

สมบัติเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว

นางสาว รัชณี เจริญฤทธิโรจน์



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974 - 638 - 142 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED POLYVINYL CHLORIDE



Miss Rachanee Charoenwutthiroj

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

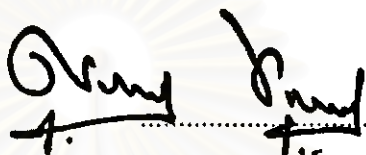
Academic Year 1997

ISBN 974 - 638 - 142 - 3


หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว  
โดย นางสาว รัชณี เจริญฤทธิโรจน์  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

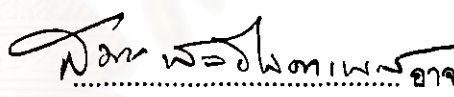
---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคิก)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชอุ่ม มลิลดา)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รับนี้ เจริญวุฒิโรจน์ : สมบัติเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว (MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED POLYVINYL CHLORIDE) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 143 หน้า. ISBN 974 - 638 - 142 - 3.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยการใช้เส้นใยแก้วชนิด E - Glass แบบ Chopped Strands ที่มีขนาดความยาวเฉลี่ย 6 มิลลิเมตร เป็นสารเสริมแรงพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ถูกเตรียมจากพีวีซีเรซินที่มีค่า K เท่ากับ 58 และ 64 โดยใช้ปริมาณเส้นใยแก้วตั้งแต่ 0% ถึง 40% โดยน้ำหนัก ส่วนผสมทั้งหมดจะถูกผสมในเครื่องผสม และนำมาอัดเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องผสมชนิดลูกกลิ้งสองแถว แล้วอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัด ชิ้นงานที่ได้นำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ได้แก่ ความตึงจำเพาะ ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด และความแข็งแรงของวัสดุ

จากการทดลอง พบว่าปริมาณเส้นใยแก้วมีผลทำให้ค่าความตึงจำเพาะของพลาสติกเสริมแรง โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงกด และความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึงและเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึงลดลง และปริมาณเส้นใยแก้วที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพลาสติกเสริมแรง เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเสริมแรง ทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกดสูงสุดเท่ากับ 35,280 และ 15,800 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าเส้นใยแก้วมีการกระจายอยู่ทั่วเนื้อเรซิน และเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เส้นใยแก้วเกิดการฉีกขาด และหัก ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุผสมลดลง ผลกระทบของไดออกทิลพาทาเลต (Di - Octyl Phthalate : DOP) ซึ่งเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกมีผลต่อพลาสติกพีวีซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว คือ ทำให้ค่าความตึงจำเพาะ ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงกด และความแข็งแรงของวัสดุลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ผลกระทบของการเปลี่ยนพีวีซีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกรุนาน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 เป็น 64 ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงดึง และความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทกเพิ่มขึ้น ในขณะที่โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึงมีค่าลดลง และการใส่สารปรับปรุงแรงกระแทกในพลาสติกพีวีซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีผลให้วัสดุสามารถทนแรงกระแทกดีขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหการ .....

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหการ .....

ปีการศึกษา ..2540.....

ลายมือชื่อนิติกร *วิเศษ วัฒนวิโรจน์* .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *สมชาย พัวจินดาเนตร* .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

\*\* C 816572 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: GLASS FIBER REINFORCED POLYVINYL CHLORIDE / PVC

RACHANEE CHAROENWUTTHIROJ : MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED POLYVINYL CHLORIDE. THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUJINDANETR, Ph.D. 143 pp. ISBN 974 - 638 -142 - 3.

The physical and mechanical properties of chopped glass fibers about 6 mm. length reinforced with polyvinyl chloride (PVC) were studied. The fiber glass reinforced polyvinyl chloride were mixed with polyvinyl chloride resins which the K values were 58 and 64. The fiber glass was composed in reinforced specimens ranged between 0% to 40% by weight. The fiber glass and PVC resin were mixed using mixer, and compounded using two-roll milling, then compressed to obtained a specimen. The specimens were characterized on physical and mechanical properties such as specific gravity, tensile strength, elongation, young 's modulus, impact strength, compressive strength, compressive modulus and hardness. The relationships amount mechanical properties were studied.

