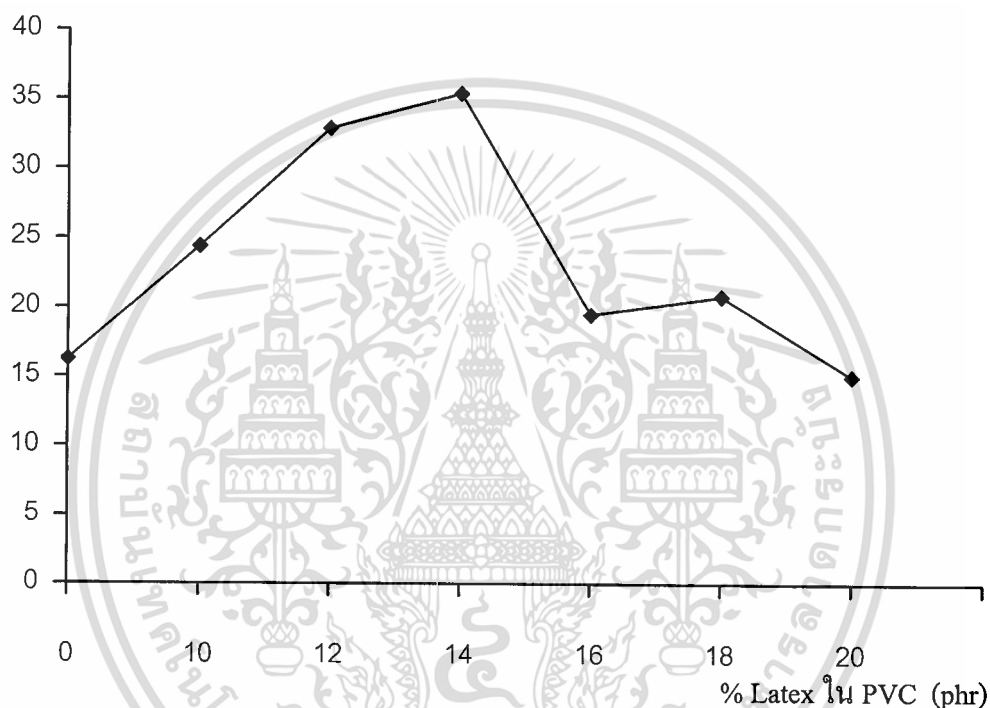
4.2.2 ปริมาณ Latex ที่เติมลงไปเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานแรงดึงของพีวีซีลดลง โดยที่พีวีซีที่เติม Latex 0% จะมีความต้านทานแรงดึงสูงสุด พีวีซีที่เติม Latex 20% จะมีความต้านทานแรงดึงต่ำสุด

4.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

%Latex	0	10	12	14	16	18	20
% Elongation	16.25	24.39	32.85	35.39	19.48	20.83	15.05

% Elongation



ภาพที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน

จากตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.3 แสดงว่า

4.3.1 พีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 มีความสามารถในการยืดตัวได้ดีกว่า พีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3 ยกเว้นพีวีซีที่เติม Latex 20%

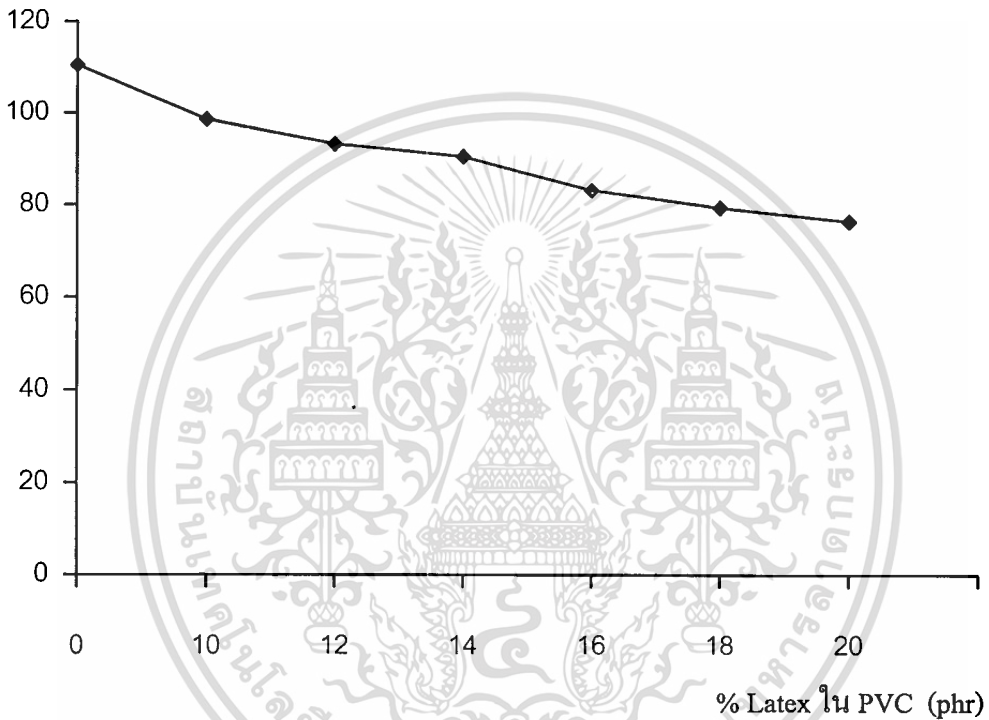
4.3.2 ปริมาณ Latex ที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ทำให้พีวีซีมีความสามารถในการยืดตัวเพิ่มขึ้น โดยที่พีวีซีที่เติม Latex 14% จะมีความสามารถในการยืดตัวสูงสุด และพีวีซีที่เติม Latex 20% จะมีความสามารถในการยืดตัวต่ำสุด