The experimental results showed that the quantity of glass fiber increased with the specific gravity, young 's modulus, compressive modulus and hardness, while tensile strength and % elongation were decreased. The best properties of the glass fiber reinforced (GFR) PVC were obtained where the amount of glass fibers were 30 % by weight. This mixture provided the maximum of young 's modulus and compressive modulus being 35,280 and 15,800 kg/mm<sup>2</sup>, respectively. The scanning electron microscopy resulted that chopped fiber composites were short fiber randomly dispersed in the matrix, and the fibers were broken. Therefore, the strength of composite materials were decreased. The effect of Di - Octyl phthalate on GFR PVC was found that the specific gravity, tensile strength, young 's modulus, compressive modulus and hardness were decreased whereas the elongation of material was increased. Finally, the K value of PVC resin which was changed from 58 to 64 resulted the elongation and impact strength increased whereas young 's modulus decreased. However, the impact strength of composite was improved with adding of impact modifier.

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....

ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิติ.....*Sen Kiatwutthiroj*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Dr. Pujindanetr*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... — .....

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความเมตตา กรุณาของอาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อเสนอแนะ ความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่ง ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึกษ และ รองศาสตราจารย์ ชอุ่ม มลิลดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท สมพลภัณฑ์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ รวมถึงสถานที่ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และการทดสอบสมบัติบางประการ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท ไทยวิโทรเทคท์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยแก้ว เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ได้แก่ เจ้าหน้าที่โรงงานทุกท่าน เจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการเข้าใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่ยึดมั่น เคารพ บูชาตลอดมา และขอขอบคุณ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ให้กำลังใจ มาโดยตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๗
กิตติกรรมประกาศ.....	๘
สารบัญ.....	๙
สารบัญตาราง.....	๑๑
สารบัญรูป.....	๑๓
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2. ทฤษฎีพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัย	
2.1 โพลีไวนิลคลอไรด์	
2.1.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรจิน.....	5
2.1.2 กรรมวิธีการผลิตและการตกแต่งโพลีไวนิลคลอไรด์.....	6
2.1.3 การใช้สารเติมแต่งในกระบวนการผลิต.....	6
2.1.4 ชนิดของสารเติมแต่ง.....	7
2.1.5 การจำแนกชนิดของพีวีซี.....	13
2.2 โยแก้ว	
2.2.1 รูปแบบของเส้นโยแก้ว.....	14
2.2.2 เกรดของเส้นโยแก้ว.....	15
2.2.3 เส้นโยแก้วในเทอร์โมพลาสติก.....	17
2.2.4 ผลของการเสริมแรงด้วยโยแก้ว.....	18
2.2.5 คุณสมบัติที่ดีขึ้นเนื่องจากการเสริมแรงด้วยโยแก้ว (20% ถึง 40%).....	19
2.2.6 ข้อเสียของการเสริมแรงด้วยโยแก้ว.....	20
2.2.7 หลักสำคัญ 4 ประการในการนำโยแก้วมาทำการเสริมแรง.....	20
2.2.8 การประยุกต์การเสริมแรงโดยการใช้เส้นโยแก้วในเทอร์โมพลาสติก.....	20
2.3 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22

	หน้า
บทที่ 3. วิธีการดำเนินการทดลอง.....	25
3.1 การเตรียมชิ้นงานและการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM	
3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.1.2 วิธีการเตรียมการขึ้นงาน.....	27
3.2 การตรวจสอบรูปทรง และลักษณะผงพิวซี และเส้นใยแก้ว	
3.2.1 การตรวจสอบรูปทรง และลักษณะผงพิวซี และเส้นใยแก้ว.....	31
3.2.2 การตรวจสอบการกระจายของอนุภาคผงวัสดุ.....	31
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	31
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	32
3.4.1 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง.....	32
3.4.2 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก.....	33
3.4.3 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด.....	33
3.4.4 ความแข็งแรงของวัสดุ.....	34
3.5 การตรวจสอบการกระจายตัวของเส้นใยแก้วในพลาสติกเสริมแรง ภายหลังการทดสอบแรงดึง.....	34
3.6 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ.....	36
บทที่ 4. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	37
4.1 ผลการตรวจสอบรูปทรง และลักษณะผงพิวซี และเส้นใยแก้ว	
4.1.1 รูปทรงวัสดุ.....	38
4.1.2 การกระจายของขนาดอนุภาควัสดุ.....	38
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล	
4.2.1 ความถ่วงจำเพาะ.....	45
4.2.2 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง.....	48
4.2.3 เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	51
4.2.4 โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	54
4.2.5 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก.....	57
4.2.6 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด.....	60
4.2.7 โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด.....	65
4.2.8 ความแข็งแรงของวัสดุ.....	70