4.4 ความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความแข็งโดยใช้ Rockwell hardness tester

%Latex	0	10	12	14	16	18	20
ความแข็งเฉลี่ย(HRB)	110.50	98.63	93.30	90.57	83.27	79.43	76.47

ค่าความแข็งแบบ Rockwell (HRB)



ภาพที่ 4.4 แสดงความแข็งของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4 แสดงว่า

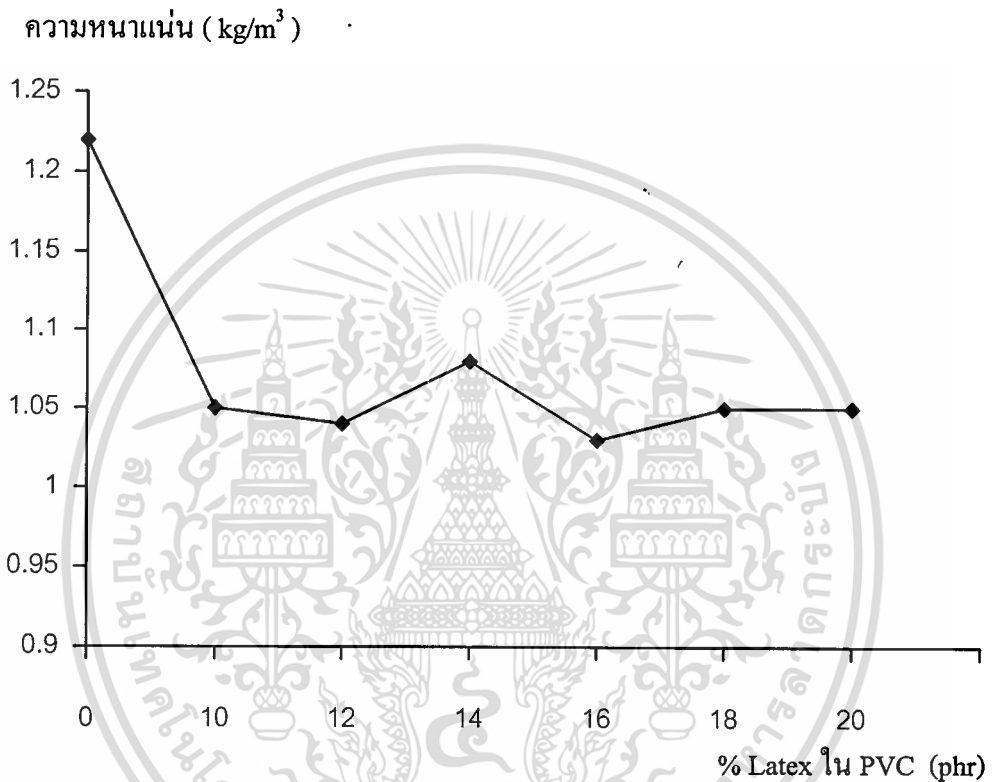
4.4.1 พีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 จะมีความแข็งที่ลดลงกว่าพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3

4.4.2 ปริมาณ Latex ที่เติมลงไปในพีวีซีเพิ่มขึ้นทำให้พีวีซีมีความแข็งที่ลดลง โดยที่พีวีซีที่เติม Latex 0% จะมีความแข็งที่ผิวมากที่สุด และพีวีซีที่เติม Latex 20% จะมีความแข็งที่ผิวน้อยที่สุด

4.5 ความหนาแน่น (Density)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่น (ρ)

%Latex	0	10	12	14	16	18	20
ρ เฉลี่ย $\times 10^3$ (kg/m^3)	1.22	1.05	1.04	1.08	1.03	1.05	1.05



ภาพที่ 4.5 แสดงความหนาแน่นของพีวีซีที่เติม Latex ในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 แสดงว่า

4.4.1 พีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า พีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3

4.4.2 ปริมาณ Latex ที่เติมลงไปในพีวีซีเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของพีวีซี เพราะ ว่าพีวีซีที่เติม Latex ลงไปในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กันจะมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

4.6 ผลการทดสอบรวม

สรุปรวมผลเฉลี่ยสมบัติเชิงกล 5 ประการ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลเฉลี่ยของการทดสอบสมบัติเชิงกล 5 ประการ

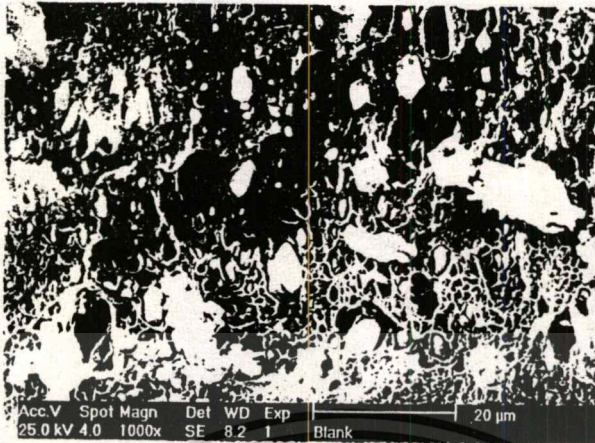
ปริมาณ Latex	IS (J/m)	TS (MPa)	% Elongation	ความแข็ง (HRB)	ความหนาแน่น $\times 10^3$ (kg/m ³)
0%	16.07	57.55	16.25	110.50	1.22
10%	49.50	44.24	24.39	98.63	1.05
12%	57.49	44.09	32.85	93.30	1.04
14%	62.10*	39.43	35.39	90.57	1.08
16%	58.90	41.29	19.48	83.27	1.03
18%	52.30	39.62	20.83	79.43	1.05
20%	45.62	32.90	15.05	76.47	1.05

จากตารางที่ 4.6 สามารถสรุปผลโดยรวมได้ดังนี้

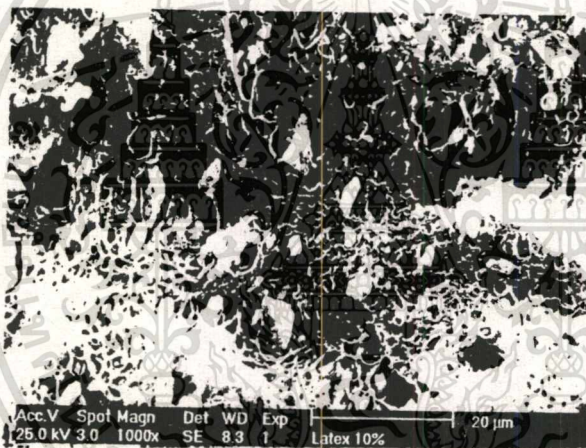
4.6.1 พีวีซีที่เติม Latex 14% จะรับแรงกระแทกได้ดีที่สุด และมีความสามารถในการยืดตัวได้ดีที่สุด

4.6.2 พีวีซีที่เติม Latex ลงไป จะมีความต้านทานแรงดึง ความแข็งที่ผิว และความหนาแน่น น้อยกว่าพีวีซีที่ไม่เติม Latex

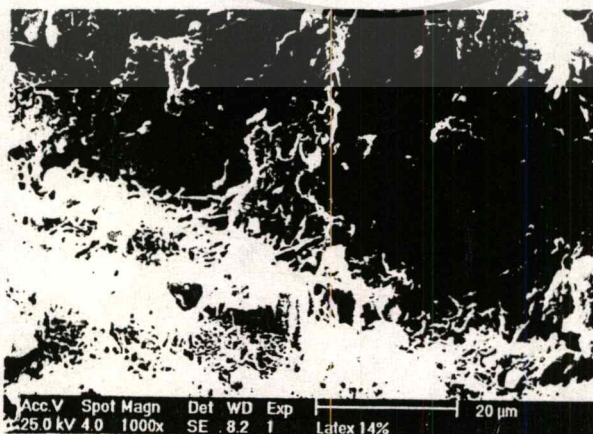
4.7 ผลการศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 4.6 แสดงผิวพีวีซีที่ไม่เติม Latex



ภาพที่ 4.7 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 10%



ภาพที่ 4.8 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 14%

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง “การปรับปรุงการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีโดยใช้ยางธรรมชาติ” เป็น การวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งหลังจากการทดลองแล้วจะนำเสนอผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของพีวีซี โดยใช้ยางธรรมชาติ

5.1.1.2 เพื่อศึกษาปริมาณยางธรรมชาติที่เหมาะสมที่ใช้ปรับปรุงสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

5.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยโดยการผลิตพีวีซีคอมปานด์ ทั้งสูตรนิ่มและสูตรแข็ง โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่และเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน แล้วจึงนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบเชิงกล 5 ประการ รวมทั้งการศึกษาผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

5.1.3 ผลการวิจัย

5.1.3.1 ความต้านแรงกระแทก

1) พีวีซีที่เติม Latex จะรับแรงกระแทกได้ดีกว่าพีวีซีที่ไม่เติม Latex หรือกล่าวได้ว่าพีวีซี ที่เติม Modified CaCO₃ จะรับแรงกระแทกได้ดีกว่าพีวีซี ที่เติม Unmodified CaCO₃

2) พีวีซีที่เติม Latex 14% จะรับแรงกระแทกได้ดีที่สุด

5.1.3.2 ความต้านทานแรงดึง

พีวีซีที่เติม Modified CaCO₃ จะมีค่าความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO₃

5.1.3.3 เฟอร์เซนต์การยึดตัว

พีวีซีที่เติม Latex 14% จะมีความสามารถในการยึดตัวได้สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.4 ความแข็ง

- 1) พีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 จะมีความแข็งที่ผิวลดลงกว่าพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3
- 2) ความแข็งที่ผิวของพีวีซีจะมีค่าลดลง เมื่อปริมาณ Latex ที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น

5.1.3.5 ความหนาแน่น

พีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3 จะมีความหนาแน่นมากกว่าพีวีซีที่เติม Modified CaCO_3

5.1.3.6 การศึกษาผิวของพีวีซี โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผิวของพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3 จะต่างกับผิวของพีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 โดยจะเห็น Latex กระจายอยู่ทั่วไปในพีวีซี

5.1.3.7 ความต้านทานแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี (สูตรนึม)

จากการทดลองพบว่าพีวีซี (สูตรนึม) เมื่อผสม Modified CaCO_3 ลงไปทำให้การรับแรงกระแทกลดลงกว่า พีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3

5.2 อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการผสมสารต่างๆ ลงในเครื่องผสมความเร็วสูงพร้อมกันทั้งหมด ปรากฏผลว่ายางธรรมชาติไม่รวมตัวกับสารอื่นเลย ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองโดยการผสมยางธรรมชาติ (Latex) ในอัตราส่วนต่างๆ กัน (0-20 phr) กับ CaCO_3 ก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับสารอื่นๆ ในเครื่องผสมความเร็วสูง ซึ่งปรากฏว่าสารทั้งหมดสามารถเข้ากันได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าพีวีซีเป็นสารที่มีขั้ว (Polar) แต่ยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (Non polar) สารทั้งสองจึงไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งสารที่จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างพีวีซีกับยางธรรมชาติก็คือ CaCO_3 นั่นเอง

ดังนั้น เมื่อผสมยางธรรมชาติกับ CaCO_3 ก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นๆ จึงสามารถเข้ากันได้

การวิจัยครั้งนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยทั้ง 2 ข้อ คือ

- 1) ยางธรรมชาติทำให้สมบัติการรับแรงกระแทกของพีวีซีดีขึ้น
- 2) ปริมาณยางธรรมชาติที่เติมลงไปทำให้สมบัติเชิงกลของพีวีซีดีขึ้น

5.2.1 ความต้านทานแรงกระแทก

สาเหตุที่พีวีซีที่เติม Latex ในปริมาณต่างๆ รับแรงกระแทกได้ดีกว่า พีวีซีที่ไม่เติม Latex และ พีวีซีที่เติม Latex 14% รับแรงกระแทกได้ดีที่สุด น่าจะแสดงว่าปริมาณ Latex ที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ Latex ที่เติมลงไปจะมีขีดจำกัด ถ้าเติมมากเกินไปก็ไม่สามารถช่วยให้การรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซีเพิ่มขึ้นอีก

5.2.2 ความต้านทานแรงดึง

จากการทดลองพบว่าพีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 มีความต้านทานแรงดึงลดลงกว่าพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3 แสดงว่าปริมาณ Latex ที่เติมลงไปทำให้ความสามารถในด้านทานแรงดึงของพีวีซีลดลง

5.2.3 เปอร์เซ็นต์การยึดตัว

ในกรณีพบว่าพีวีซีที่เติม Latex 14% ยึดตัวได้มากที่สุด และยังคงคล้องกับการรับแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า Latex เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเนื้อของพีวีซี หรืออาจกล่าวได้ว่า Latex ไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกับพีวีซี ดังนั้นเมื่อให้แรงกระแทกหรือทำให้พีวีซียึดตัว แรงที่ส่งผ่านไปยังส่วนของยางจะถูกดูดซับได้มากกว่า หรือถูกทำให้ยึดได้มากกว่า จึงทำให้ค่าการทดลองทั้งสองสูงขึ้น แต่ทำให้ความต้านทานแรงดึงของพีวีซีลดลง

5.2.4 ความแข็ง

พบว่า ความแข็งที่ผิวของพีวีซีลดลงเมื่อเติม Latex ลงไป สาเหตุอาจเนื่องจาก Latex ที่แทรกอยู่ใน พีวีซีจะแทรกตัวทุกส่วนของพีวีซีรวมทั้งที่ผิวด้วย จึงทำให้ที่ผิวหน้าของพีวีซีนิ่มขึ้น

5.2.5 ความหนาแน่น

การที่ความหนาแน่นของพีวีซีที่เติม Unmodified CaCO_3 มีค่ามากกว่าพีวีซีที่เติม Modified CaCO_3 เพราะว่า Latex ที่แทรกอยู่ในเนื้อพีวีซีมีความหนาแน่นต่ำกว่าพีวีซี

5.2.6 การศึกษาผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

แสดงให้เห็นว่า Latex ที่เติมลงไปไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพีวีซี แต่จะไปแทรกอยู่เท่านั้น

5.2.7 ความต้านทานแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี (สูตรนึม)

แสดงว่าปริมาณ Latex ที่เติมลงไปไม่ช่วยให้การรับแรงกระแทกของพีวีซี (สูตรนึม) เพิ่มขึ้นแต่กลับทำให้การรับแรงกระแทกลดลง สาเหตุเนื่องจาก Latex ที่เติมลงไปนั้นไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับพีวีซี หรืออาจกล่าวได้ว่า Latex เป็นพลาสติกไซเซออร์ชนิดหนึ่ง เพราะว่าทำให้ PVC นิ่มลง แต่ในการคอมเปานด์พีวีซี (สูตรนึม) มีพลาสติกไซเซออร์ คือ DIDP และ EDENOL ที่เหมาะสมอยู่แล้ว Latex ที่ผสมลงไปจึงไปรบกวน การทำงานของพลาสติกไซเซออร์ ทำให้การเกาะยึดกันระหว่างโมเลกุลของพีวีซีกับพลาสติกไซเซออร์ลดลง ดังนั้นประสิทธิภาพในการรับแรงกระแทกของพีวีซีจึงลดลง

และสามารถเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่างพีวีซีที่เติม Latex ที่ได้จากการทดลองกับพีวีซีทั่ว ๆ ไปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพีวีซีที่ทดลองกับพีวีซีทั่ว ๆ ไป

สมบัติเชิงกล	พีวีซี ที่ทดลอง	พีวีซี ทั่ว ๆ ไป	หมายเหตุ
1. ความต้านทานแรงกระแทก(J/m)	62.10	34.7*	*มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หน้าต่างพีวีซี มอก.1043-2534
2. ความต้านทานแรงดึง (MPa)	44.24	34.5*	
3. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว	17.69	-	
4. ความแข็ง (HRB)	76.47	-	
5. ความหนาแน่น (kg/m ³)	1.08 x 10 ³	1.3 x 10 ³	

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้ทราบว่าพีวีซีที่ทำขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ มีความสามารถในการรับแรงกระแทกและความต้านทานแรงดึง ดีกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การใช้ยางธรรมชาติ หรือ Latex เป็นสารปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกของแผ่นพีวีซี (สูตรแข็ง) นั้นทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกของพีวีซีเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณจำกัด คือสามารถเติม Latex ได้ไม่เกิน 14% ซึ่งสามารถนำพีวีซีที่ทำขึ้นนี้ไปทำกรอบหน้าต่างและนำไปเป็นกระเบื้องปูพื้นได้

5.3.2 นอกจากนั้น อาจจะศึกษาเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

5.3.2.1 ศึกษาการใช้ Coupling agent ในการปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างยางกับพีวีซี

5.3.2.2 ศึกษาสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สมบัติการไหล, Abrasion resistance, Tear resistance ฯลฯ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิฑูรย์ ศิริไพบูลย์. “PVC วัสดุที่มีส่วนร่วมอนุรักษ์ธรรมชาติ.” *พลาสติก*. ปีที่12, ฉบับที่ 4, 2539. หน้า 24-25.
- [2] วิฑูรย์ ศิริไพบูลย์. “PVC วัสดุที่มีส่วนร่วมอนุรักษ์ธรรมชาติ ตอนที่ 2.” *พลาสติก*. ปีที่12, ฉบับที่ 5, 2539. หน้า 59-60.
- [3] ศูนย์วิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง. “การพัฒนาการผลิตยางและตลาดยางของไทย.” สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : 2540
- [4] Graham Hewlett. **The Formation of PVC Compounds, Application and Quality Control.** Interplas Thailand’ 95 Exhibition, Queen Sirikit Exhibition Center Bangkok, Thailand. 1993.
- [5] Sahajpal, V. “Impact Modifiers for PVC.” **Development in PVC Technology.** Applied Science Publishers. London. 1973.
- [6] บรรณ เลง ศรีนิล. *เทคโนโลยีพลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร : ส.เอเชียเพรส. 2539.
- [7] จตุพร รัตนผลกา. “การศึกษาสมบัติของพลาสติกไพซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.* 2535.
- [8] วรรัตน์ โสภโณวงศ์. “การศึกษาสมบัติในการรับแรงกระแทกของพลาสติก PVC แข็งโดยการเติมเศษยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.* 2536.
- [9] ชาคริต สิริสิงห. “การศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกแม่เหล็กที่เตรียมจากสารเชิงประกอบระหว่างโพลีไวนิลคลอไรด์กับแบเรียมเฟอร์ไรท์.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.* 2536.
- [10] กษมา จารุกำจร. “การศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมต่อสมบัติในการรับแรงกระแทกของพลาสติกไพซีผสมด้วยเศษยางที่วัลคาไนซ์แล้ว.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.* 2536.
- [11] โดมศักดิ์ กฤตยาหารุญษ์ ปราณี ภิญญูชีพ และ เฟรดเดอริค เอช แอ็กเทล. “การศึกษาสมบัติของโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ผสมเศษวัสดุยางที่วัลคาไนซ์แล้ว.” *งานวิจัยที่เสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, กรุงเทพมหานคร: 2539.*
- [12] Sankarapandian ,M. and Kishore K. “Miscibility of poly (vinyl choride) and poly (phenyl methacrylate).” **Polymer.** 37(1) : 957-2961. 1966.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] ชนสาร ไม่เต็มสุข ปราณี ภิญญูชีพ และเฟรดเดอริก เอช แอ็กเทล. “การศึกษาผลขององค์ประกอบของส่วนผสมและกระบวนการขึ้นรูปที่มีต่อค่าความทนแรงกระแทกของโพลิโพรพิลีนเมื่อเติมเศษยางที่ใช้แล้ว.” งานวิจัยที่เสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, กรุงเทพมหานคร: 2539.
- [14] ชีรวุฒิ นคินทร์พงษ์และคณะ. “การผสมเยื่อเคฟลาร์กับเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ด้านสมบัติเชิงกลและด้านการผสมเข้ากัน.” งานวิจัยที่เสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, กรุงเทพมหานคร: 2539.
- [15] วรพงษ์ ขวดีอัมพร และคณะ. “สมบัติเชิงกลของเยื่ออะรามิดผสมพอลิโพรพิลีน.” งานวิจัยที่เสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, กรุงเทพมหานคร: 2539.
- [16] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หน้าต่างพีวีซี มอก.1043-2534.” กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : อักษรไทย. 2534.
- [17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อพีวีซีแข็ง สำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ มอก.216-2520.” พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม. 2539.
- [18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อพีวีซีแข็ง สำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม มอก.17-2532.” พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม. 2539.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
แสดงตารางทดสอบสมบัติเชิงกล 5 ประการของพีวีซีที่เติม Latex ในปริมาณต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)

ตารางที่ 6.1 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (IS)

ชั้นที่	1			2			3			ค่า IS เฉลี่ย
	ความหนา $\times 10^{-3}$ (m)	ค่าพลังงาน (J)	IS (J/m)	ความหนา $\times 10^{-3}$ (m)	ค่าพลังงาน (J)	IS (J/m)	ความหนา $\times 10^{-3}$ (m)	ค่าพลังงาน (J)	IS (J/m)	
1. Latex 0%	7.8	0.128	16.41	7.6	0.120	15.79	7.5	0.120	16.00	16.07
2. Latex 10%	6.5	0.328	50.46	6.6	0.316	47.88	6.7	0.336	50.15	49.50
3. Latex 12%	6.4	0.316	49.38	6.5	0.384	58.63	6.2	0.408	65.81	57.49
4. Latex 14%	6.6	0.408	61.82	6.6	0.396	60.00	6.7	0.432	64.48	62.10*
5. Latex 16%	6.6	0.376	56.97	6.6	0.376	56.97	6.5	0.408	62.77	58.90
6. Latex 18%	6.7	0.360	53.73	6.8	0.328	48.23	6.7	0.368	54.93	52.30
7. Latex 20%	6.7	0.280	41.97	6.6	0.328	49.70	6.7	0.304	45.37	45.62

6.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)

ตารางที่ 6.2 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ชั้นที่	1	2	3	ค่าเฉลี่ย (MPa)
	Max Stress (MPa)	Max Stress (MPa)	Max Stress (MPa)	
1. Latex 0%	60.76	57.04	54.84	57.55
2. Latex 10%	43.76	47.51	41.44	44.24
3. Latex 12%	43.61	43.02	45.64	44.09
4. Latex 14%	39.56	38.66	40.06	39.43
5. Latex 16%	41.63	41.61	40.62	41.29
6. Latex 18%	38.80	39.71	40.35	39.62
7. Latex 20%	32.98	33.57	32.14	32.90

6.3 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation)

ตารางที่ 6.3 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ชั้นที่	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
ชั้นงานทดลอง	% Elongation	% Elongation	% Elongation	
1. Latex 0%	15.74	17.78	15.24	16.25
2. Latex 10%	21.34	29.98	21.84	24.39
3. Latex 12%	55.88	25.90	16.76	32.85
4. Latex 14%	26.92	42.16	37.08	35.39
5. Latex 16%	17.25	22.36	18.80	19.48
6. Latex 18%	22.86	17.28	22.36	20.83
7. Latex 20%	14.04	13.42	17.70	15.05

6.4 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 6.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งโดยใช้ Rockwell hardness tester

ชั้นที่	1	2	3	ค่าเฉลี่ย (HRB)
ชั้นงานทดลอง	ค่าความแข็งที่อ่านได้ (HRB)			
1. Latex 0%	110.7	109.6	111.2	110.50
2. Latex 10%	98.0	99.3	98.6	98.63
3. Latex 12%	94.7	93.3	91.9	93.30
4. Latex 14%	89.2	90.8	91.7	90.57
5. Latex 16%	83.7	82.6	83.5	83.27
6. Latex 18%	80.8	79.1	78.4	79.43
7. Latex 20%	78.1	78.0	73.3	76.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ผลการทดสอบความหนาแน่น (Density)

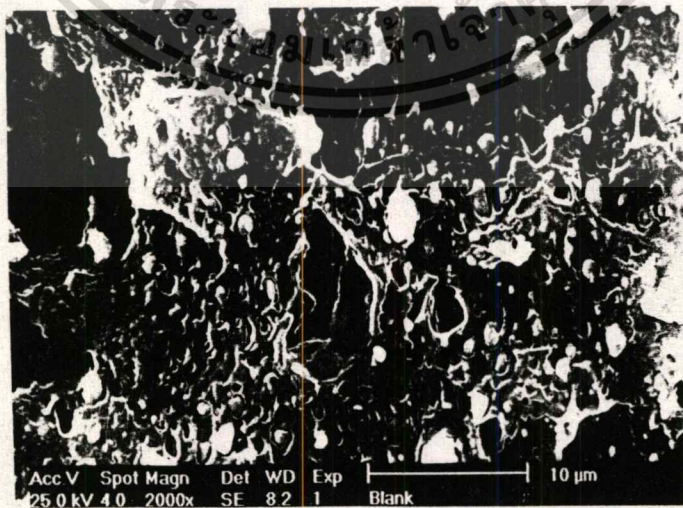
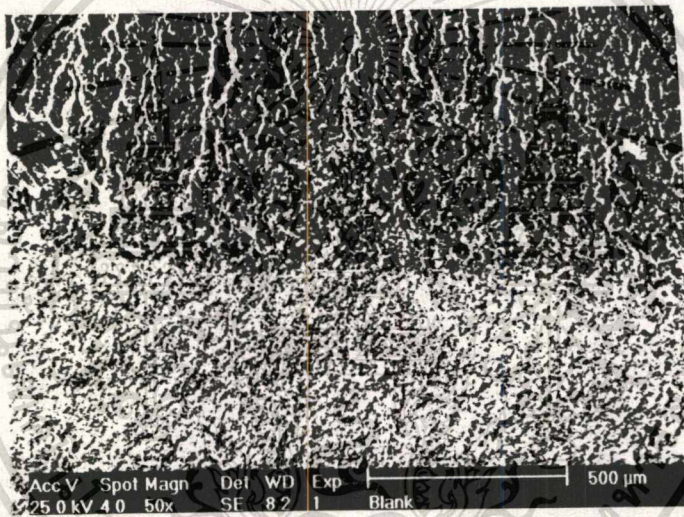
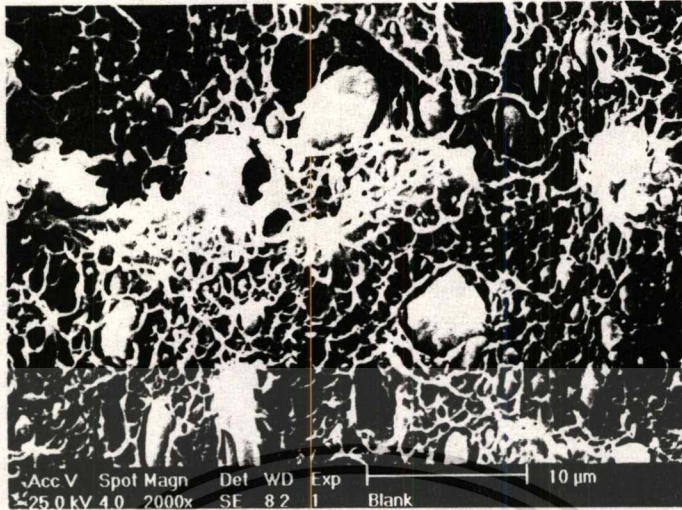
ตารางที่ 6.5 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่น

ชั้นที่ ชั้นงานทดลอง	1			2			3			ค่าเฉลี่ย $\times 10^3$ (kg/m^3)
	m	v	ρ	m	v	ρ	m	v	ρ	
1. Latex 0%	3.85	3.20	1.20	3.85	3.2	1.20	3.75	3.00	1.25	1.22
2. Latex 10%	3.45	3.20	1.01	3.35	3.0	1.12	3.40	3.30	1.03	1.05
3. Latex 12%	3.10	2.80	1.11	3.20	1.00	3.20	3.00	2.95	1.02	1.04
4. Latex 14%	3.20	2.90	1.10	3.10	3.00	1.03	3.30	3.00	1.10	1.08
5. Latex 16%	3.20	3.00	1.07	3.20	3.18	1.01	3.20	3.20	1.00	1.03
6. Latex 18%	3.40	3.20	1.06	3.30	2.80	1.14	3.40	3.58	0.95	1.05
7. Latex 20%	3.20	3.00	1.07	3.20	3.20	1.00	3.00	2.81	1.07	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



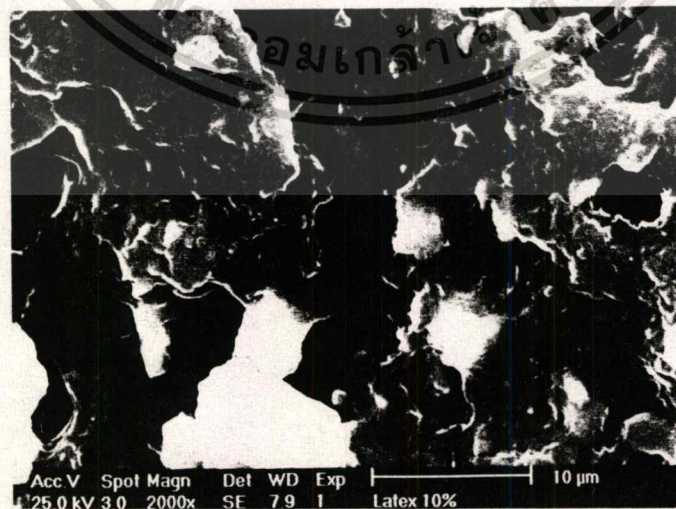
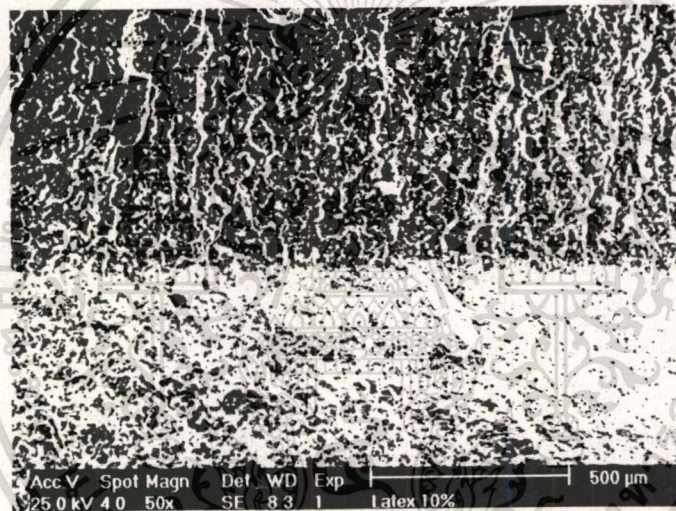
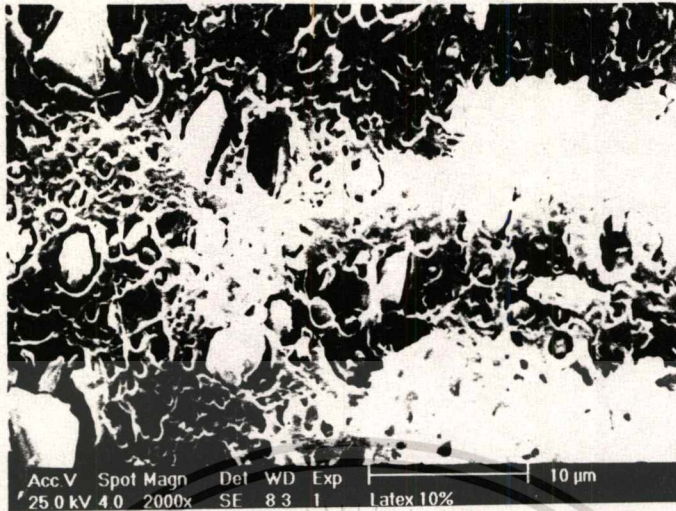
ภาคผนวก ข
แสดงการศึกษาผิวของพีวีซีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 6.1 แสดงผิวของพีวีซีที่ไม่เติม Latex

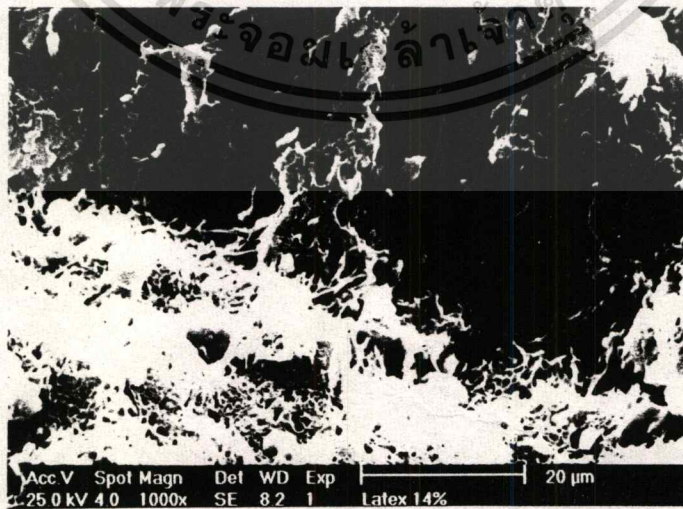
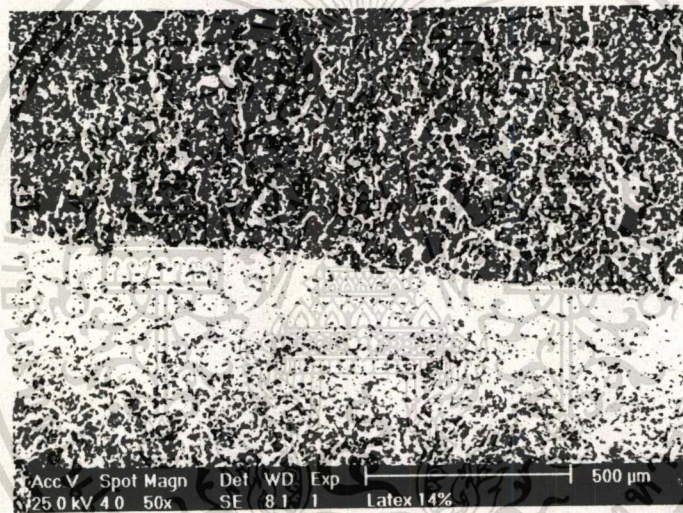
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.2 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.3 แสดงผิวของพีวีซีที่เติม Latex 14%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
คำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและกรรมการพิจารณาหัวข้อ
และเค้าโครงวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำสั่งคณะกรรมการอุดมศึกษา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ 122 /2541

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อ
และเค้าโครงวิทยานิพนธ์ของ นางสาวพร กิตติสารวัฒน์

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ของ นางสาวพร กิตติสารวัฒน์ เป็นไปด้วยความเรียบร้อย
และมีประสิทธิภาพ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อควบคุมและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์
ดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	มงคลอัศวรัตน์	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
อาจารย์ชวลิต	แสงสวัสดิ์	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม
ดร.อิทธิพล	แจ้จ๊ด	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.รวิวรรณ	ชินะตระกูล	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร.พรรณี	ลี้กิจวัฒน์	กรรมการประจำสาขาวิชา
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	มงคลอัศวรัตน์	กรรมการประจำสาขาวิชา
ดร.อิทธิพล	แจ้จ๊ด	กรรมการ
อาจารย์ชวลิต	แสงสวัสดิ์	กรรมการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 15 พฤษภาคม 2541

Pray

ประวัติผู้เขียน

นางสุรพร กิตติสารวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2492 ที่จังหวัดลำพูน สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2514

ปี พ.ศ. 2515 เข้ารับราชการในตำแหน่งครุตรี โรงเรียนช่างกลพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้าแผนกวิชาวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้