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการตรวจสอบการกระจายตัวของเส้นใยแก้วในพลาสติกภายหลังการดึง.....	75
4.4 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ.....	94
4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความถ่วงจำเพาะ.....	94
4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งแรงของวัสดุ ภายใต้แรงดึง.....	96
4.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ภายใต้แรงดึง.....	98
4.4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลัสความยืดหยุ่น ภายใต้แรงดึง.....	100
4.4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งแรงของวัสดุ ภายใต้แรงกระทำ.....	102
4.4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งแรงของวัสดุ ภายใต้แรงกด.....	104
4.4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลัสความยืดหยุ่น ภายใต้แรงกด.....	108
4.4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งของวัสดุ.....	112
<b>บทที่ 5. วิจารณ์ผลการทดลอง</b>	
5.1 ผลกระทบที่มีต่อค่าความถ่วงจำเพาะ.....	114
5.2 ผลกระทบที่มีต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง.....	115
5.3 ผลกระทบที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	116
5.4 ผลกระทบที่มีต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	116
5.5 ผลกระทบที่มีต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระทำ.....	117
5.6 ผลกระทบที่มีต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด.....	118
5.7 ผลกระทบที่มีต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด.....	119
5.8 ความแข็งของวัสดุ.....	119
<b>บทที่ 6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ</b>	
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	121
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	122
รายการอ้างอิง.....	124

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก - ก ข้อมูลผลการทดลองสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	127
ภาคผนวก - ข ตัวอย่างผลการทดสอบสมบัติของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง.....	138
ภาคผนวก - ค ตัวอย่างคำสั่งโปรแกรมคำสั่ง และผลการรันโปรแกรม SAS.....	140
ประวัติผู้เขียน.....	143



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเลือกใช้ Silanes ในงานลักษณะต่าง ๆ.....	8
2.2 คุณสมบัติของใยแก้วชนิดต่าง ๆ.....	16
3.1 ส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.1 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคพีวีซีเรซิน ที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	41
4.2 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคพีวีซีเรซิน ที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 64.....	42
4.3 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคสารช่วยขึ้นรูป.....	43
4.4 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคสารปรับปรุงแรงกระแทก.....	44
4.5 ข้อมูลของค่าความตึงจำเพาะ.....	47
4.6 ข้อมูลของค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง.....	50
4.7 ข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	53
4.8 ข้อมูลของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง.....	56
4.9 ข้อมูลของค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก.....	59
4.10 ข้อมูลของค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด ในแนว Longitudinal .....	63
4.11 ข้อมูลของค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด ในแนว Transverse.....	64
4.12 ข้อมูลของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Longitudinal.....	68
4.13 ข้อมูลของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Transverse.....	69
4.14 ข้อมูลของค่าความแข็งของวัสดุ.....	72
4.15 ข้อมูลสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยใยแก้ว.....	73
4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความตึงจำเพาะ โดยใช้พีวีซีเรซินที่มีค่า ดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	95
4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความตึงจำเพาะ โดยใช้พีวีซีเรซินที่มีค่า ดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 โดยไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก....	95
4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง โดยใช้พีวีซีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	97
4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง โดยใช้ พีวีซีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 โดยไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก.....	97



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลีความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Longitudinal โดยใช้วิธีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 โดยไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก.....	110
4.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลีความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Transverse โดยใช้วิธีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	111
4.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลีความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Transverse โดยใช้วิธีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 โดยไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก.....	111
4.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งของวัสดุ โดยใช้วิธีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	113
4.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็งของวัสดุ โดยใช้วิธีเรซินที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 โดยไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก.....	113



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน.....	5
2.2 กรรมวิธีการผลิต ผลิตภัณฑ์พีวีซี.....	6
2.3 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว วิธีที่ 1.....	17
2.4 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว วิธีที่ 2.....	17
3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในการทดลอง.....	29
3.2 ชิ้นงานรูปดัมเบล ใช้ทดสอบแรงดึง.....	30
3.3 ชิ้นงานที่มีรอยบาก ใช้ทดสอบแรงกระแทก.....	30
3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	35
3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	35
4.1 ภาพถ่าย SEM ของพีวีซีเรซิน ที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 กำลังขยาย 110 เท่า.....	39
4.2 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยแก้ว ชนิด E - Glass กำลังขยาย 160 เท่า.....	40
4.3 ภาพถ่าย SEM หน้าตัดของเส้นใยแก้ว ชนิด E - Glass กำลังขยาย 1500 เท่า.....	40
4.4 การกระจายของขนาดอนุภาคพีวีซีเรซิน ที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 58.....	41
4.5 การกระจายของขนาดอนุภาคพีวีซีเรซิน ที่มีค่าดัชนีบ่งบอกระดับโมเลกุล (K) เท่ากับ 64.....	42
4.6 การกระจายของขนาดอนุภาคสารช่วยขึ้นรูป.....	43
4.7 การกระจายของขนาดอนุภาคสารปรับปรุงแรงกระแทก.....	44
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดงจำเพาะ กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	46
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง กับ พลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	49
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง กับ พลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	52
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง กับ พลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	55
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก กับ พลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด ในแนว Longitudinal กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	61
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด ในแนว Transverse กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	62
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Longitudinal กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	66
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด ในแนว Transverse กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	67
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของวัสดุ กับพลาสติกพีวีซีเสริมใยแก้ว.....	71
4.18 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 (กลุ่ม A) กำลังขยาย 150 เท่า.....	76
4.19 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีเส้นใยแก้ว 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม A) กำลังขยาย 150 เท่า.....	77
4.20 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีเส้นใยแก้ว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม A) กำลังขยาย 150 เท่า.....	77
4.21 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีเส้นใยแก้ว 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม A) กำลังขยาย 150 เท่า.....	78
4.22 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีเส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม A) กำลังขยาย 150 เท่า.....	78
4.23 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระทำ 5 phr (กลุ่ม B) กำลังขยาย 150 เท่า.....	79
4.24 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระทำ 5 phr และเส้นใยแก้ว 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม B) กำลังขยาย 150 เท่า.....	80
4.25 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระทำ 5 phr และเส้นใยแก้ว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม B) กำลังขยาย 150 เท่า.....	80





สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก 20 phr สารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr และเส้นใยแก้ว 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม D) กำลังขยาย 150 เท่า.....	87
4.37 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 58 ที่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก 20 phr สารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr และเส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม D) กำลังขยาย 150 เท่า.....	87
4.38 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 (กลุ่ม E) กำลังขยาย 150 เท่า.....	88
4.39 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีเส้นใยแก้ว 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม E) กำลังขยาย 150 เท่า.....	89
4.40 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีเส้นใยแก้ว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม E) กำลังขยาย 150 เท่า.....	89
4.41 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีเส้นใยแก้ว 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม E) กำลังขยาย 150 เท่า.....	90
4.42 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีเส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กลุ่ม E) กำลังขยาย 150 เท่า.....	90
4.43 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr (กลุ่ม F) กำลังขยาย 150 เท่า.....	91
4.44 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr และ เส้นใยแก้ว 10 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก (กลุ่ม F) กำลังขยาย 150 เท่า.....	92
4.45 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr และ เส้นใยแก้ว 20 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก (กลุ่ม F) กำลังขยาย 150 เท่า.....	92
4.46 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64 ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระแทก 5 phr และ เส้นใยแก้ว 30 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก (กลุ่ม F) กำลังขยาย 150 เท่า.....	93

4.47 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี เกรด K 64  
ที่มีการเติมสารปรับปรุงแรงกระทำ 5 phr และ เส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ โดย  
น้ำหนัก (กลุ่ม F) กำลังขยาย 150 เท่า..... 93



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย