

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การใช้สารตัวเติมอินทรีย์ในการผลิตพลาสติก เสริมแรงด้วย เส้นใยแก้ว

4

นาย มโนลี เชื้อชูชาติ รหัส 310711

นาย สมหวัง เทชจรรณิก รหัส 310723

19พ.
ม 191ก
2535

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

612531510

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilisation of Inorganic Fillers
in
Glass fibre Reinforced Plastic production

Mr. Manusawee Chuachuchat 310711

Mr. Somwang Tachajarunejitr 310723

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry**

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การวิจัยสารตัวเติมอินทรีย์

ในการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

นักศึกษา

นาย มนต์วี เชื้อชูชาติ

นาย สมหวัง เกษจรูญจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2534

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาการวิจัยสารตัวเติมอินทรีย์ในการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย สารตัวเติมที่ใช้ ได้แก่ ยิบซั่ม บุนบลาสเตอร์ อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบา จำนวน 10 20 30 40 60 80 และ 100 phr จากการศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสโดยเปรียบเทียบกับแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ไม่เติมสารตัวเติม พบว่าสารตัวเติมยิบซั่มและบุนบลาสเตอร์ จะช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงดึงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์จะช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงดึง เมื่อใช้ในปริมาณไม่เกิน 40 phr แต่เมื่อมีปริมาณสูงขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงดึงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีค่าลดลง ส่วนสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบาไม่ช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงดึงให้กับผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษ เรื่อง การใช้สารตัวเติมอินทรีย์ในการผลิตพลาสติก เสริมแรง เส้นใยแก้วนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เสนอได้รับคำแนะนำและความกรุณาจากบุคคลฝ่ายต่าง ๆ ผู้เสนอขอกราบขอพระคุณ ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ดร. ชีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์ ประธานกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ดร. ศักดา ไตรศักดิ์ กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

อนึ่งนอกจากบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ ทางผู้เสนอขอขอพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูป.....	จ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 เส้นใยแก้ว (Glass fibre).....	7
2.2 เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin).....	9
2.2.1 การสุกตัวของเรซิน (resin cure).....	11
2.2.2 เวลาในการเกิดเจล (Gel-time).....	12
2.3 สารตัวเติมอินทรีย์.....	13
2.3.1 อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium trihydrate).....	15
2.3.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate).....	17
2.3.3 ยิปซัม (Gypsum).....	20
2.2.4 ปูนปลาสเตอร์ (Plaster of Paris).....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	
3.1 สารเคมี.....	24
3.2 วัสดุและอุปกรณ์.....	24
3.3 วิธีการทดลอง	
ตอนที่ 1 การทำแม่พิมพ์(Mold)จากไฟเบอร์กลาส.....	25
ตอนที่ 2 การทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	27
ตอนที่ 3 การศึกษาผลของตัวเติมบางชนิดที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์... ..	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 ผลการทดลอง.....	29
4.2 วิจารณ์.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
ภาคผนวก.....	44
บรรณานุกรม.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงความเหนียวและความแข็งของวัสดุ.....	3
ตารางที่ 1.2 แสดงการใช้งานของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสในปัจจุบัน.....	4
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของแคลเซียมซิลิเกตและองค์ประกอบต่าง ๆ.....	21
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมซิลิเกตชนิดต่าง ๆ.....	22
ตารางที่ 4.1 แสดง เบอร์ เซนค์ ปริมาณแก้ว ของไฟเบอร์กลาสที่ใหม่เติมสารตัวเติม.....	29
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย ของไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติม.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

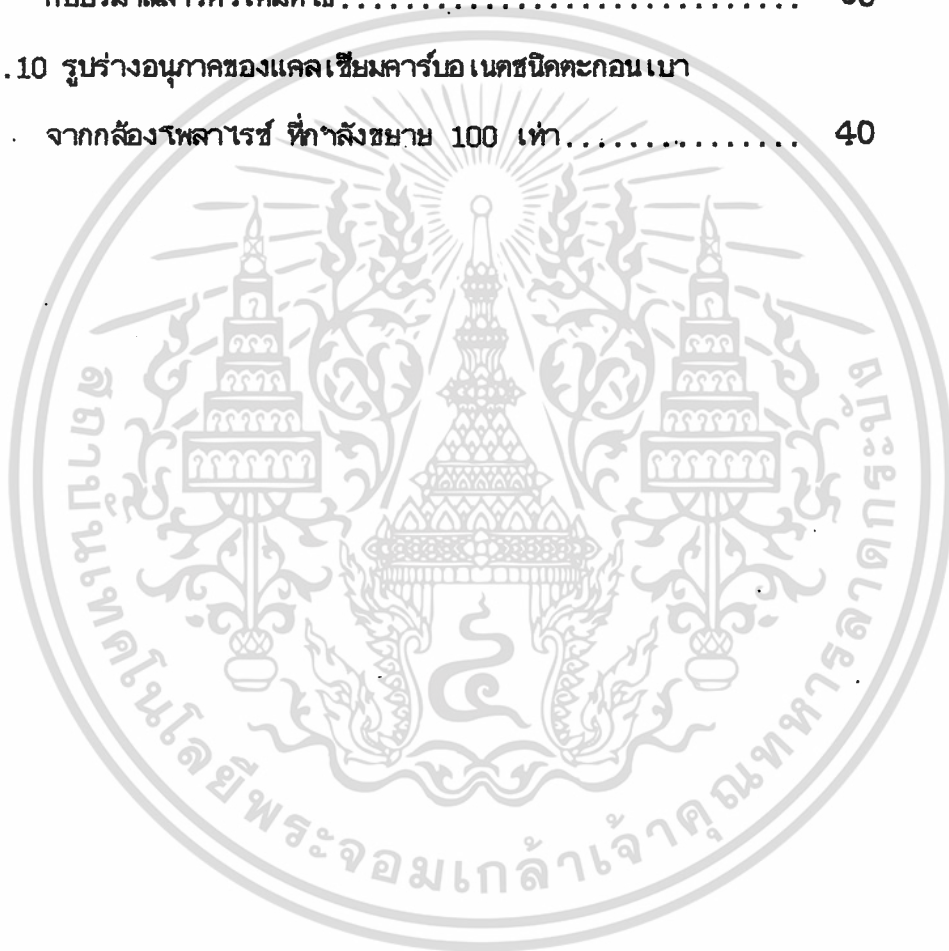
สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว.....	11
รูปที่ 3.1 แสดงการตัดแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงตามส่วนต่าง ๆ.....	26
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	31
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	32
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่เปรียบเทียบกับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	35
รูปที่ 4.4 รูปร่างอนุภาคของยิบซัม จากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	39
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่อนุภาคของยิบซัมกับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	36
รูปที่ 4.6 รูปร่างอนุภาคของอนุภาคของยิบซัม จากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	39
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	37
รูปที่ 4.8 รูปร่างอนุภาคของอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ จากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่เคลือบเชื่อมคาร์บอน เนตชนิดตะกอนเบา กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้.....	38
รูปที่ 4.10	รูปร่างอนุภาคของเคลือบเชื่อมคาร์บอน เนตชนิดตะกอนเบา จากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กก.	ย่อมาจาก	กิโลกรัม
มม.2	ย่อมาจาก	ตารางมิลลิเมตร
ตร.มม.	ย่อมาจาก	ตารางมิลลิเมตร
phr	ย่อมาจาก	ส่วนในเรซินร้อยละ โดยน้ำหนัก
ρ	ย่อมาจาก	ความหนาแน่น
cps	ย่อมาจาก	เซนต์พอยท์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1



บทนำ

1.1 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Glass Reinforced plastic product, GRP)

จัดอยู่ในจำพวกพลาสติก เทอร์มเซต ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสในต่างประเทศเป็นที่รู้จักกันมานานกว่า 30 ปีแล้ว แต่ประเทศไทยเริ่มรู้จักและใช้กันมาไม่เกิน 20 ปีนี้เอง ซึ่งยังมีแพร่หลายมากนัก เพราะวัตถุดิบราคาสูง ปัจจุบันนี้ในต่างประเทศเกือบจะสิ้นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสแล้ว เพราะกรรมวิธีการผลิตต้องใช้แรงงานจำนวนมาก และกำลังในการผลิตต่ำ เส้นใยแก้วและเรซินมีอันตรายน้อยกว่า ในประเทศไทยเริ่มรู้จักผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสดีขึ้น และใช้เป็นประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น ถังน้ำ เรือ สิ่งปลูกสร้าง และสวนสนุก เป็นต้น เนื่องจากไฟเบอร์กลาสเป็นพลาสติกชนิดเดียวที่สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยที่กรรมวิธีซึ่งเสียค่าใช้จ่ายด้านแม่พิมพ์ (mold) ถูกกว่าแม่พิมพ์พลาสติกชนิดอื่น ๆ เมื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดเดียวกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากจนกระทั่งหน่วยงานของรัฐมีความสนใจได้จัดหลักสูตร เพื่อให้ความรู้และวิชาชีพกับประชาชน

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสนี้แบ่งเป็นข้อดีและข้อเสีย

ข้อดีมีดังนี้ คือ

1. มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง
2. สามารถทำการผลิตได้ง่าย และสามารถออกแบบได้ตามความพึงพอใจ
3. มีความคงทนต่อสาร เคมีและการสึกกร่อน
4. เป็นฉนวนความร้อนได้ดีมาก
5. ใช้งานทางไฟฟ้าได้ดีมาก
6. สามารถทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสชนิดโปร่งใสได้
7. สามารถทาสีได้ดี และทาให้เรียบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียมีดังนี้ คือ

1. มีค่ามอดูลัสต่ำ (หรือมีความแข็งต่ำ)
2. มีกำลังในการผลิตต่ำ
3. คงทนต่อความร้อนได้ต่ำ
4. คงทนต่อ เปลวไฟได้ต่ำ
5. ทนต่อการขีดข่วนได้ต่ำ

ในทางอุตสาหกรรม สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีข้อดีมากกว่าข้อเสียได้ โดยการเลือกปัจจัยต่าง ๆ ในการผลิตให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

1. ชนิดของเรซิน เช่น เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว เรซินอีพอกซี
2. การเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอน
3. สารตัวเติม (Filler)
4. กรรมวิธีการผลิต
5. สภาวะในการผลิต

เมื่อนำสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสชนิดต่าง ๆ ไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โลหะ จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีความเหนียวและความแข็งสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงความเหนียวและความแข็งของวัสดุ

วัสดุ	ความเค้น (Strees) กก./มม. ²	มอดูลัส E กก./มม. ²	ความเหนียว (Toughness) ความเค้น/ ρ	ความเหนียว (Toughness) มอดูลัส/ ρ
เหล็กกล้า SS-41	42	21000	5.4	2700
โลหะผสมอลูมิเนียม	47	7000	17.4	2600
GRP อีพอกซี + FW	130	6000	65.0	3000
UP + PVC	20	1600	11.8	940
UP + เส้นใย	10	1000	6.3	630
GRP PH + กระจกาศ	9.3	830	6.9	610
UP + ไวนิลอน	5.3	360	4.1	280
ไวนิลอน(ชนิดผง)	9	275	6.6	200
FRTF พอลิคาร์บอเนต	13.2	700	9.4	500
พอลิพรพิลีน	6.3	580	5.1	480

UP : เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดานอิมตัว

PH : เรซินฟีนอลิก

FRTF : เฟอร์รามพลาสติกที่เสริมแรงเส้นใย

FW : Filament Winding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อที่ 3 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าตลาดของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีความกว้างขวางอย่างรวดเร็ว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงการใช้งานของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสในปัจจุบัน

ประเภท	ชนิด	การกำหนด	การใช้งาน
อาคารและสิ่งก่อสร้าง	- แผ่นเรียบและลอน	-	แผ่นลอน แผ่นปรับปรุง
	- สิ่งก่อสร้าง	ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง	โคม แผ่น ผนัง ทุ่นลอย
เครื่องใช้	- อ่างเก็บน้ำ	การตกแต่งภายใน	สัญญาณจราจร
	ถังน้ำ	ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับ	ห้องอาบน้ำ ฝักบัว ถังน้ำ
ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับทะเล	- เกี่ยวกับทะเล	ห้องน้ำ	และส่วนประกอบ
		เรือ หรือผลิตภัณฑ์	เรือทะเล เรือชูชีพ
การขนส่ง	- การขนส่ง	ทางทะเล	กระดานโต้คลื่น ผนัง เรือ
แท่งค์และภาชนะ	- ภาชนะและอุปกรณ์	การขนส่งทางบก	ตัวถังรถยนต์และรถบรรทุก
	การกักกรอง	ภาชนะสำหรับงาน	แผ่นหลังคา แผ่นเรียบ
		หัวเบชนิดทนาการ	แท่งค์น้ำ แท่งค์สารเคมี
ของใช้ทั่วไป	- ผลิตภัณฑ์ใช้ทั่วไป	กักกรอง	แท่งค์ใส่อาหารสำหรับสัตว์
		ผลิตภัณฑ์ใช้งาน	โรงงานเคมี
			เครื่องกีฬา ของเล่น
			ภาคเสริมอาหาร กระคุม

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ดังนั้นเพื่อเป็นการที่จะนำเสนอเส้นใยแก้ว เสริมแรงมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสให้คุ้มค่าและมีประโยชน์สูงสุด จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการที่จะหาได้ต้นทุนในการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสให้ต่ำลงและพัฒนาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสให้ดีขึ้น โดยจะศึกษาการลดต้นทุนและเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ โดยใช้วิธีการเติมสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ดังนี้คือ อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต ยิบซัมและบุนบลาสเตอร์ ที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 10 20 30 40 60 80 และ 100 phr ลงในของผสมของเรซินกับตัวเร่ง จะศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติ โดยทำการทดสอบความแข็งแรงดึงของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน(ไม่ได้ใส่สารตัวเติม)

ดังนั้น ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงได้ทำโครงการงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง การใส่สารตัวเติมอินทรีย์ในการผลิตพลาสติก เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (Utilisation of Inorganic Fillers in Glass Reinforced Plastic Production) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ หลังจากการศึกษาโครงการพิเศษนี้แล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าควรจะใช้สารตัวเติมชนิดใดในการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมาย

1. ศึกษาวิธีการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสโดยใช้เทคนิค Hand lay-up
2. ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เติมสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส โดยใช้เทคนิค Hand lay-up ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก เสริมแรงด้วยเส้นใย
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ
3. เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์สารตัวเติมอินทรีย์ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส
4. เพื่อศึกษาการนำสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ มาใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส
5. เพื่อศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เติมสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ
6. เพื่อลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส
7. เพื่อพัฒนาการใช้ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เส้นใยแก้ว (Glass fibre)

เส้นใยแก้วผลิตขึ้นจาก การหลอมเหลวเม็ดแก้วในถ้วยเหล็กขึ้น ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 1300-1400 องศาเซลเซียส เส้นใยแก้วจะไหลออกมาจากรูของกันถ้วย และถูกยึดโดยการดึงด้วยความเร็วสูง หลังจากการดึงเส้นใยจะถูกนำไปผ่านสารหล่อลื่น เพื่อป้องกันการเสียดสีเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยแก้วต่ำลง เส้นใยแก้วนี้มีหลายลักษณะ เช่น Chopped Strand Mat(CSM) ผ่าทอ เป็นต้น

Chopped Strand Mat

เป็นเส้นใยแก้วที่มีความยาวประมาณ 50 มม. จักวางเรียงตัวกันแบบสุ่ม มีลักษณะเป็นเส้น ๆ ยึดติดกันโดยใช้กาว โดยทำการพันกาวบนเส้นใยแก้วด้วยระบบสเปรย์ในกระบวนการผลิต เมื่อ CSM ถูก เคลือบ(laminate) ด้วยเรซิน สารยึดเกาะจะละลายในเรซิน เพื่อที่จะทำให้เส้นใยเคลื่อนที่เป็นอิสระได้ (พับหรืองอ) โดยขนาดความหนาที่ตัวแบบนี้มีลักษณะซับซ้อนหรือโค้งงอ

เส้นใยแก้วมีหลายชนิด ได้แก่

1. เส้นใยแก้วชนิด E (Electrical) เส้นใยแก้วชนิดนี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี และมีความต้านทานต่อสภาพภูมิอากาศ แต่มีความต้านทานต่อสารเคมีต่ำ เส้นใยชนิดนี้เป็นเส้นใยที่มีอัลคาไลน์เบรซิลิกเกิดต่ำ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไป เพราะมีคุณสมบัติอื่นหลาย ๆ ด้าน และมีราคาถูก

2. เส้นใยแก้วชนิด A (Alkali) เส้นใยแก้วชนิดนี้มีปริมาณอัลคาไลน์ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และใช้กับงานที่ต้องการความต้านทานสารเคมีได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เส้นใยแก้วชนิด S (Strong) เส้นใยแก้วชนิดนี้ทำการผลิตที่อุณหภูมิสูงมาก ซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงมาก และเหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง จะใช้เส้นใยชนิดนี้เคลือบด้วยเรซินอีพอกซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดที่ใช้เคลือบผิว (Lay-up)

ผลิตขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เรซินชนิดนี้จะถูกเร่งก่อน ใช้งานในเทคนิค hand lay-upหรือไม่เติมตัวเร่งสำหรับระบบสเปิร์มความหนืดอยู่ในช่วง 250-3000 cps

3. ชนิดที่ทนสารเคมี (Chemical resistance)

เป็นเรซินที่มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมีและกันน้ำ ความหนืดอยู่ในช่วง 500-1000 cps

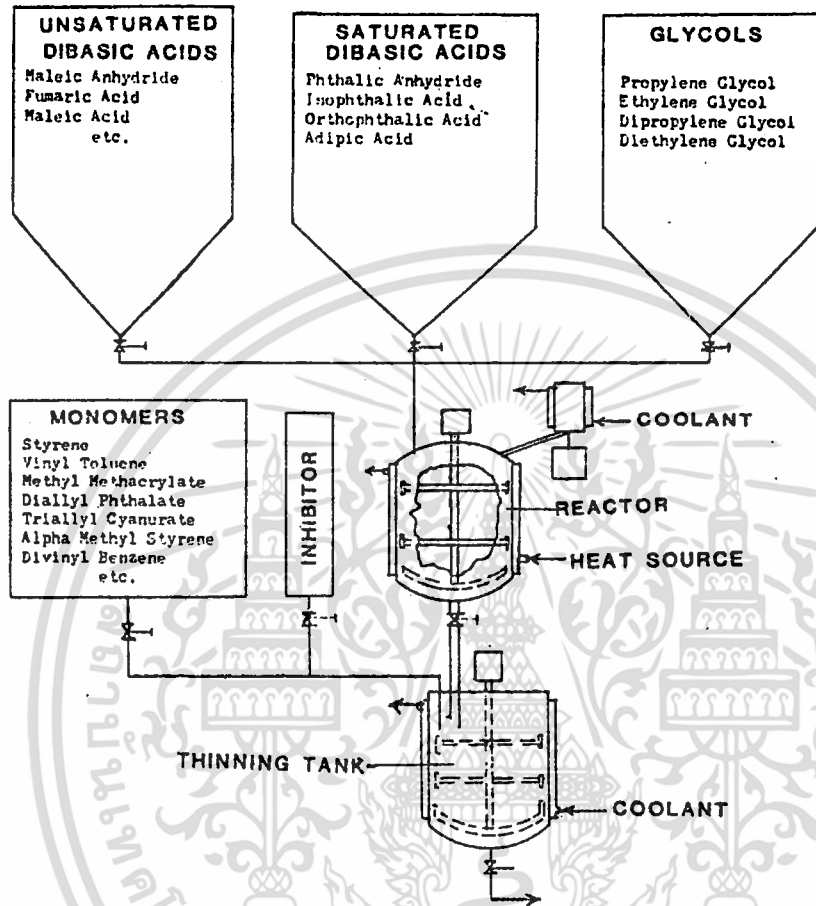
4. ชนิดที่ทนความร้อน (Heat resistance)

เป็นเรซินที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยความร้อนสูงมีความแข็งแรงและความแข็งแรงขณะร้อนสูง ความหนืดอยู่ในช่วง 2000-4000 cps

5. ชนิดที่มีความยืดหยุ่น (Flexible)

เป็นเรซินที่มีค่าความแข็งแรงบราคอล(Bracol)ต่ำ มีความยืดหยุ่นสูงและมีการยืดสูง ความหนืดอยู่ในช่วง 200-1000 cps

พอลิเอสเตอร์ชนิดที่ใช้น้ำมันผลิตภัณฑ์เพนเธอร์กลาสเป็นชนิดที่่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่่องไว หลังจากนั้นจึงเป็นของแข็งและมีความมันอึดตัวสูง เรซินที่นิยมมากตัวหนึ่ง ก็คือ เรซินมาลิอีกรพริสโมลคอล ใช้สำหรับงาน SMC ทำเป็นชิ้นส่วนของยานพาหนะ แต่มีความเปราะมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเติมประเภทเทอร์นพลาสติคซึ่งสามารถช่วยเพิ่มพืพน้ำของ เรซินที่ขึ้นตัว



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตเรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

2.2.1 การสุกตัวของเรซิน (resin cure)

ใช้สารประเภท เปอร์ออกไซด์ เป็นสารตัวเร่ง (catalyst) ในการทำให้เรซินแข็งตัว โดยจะกระตุ้นพันธะคู่ในเรซินและสไตรีนให้ว่องไวขึ้น และเกิดพันธะร่วมกัน การแข็งตัวเป็นกระบวนการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ในเรซินผ่านโมเลกุลของสไตรีน เกิดเป็นเทอร์โมเซตขึ้น การแข็งตัวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้อง หรือสูงกว่าก็ได้

- การสุกตัวที่อุณหภูมิห้อง (room-temperature cure)

เอกสารนี้เรียงเอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับเอาไว้รวมเพื่อการจัดพิมพ์เท่านั้น ไม่ขอเอาผิดในสิ่งใดที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สารตัวเร่งที่นิยมใช้คือ เมทิลเอทิลคีโตน เปอร์ออกไซด์ (MEKPO) มีลักษณะเป็นของ
 ไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวใสคล้ายน้ำมันมักจะใช้ในปริมาณ 2 เบอร์เซนต์ของน้ำหนักเรซิน อย่างไรก็ตามอัตราการแข็งตัว อาจจะใช้เวลาหลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารกระตุ้นตัวเร่ง(accelerator) และที่นิยมมาใช้ ได้แก่ โคนบอล์เนพทีเนต และ โคนบอล์ออกโธเอต ข้อควรระวังคือเมื่อสารกระตุ้นตัวเร่งสัมผัสกับตัวเร่งโดยตรง อาจจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้น จึงควรเติมสารกระตุ้นตัวเร่งลงในผสมให้เข้ากันดีกับเรซินก่อนแล้วจึงเติมตัวเร่งตามลงไป เรซินบางชนิดบริษัทผู้ผลิตอาจจะผสมสารกระตุ้นตัวเร่งไว้แล้ว(pre-accelerated resin) อัตราการแข็งตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารกระตุ้นตัวเร่งด้วย โดยปกติแล้วจะใช้ในช่วงระหว่าง 1-4 เบอร์เซนต์ ถ้าใช้ 1 เบอร์เซนต์ เรซินจะแข็งตัวในเวลาประมาณ 30 นาที ถ้าใช้ 4 เบอร์เซนต์ จะใช้เวลาเพียง 5 นาที ขณะที่เรซินแข็งตัวจะคายความร้อนออกมามาก หากเห็นไม่สามารถควบคุมอัตราการแข็งตัวได้ อย่างไรก็ตามปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อทำการเคลื่อนผิว เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถระบายไปกับอากาศได้ง่าย

- การสุกตัวของอุณหภูมิสูง

ส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส ความร้อนจะเร่งอัตราของปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นตัวเร่ง ส่วนตัวเร่งที่นิยมใช้ในกรณีนี้คือ เทอเพียรีย์ปิวทิลเบอร์เบนโซเอต

2.2.2 เวลาในการเกิดเจล (Gel-time)

คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเติมสารกระตุ้นตัวเร่งและตัวเร่งลงในเรซิน จนกระทั่งเรซินเริ่มแข็งตัว มีลักษณะเป็นเจล(soft gel) เวลาในการเกิดเจลนี้ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของสารกระตุ้นตัวเร่งและเรซิน อุณหภูมิที่เหมาะสม การระเหยของมอนอเมอร์ ชนิดของสีหรือสารตัวเติมอื่น ๆ และสารมลทินต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเรซิน เช่น ทองแดง ซึ่งจะเป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาได้

2.3 สารตัวเติมอินทรีย์

เหตุผลที่มีการใช้สารตัวเติมที่เป็นสารอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสคือ

1. ลดการหดตัวในขณะที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เรเซชัน

2. ควบคุมความเป็นพลาสติกของผลิตภัณฑ์ (regulation of compounds plasticity)

สารตัวเติมที่ใช้ควรจะมีปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสารตัวเติมควรน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ และควรมีขนาดสม่ำเสมอ ปราศจากสิ่งเจือปนเพราะว่าอาจจะไปทำปฏิกิริยากับเบอร์ออกไซด์ ซึ่งอาจจะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการแข็งตัวของเรซินได้ และเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในสารตัวเติมมีความแตกต่างกันทางกายภาพ อาจเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์ผลิตได้มีสีไม่สม่ำเสมอ

สารตัวเติมสามารถแบ่งได้ตามขนาดอนุภาคได้เป็นสองอย่างคือ ชนิดหยาบกับชนิดละเอียด ชนิดหยาบจะมีขนาดอนุภาคมีน้อยกว่า 8 ไมครอนเมตร เป็นชนิดที่มักเป็นเส้นใย (nonfibrous or nonplatey type) มีพื้นที่ผิวต่ำ การถูกซึบนำมันต่ำ เข้ากับเรซินได้ดี (easily wet by resin) สามารถเข้าได้ในปริมาณสูงได้ (high load) ไม่ทำให้เรซินหนืดมากและมีแนวโน้มทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย (fibre agglomeration) ระหว่างการขึ้นรูป การที่มีอนุภาคใหญ่เป็นผลให้อนุภาคของสารตัวเติมเบียดอยู่ที่เส้นใยแก้วเสริมแรง (fibrous glass reinforcement) และเกิดช่องว่างที่ใหญ่ (large voids) ระหว่างอนุภาค ตัวอย่างของตัวเติมชนิดหยาบ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต อะลูมิเนียมซิลิเกตที่เร็น้ำ แคลเซียมเมตาซิลิเกต ซิลิกาและทัลค์ (talcs) ชนิดหยาบ

สารตัวเติมชนิดละเอียดมีขนาดอนุภาคมีมากกว่า 5 ไมครอนเมตรโดยทั่วไปสามารถถูกซึบนำมันได้สูงและมีพื้นที่ผิวมาก มีผลให้เรซินผสมสูตร (formulations) มีความหนืดสูงลดผลกระทบของความร้อนที่มีต่อความเป็นพลาสติกของเรซินผสมสูตรขณะขึ้นรูป ำให้การหล่อลื่น (lubricity) ระหว่างทำการผสม (mixing) และขึ้นรูป ช่วยลดการเกาะกันเป็นก้อนของเส้นใย และเนื่องจากสารตัวเติมชนิดละเอียดมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคบ(more uniform distribution of fillers) จึงช่วยลดการหดตัวเฉพาะ
แห่ง(localized shrinkage) ตัวอย่างของสารตัวเติมชนิดละเอียด เช่น กินชาก
(kaolin clay) อะลูมิเนียมซิลิเกตเรซินา นิกายินเคละเอียค หัลค์ยินเคละเอียคซิลิกาที่
เป็นคอลลอยด์(colloidal silica)และแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดกะกอนเบา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอต(Aluminium trihydrate)

อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอต เป็นสารป้องกันการลุกไหม้ของโพลีเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวเสริมใยแก้ว (Glass reinforced unsaturated polyester) คลอริเนตเตดโพลีเอสเตอร์ และบริมาเนตเตดโพลีเอสเตอร์ เมื่อเติมอะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตในโพลีเอสเตอร์ จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการลุกไหม้และลดการเกิดควัน เมื่อนำมาผสมกับการใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตอย่างกว้างขวางในระบบเครื่องจักรสำหรับทำถังโพลีเอสเตอร์ เพื่อคุณสมบัติการป้องกันการลุกไหม้ของโพลีเอสเตอร์ โดยใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตในปริมาณมาก เพื่อที่จะให้คุณสมบัติลักษณะเฉพาะแก่โพลีเอสเตอร์ในการ เป็นสารที่สามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองโดยใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตเกรดที่จะปรับปรุงคุณภาพของโพลีเอสเตอร์ จะต้องมียุทธศาสตร์ อยู่ในช่วง 6-14 ไมครอนเมตร ถ้าขนาดอนุภาคเล็กกว่า 6 ไมครอนเมตร จะทำให้ความหนืดของเรซินโพลีเอสเตอร์ผสมสูงเกินไป ถ้าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 14 ไมครอนเมตร จะทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งจะหาฟิลเลอร์โพลีเอสเตอร์นั้น เกิดเป็นสายขึ้น

คุณสมบัติ thixotropic ที่เหมาะสม ได้จากการใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตที่มีขนาดอนุภาค 6-14 ไมครอนเมตร บางครั้งอาจมีการเติมสารลดความหนืด เช่น ไตรเอทิลฟอสเฟต (Triethyl phosphate) หรือ ไดเมทิลเอทิลฟอสเฟต (Dimethyl ethyl phosphonate) และยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการระบายการผลิตโพลีเอสเตอร์ ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตจะน้อยมากต่อสมบัติในด้านความแข็งแรง และการป้องกันการลุกไหม้

ถ้าเส้นใยแก้วเสริมแรงที่มีปริมาณแก้วในปริมาณน้อย ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) และค่าความแข็งแรงหักงอ (Flexural strength) จะลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยแก้วเสริมแรงที่นำได้เติมอะลูมิเนียมไตรไฮดรเอต

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตจะไม่ได้ให้ประโยชน์มากนัก แต่ก็

มีการใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ถังที่หาค้ำด้วยไฟเบอร์กลาส ถังเก็บน้ำ เป็นต้น เนื่องจาก อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตจะช่วยลดความสามารถในการป้องกันการลุกไหม้คิกไฟ และราคา ถูกกว่าสารป้องกันการลุกไหม้ชนิดอื่นคิกไฟ

การเตรียมอะลูมิเนียมไตรไฮดรเอต

อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอต เป็นสารตัวเติมประเภทแร่ที่หาได้บริสุทธิ์ มีคุณสมบัติป้องกันการลุกไหม้คิกไฟและลดการเกิดควันในผลิตภัณฑ์พลาสติกส่วนใหญ่ ในการผลิตโลหะ อะลูมิเนียมนั้นจะใช้วิธี Bayer Process จากแร่บอกไซต์ อะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตมีหลายเกรดมาก ประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีขนาดพรตั้งแต่ 45 ไมครอนเมตรขึ้นไป จนถึงขนาดที่เล็กมาก คือน้อยกว่า 1 ไมครอนเมตร บางครั้งจะเรียกอะลูมิเนียมไตรไฮดรเอตว่า ไฮดรเอตอะลูมินา (Hydrate alumina) หรือ อะลูมินาไฮดรเอต (Alumina hydrate) มีสมบัติเป็นพิษ เนื้อหอสารเคมี และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน

2.3.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)

แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมพลาสติก เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ที่หลากหลายประการ คือ

- มีราคาถูกมาก
- หนักเป็นพิษ หนักทำให้เกิดการแพ้หรือระคายเคือง และหนักมีกลิ่น
- มีสีขาว และมีค่าดัชนีหักเหต่ำ ทำให้สามารถควบคุมสีของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการได้ง่าย
- มีความอ่อนนุ่ม กล่าวคือมีความแข็งแบบมอห์เท่ากับ 3 (Mohs 3)
- มีความแห้ง หนักน้ำในผลิตภัณฑ์
- ทาได้ง่าย มีชายหัวเบา
- ขนาดอนุภาคมีมากมายให้เลือก
- การกระจายของขนาดอนุภาคสามารถควบคุมได้ ทำให้สามารถเลือกขนาดอนุภาคในช่วงที่เหมาะสมสำหรับพอลิเมอร์แต่ละชนิด
- การเคลือบสารตัวเติมแบบแห้ง (dry coating) ทาได้ง่ายโดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง (high intensity mixer) จุดประสงค์ในการเคลือบเพื่อปรับปรุงการไหลของพลาสติกหลอม (plastic's melt rheology)
- ผสมลงในสูตรได้ง่าย บางครั้งยังช่วยในการผสมสารเคมีชนิดอื่น ๆ ด้วย
- หนักทำให้เกิดรอยขีดข่วน หรือทำให้เกิดการสึกหรอของผิวเครื่องจักร ภาชนะ หรืออื่น ๆ ในระหว่างการผลิต
- ทาหน้าที่เป็นสารเสริมเสถียรภาพหตุยภูมิสำหรับพีวีซี โดยจับปฏิกิริยาไตรคลอริกที่สลายออกมา ทำให้เป็นกลาง
- ช่วยลดการหดตัวระหว่างการขึ้นรูป (molding) และการสุกตัว (curing) จึงใช้เป็นสารตัวเติมในการทำเรซินผสมสูตรเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบแผ่นชนิดไม่หดตัว (no-shrink reinforced polyester sheet molding compound)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้เคลือบคาร์บอนเนตเป็นสารตัวเติม จะมีความแข็งเหนียว(stiffness) ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้จะใช้สารตัวเติมในปริมาณมาก (high loading)ก็ตาม
 - มีความเสถียรในช่วงอุณหภูมิกว้างระหว่าง 800-900 องศาเซลเซียส จะสลายเป็นแคลเซียมออกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์
- อย่างไรก็ตามแคลเซียมคาร์บอนเนตเป็นสารประกอบที่มีตัว และมีความไวต่อปฏิกิริยา เมื่อนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกจึงมีข้อเสียหลายข้อที่เป็นไปได้ คือ
- เมื่อแคลเซียมคาร์บอนเนตโดนกรดจะสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือที่ละลายน้ำได้ แต่พลาสติกหลายชนิดเช่น อีพอกซี และ พอลิเอสเทอร์ สามารถจับยึดและปกคลุมอนุภาคของตัวเติมนี้ได้เป็นอย่างดีและทั่วถึง
 - พอลิเอทิลีน และ พอลิสไตรีน จะมีสมบัติเปราะขึ้นเมื่อผสมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตนี้ อย่างไรก็ตามหากเป็นพอลิเอทิลีนชนิดที่ใส่ทาพิลล์ หรือชนิดที่เป็นโพลีเมอร์ สารเชื่อมขวาง(crosslinking agent) สารคู่ควบ(coupling agent) สามารถใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตได้โดยไม่มีปัญหาเรื่องความเปราะ พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกก็ใช้ได้เช่นกัน
 - ผลิตภัณฑ์ของแคลเซียมคาร์บอนเนตมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยม(trigonal) จึงมีสมบัติเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสได้น้อย
 - อนุกรมของพอลิพรพิลีน สารตัวเติมทัลค์ และ ใยหิน จะให้คุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านความแข็งเหนียว โมดูลัสความโค้งงอ(flexural modulus) และอุณหภูมิการเสียรูป(deflection temperature) อย่างไรก็ตามแคลเซียมคาร์บอนเนตให้สมบัติทางด้านความทนทานต่อแรงกระแทก อาจเป็นเพราะว่าแคลเซียมคาร์บอนเนตสามารถจับยึด(bonding) กับโมเลกุลของพอลิพรพิลีนได้ดี
 - แคลเซียมคาร์บอนเนตบริสุทธิ์ หนักมีความชื้น (moisture content) อยู่ในช่วงประมาณ 0.06-0.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอาจจะเป็นข้อหาให้แห้งก่อนนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

านบางกรณี (moisture-sensitive application) แคลเซียมคาร์บอเนตแตก
ต่างกันอย่างมากเมื่อเทียบกับสารตัวเติมที่มีปริมาตรสูงอื่น ๆ เช่น ดินเหนียว(clay) แป้ง
ซิลิกา ซิลิเกตและยิบซั่ม ซึ่งมีเสถียรภาพสูง หลาสติคคอมพาวนด์(plastic compounds)
ที่เติมสารตัวเติมดังกล่าวจะมีความเหนียวมากกว่า แต่ผลึกของซิลิเกตและดินเหนียว อาจ
จะมีน้ำอยู่ด้วย การขจัดน้ำออกเพื่อทำให้ดินเหนียวเป็นดินเหนียวผง(calced clay)
จะทำได้ผลิตภัณฑ์เพเบอร์กลาสแข็งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของแคลเซียมซัลเฟตและองค์ประกอบต่าง ๆ

ชื่อสามัญ	สูตรโมเลกุล	องค์ประกอบ		
		หินปูน CaO	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ SO ₃	ปริมาณน้ำ
ยิปซั่ม	CaSO ₄ · 2H ₂ O	32.6	46.5	20.9
เฮมิไฮเดรต	CaSO ₄ · 1/2H ₂ O	38.6	55.2	6.2
แอนไฮไดรต์	CaSO ₄	41.2	58.8	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมซัลเฟตชนิดต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ยิปซัม	เฮมิไฮเดรต	แอนไฮเดรต
น้ำหนักามเสถียร	172.17	145.15	136.14
จุดหลอมเหลว	128(-3/2H ₂ O)	163(-1/2H ₂ O)	1360
(องศาเซลเซียส)	163(-2H ₂ O)		
ความสว่างจำเพาะ	2.32	-	2.96
ความแข็ง	1.5-2.0	-	3.0-3.5
การละลายน้ำที่			
25 องศาเซลเซียส	0.24	0.30	0.20
(กรัม/100กรัมน้ำ)			

2.2.4 ปูนปลาสเตอร์ (Plaster of Paris)

ปูนปลาสเตอร์ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีต่างกัน ทำให้ได้ปูนปลาสเตอร์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน

1. แอลฟา - แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต
2. เบต้า - แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต

ความแตกต่างของปูนปลาสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด อยู่ที่ขนาดของผลึกซึ่งผลึกของ เบต้า - แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรตจะมีผลึกค่อนข้างใหญ่ มีรูปร่างไม่เป็นระเบียบและมีรูพรุนมาก ในขณะที่แอลฟา - แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรตจะมีผลึกที่ละเอียดกว่า มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมสม่ำเสมอและมีรูพรุนน้อย จึงมีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์

การเผา ยิปซัมในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียสที่สภาวะต่างกัน ทำให้เกิด

บุนพลาสติกชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1. เบต้า - แคลเซียมซิลเฟตเอมิไฮเดรตเกิดจากการเผาไหม้ขี้เถ้าในภาชนะเปิด
2. พลาสติกชนิดหิน หรือ แอลฟา - แคลเซียมซิลเฟตเอมิไฮเดรต เกิดจากการให้ความร้อนแก่ขี้เถ้าในเครื่องอัดความร้อน (autoclave)
3. เคนาเซน เกิดจากการทำให้ฟอสฟอริกเหนือแห้ง ให้ความร้อนแก่ขี้เถ้าในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ จะได้แอลฟา - แคลเซียมซิลเฟตเอมิไฮเดรตซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า ทำให้ได้บุนพลาสติกหินแข็งแรงสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 สารเคมี

1. เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่แข็งตัว : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
เกรดหัวเป
2. เจลโคท : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
3. ครอบล้นเนฟทีเนต : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
4. เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
5. แวกซ์
6. แอซีโตน
7. สารละลายเจือจางของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
8. ผงสี : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
9. เส้นใยแก้วเสริมแรง : บริษัท เลิศวณิช จำกัด
10. คีนน้ำมัน
11. สารตัวเติมขนาด 200 เมช ใต้แก้ว
 - แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบา : บริษัท ศิลาทิพย์ เคมี จำกัด
 - บุนหลาสเตอร์ : บริษัท ซีซีที จำกัด
 - อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ : บริษัท เคมีมัน จำกัด
 - ยิบซั่ม : บริษัท ซีซีที จำกัด

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. ไม้, ตะปู, ค้อน, เลื่อย
2. กระจกทรายน้ำ เบอร์ 400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แผ่นกระจกใส
4. คั่นแบบ แพร่งล่างของรถจักรยานยนต์ ยี่ห้อ NOVA-S
5. แปรงทาสี
6. ปีกเกอร์ ขนาด 25,250 มิลลิเมตร
7. ปีเบค ขนาด 5 มิลลิเมตร
8. เครื่องวัดความแข็งแรงดึง : รุ่น TINIUS OLSEN TESTING MACHINE Shimadzu Co.,Ltd
9. เครื่องตัดไฟเบอร์กลาส : รุ่น POWER MATIC HOUDAILE
10. เครื่องชักผิวเรียบสายอ่อน
11. เวอร์เนียร์
12. ไมโครมิเตอร์
13. เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace)
14. เครื่องบดแบบลูกบอล

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การทำแม่พิมพ์(mold)จากไฟเบอร์กลาส

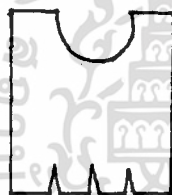
อุปกรณ์ของคั่นแบบด้วยคีนน้ำมัน ให้คีนน้ำมันเรียบสม่ำเสมอกับผิวคั่นแบบ เพราะถ้าหากคีนน้ำมันเว้าลงไปบนคั่นแบบแล้ว จะทำให้เรซินไหลเข้าบนรอยเว้า ทำให้มีปัญหาค้นการแกะแม่พิมพ์ ลงแนวชักผิวของคั่นแบบแล้วชักคัทหัว เพื่อให้ผิวเป็นมันเงาง่ายต่อการแกะแม่พิมพ์ออกจากคั่นแบบ หากด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะแม่พิมพ์ออกจากคั่นแบบ จากนั้นรอให้แห้ง ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ แบ่งผิวของคั่นแบบเป็นส่วนย่อย ๆ 6 ส่วน คัดเส้นใยเสริมแรงสำหรับแต่ละส่วน กังรูป

รูปที่ 3.1 แสดงการตัดแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงตามส่วนต่าง ๆ



ด้านข้างส่วนหน้า 2 ส่วน

ด้านข้างส่วนหลัง 2 ส่วน



ด้านหน้า 1 ส่วน



ด้านหลัง 1 ส่วน

ซึ่ง เจลโคทในปริมาณที่มากพอที่จะทำผิวได้ทั่ว เติมโพลีเอทิลีนเททาเรต 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ เจลโคท เติมสีในปริมาณที่เหมาะสม (ในการทดลองใช้สีเหลือง) คนให้เข้ากันแล้วจึง เติมเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (MEKPO) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ เจลโคท คนให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วทาลงบนผิวของต้นแบบให้ทั่ว

ซึ่ง เรซินในปริมาณที่มากพอที่จะใช้ทาทับ (laminat) เติม MEKPO 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ เรซินและสีเหลืองในปริมาณที่เหมาะสม คนให้เข้ากัน

นำแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงที่เตรียมไว้แล้วมาวางลงบนผิวของต้นแบบที่ละส่วน แล้วทาทับ (laminat) ด้วยเรซิน ในการทาทายามกดแปรงแรง ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศซ้ำอีก 2 ครั้ง

เมื่อแม่พิมพ์แข็งตัว นาไบคักแต่งขอบของแม่พิมพ์ให้ได้ขนาดพอดีกับขนาดของต้นแบบ
รถยนต์เครื่องซัดผิวเรียบสายอ่อน แกะต้นแบบออกจากแม่พิมพ์ ทากรอบน้ำสำหรับจับยึดแม่-
พิมพ์

ตอนที่ 2 การหาผลิตภัณฑ์เพเบอร์กลาส

ใช้กระดาษทรายน้ำซัดผิวในของแม่พิมพ์ให้เรียบ ลงแว็กซ์แล้วซัดให้ทั่ว ทาพอลิไวนิล
แอลกอฮอล์ให้ทั่ว รอให้แห้ง คัดแผ่นเส้นใยเสริมแรงให้มีลักษณะเหมือนกับตอนที่ 1 เตรียม
ส่วนผสมของ เจลโคทและ เรซินเหมือนกับตอนที่ 1 นานแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงที่เตรียมไว้
แล้วมาวางลงบนผิวในของแม่พิมพ์ แล้วทำการทาหุ้ม(laminate)ด้วยเรซิน เช่นเดียวกับ
ตอนที่ 1

เมื่อผลิตภัณฑ์แข็งตัว คัดแต่งขอบของผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของแม่พิมพ์ ด้วย
เครื่องซัดผิวเรียบสายอ่อน แกะผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์เพเบอร์กลาส

3.1 การเตรียมแผ่นเพเบอร์กลาสมาตรฐาน

ล้างกระดาษให้สะอาด บดหุงทิ้งไว้ให้แห้ง ซัดด้วยแว็กซ์ให้เป็นมันเงา ทาพอลิไว-
นิลแอลกอฮอล์ให้ทั่ว รอให้แห้ง คัดแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงให้มีขนาดเกินขอบกระดาษออก
มาประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งเรซินในปริมาณมากพอ เติม MEKPO 1.5 เบอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก
ของเรซิน คนให้เข้ากัน

ทาเรซินลงบนแผ่นกระดาษ แล้ววางแผ่นเส้นใยเสริมแรงลงบนแผ่นกระดาษทาหุ้มด้วย
เรซิน

เมื่อแผ่นเส้นใยเสริมแรงเริ่มมีลักษณะเป็นเจล ใช้คัตเตอร์ตัดขอบให้มีขนาดเท่ากับ
ขนาดของแผ่นกระดาษ แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

3.2 การเตรียมแผ่นเพเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติม

หาวิธีการเช่นเดียวกับ 3.1 นั้นใส่สารตัวเติมที่ต้องการศึกษา ในปริมาณต่าง ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 20 30 40 60 80 และ 100 phr ลงไปในเรซิน บดผสมให้เข้ากันจนเข้าใช้เครื่องบดแบบลูกบอลล์

3.3 การหาปริมาณเส้นใยเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส(% Glass content)
นำแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐานมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1x1 เซนติเมตรจำนวน 5ชิ้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด นำเข้าเตาเผาซ้ำจนน้ำหนักไฟเบอร์กลาสไม่เปลี่ยนแปลง

คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้ว (% Glass content) จากสูตร

$$\% \text{ Glass content} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}}$$

3.4 การหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

นำแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน และแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมไปตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1x9 นิ้ว ด้วยเครื่องตัดแผ่นไฟเบอร์กลาส วัดความกว้างและความหนาของแผ่นไฟเบอร์กลาสด้วยเวอร์เนียและนิกโรมิเตอร์ตามลำดับ

วัดค่าความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องวัดการดึงชนิด

คำนวณค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) จากสูตร

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = \frac{\text{แรงที่ใช้ที่จุดขาด}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงเบรชเชนซ์เส้นใยแก้วของไฟเบอร์กลาสที่นำเติมสารตัวเติม

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเผา กรัม	น้ำหนักหลังเผา กรัม	เบรชเชนซ์เส้นใยแก้ว % Glass content
1	0.551	0.231	41.92
2	0.545	0.204	37.43
3	0.508	0.203	41.92
4	0.551	0.221	40.10
5	0.343	0.134	39.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

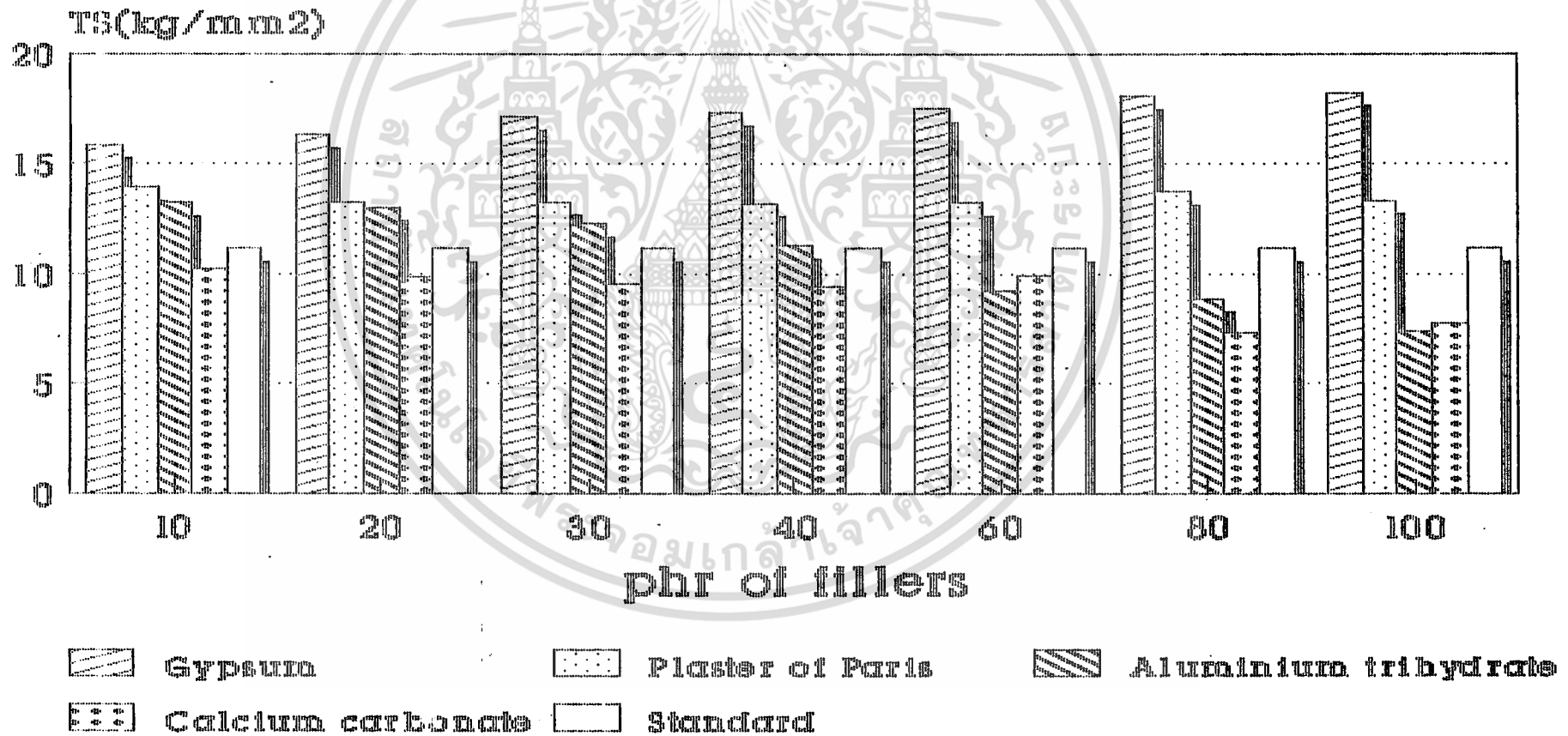
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของไฟเบอร์กลาสเมื่อใส่สารตัวเติม

ชนิดต่าง ๆ

ปริมาณสารตัว เติมที่ใช้ (phr)	ความแข็งแรงดึง (กก./ตร.มม.)			
	ยิปซัม	ปูนปลาสเตอร์	อะลูมิเนียม ไตรไฮดรอกไซด์	แคลเซียม คาร์บอเนต
	Gypsum	Plaster of Paris	Al(OH) ₃	CaCO ₃
10	15.834	13.928	13.231	10.212
20	16.303	13.261	13.007	9.831
30	17.141	13.272	12.308	9.511
40	17.320	13.194	11.298	9.426
60	17.505	13.224	9.232	9.904
80	18.078	13.741	8.864	7.430
100	18.232	13.325	7.400	7.774

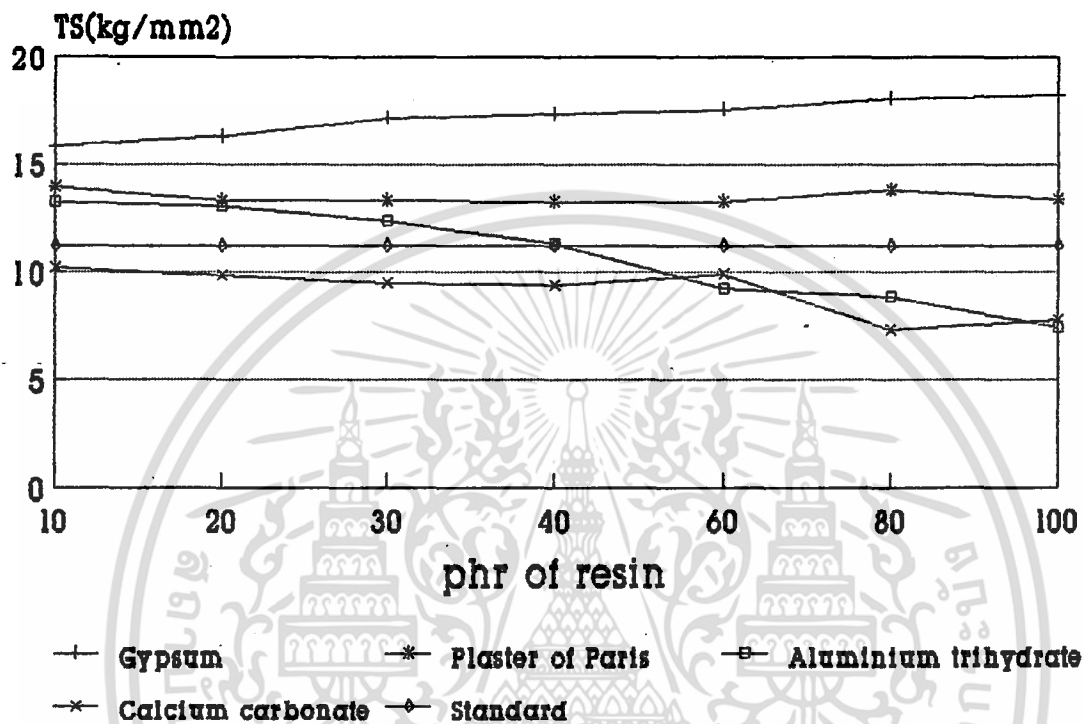
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TENSILE STRENGTH FILLERS



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

TENSILE STRENGTH FILLERS



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง
ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ
กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิจัย

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าการใช้สารตัวเติมยิบซั่ม และปูนปลาสเตอร์ผสมนพลาสติก เสริมแรง เส้นใย จะให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งกว่าพลาสติก เสริมแรง เส้นใย ที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม (พลาสติก เสริมแรง เส้นใยมาตรฐาน) อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์จะให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งกว่าเมื่อใช้ในปริมาณไม่เกิน 40 phr ส่วนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบาเป็นสารตัวเติมในพลาสติก เสริมแรง เส้นใย จะให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งกว่าพลาสติก เสริมแรง เส้นใย ที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าความแข็งแรงสูงยิ่งจากกราฟ และรูปร่างอนุภาคของยิบซั่มรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จะพบว่าแนวโน้มของค่าความแข็งแรงสูงยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารตัวเติมมากขึ้น เนื่องจากรูปร่างอนุภาคของยิบซั่มมีลักษณะ เป็นเส้นใยและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง อนุภาคจึงเกิดการสานต่อกันและรวมตัวกันได้แน่น ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารตัวเติมมากขึ้น เช่นเดียวกับแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงยิ่งจากกราฟ และรูปร่างอนุภาคของปูนปลาสเตอร์รูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จะพบว่าแนวโน้มของค่าความแข็งแรงสูงยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารตัวเติมมากขึ้น แต่มีค่าน้อยกว่าสารตัวเติมยิบซั่ม เนื่องจากรูปร่างอนุภาคของปูนปลาสเตอร์มีลักษณะ เป็นเส้นใย เช่นเดียวกับอนุภาคของยิบซั่ม แต่มีลักษณะ เรียวกว่าของยิบซั่ม และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง อนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันได้แน่น(แต่น้อยกว่าของยิบซั่ม) ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารตัวเติมมากขึ้น

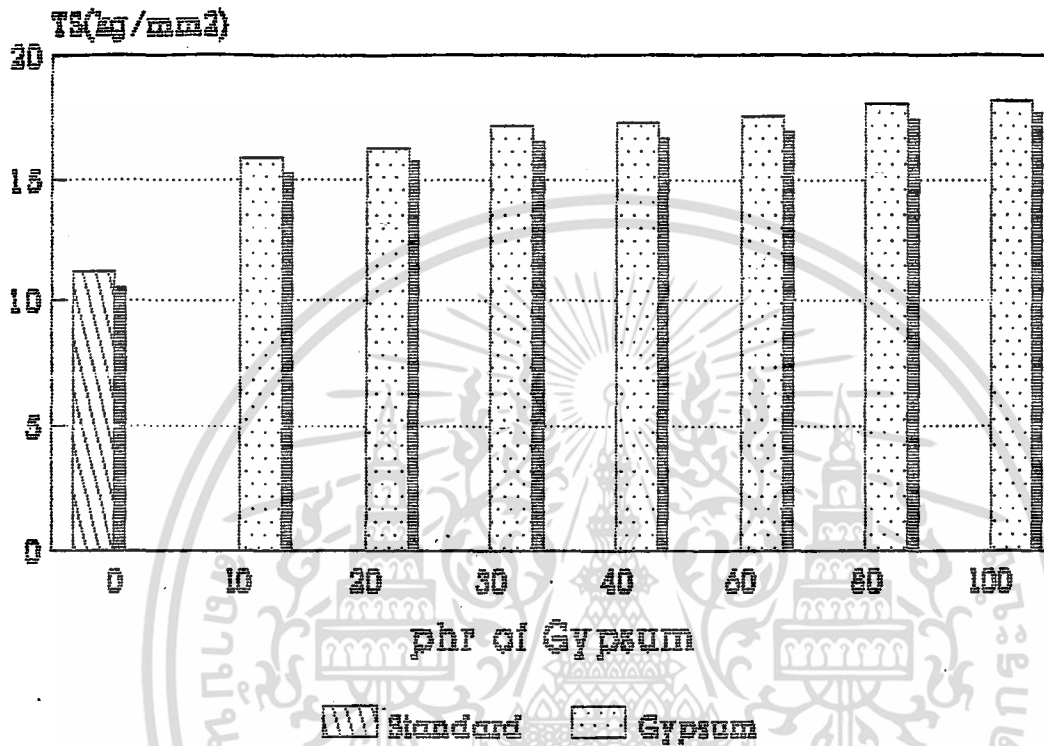
สำหรับแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงยิ่งจากกราฟ และรูปร่างอนุภาคของอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์รูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ จะพบว่าแนวโน้มของค่าความแข็งแรงสูงยิ่งมีค่าลดลง เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น เนื่องจากรูปร่างอนุภาคของอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์มีลักษณะ เป็นลูกบาศก์และมีค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ ดังนั้นอนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันได้แน่น(มีช่องว่างมาก) ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงยิ่งมีค่าลดลง เมื่อใช้สารตัวเติมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบา เมื่อพิจารณาจากกราฟและรูปร่างอนุภาค ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ จะพบว่าแนวโน้มของค่าความแข็งแรงจึงมีค่าคงที่ แต่มีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่นำเส้นสารตัวเติม (แผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน) เนื่องจากว่ารูปร่างอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบา มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ แต่มีลักษณะละเอียดกว่าของอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ ดังนั้นอนุภาคจึงเกิดการรวมตัวกันได้แน่น (มีช่องว่างมาก) ค่าความแข็งแรงจึงมีค่าต่ำกว่าของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่นำเส้นสารตัวเติม

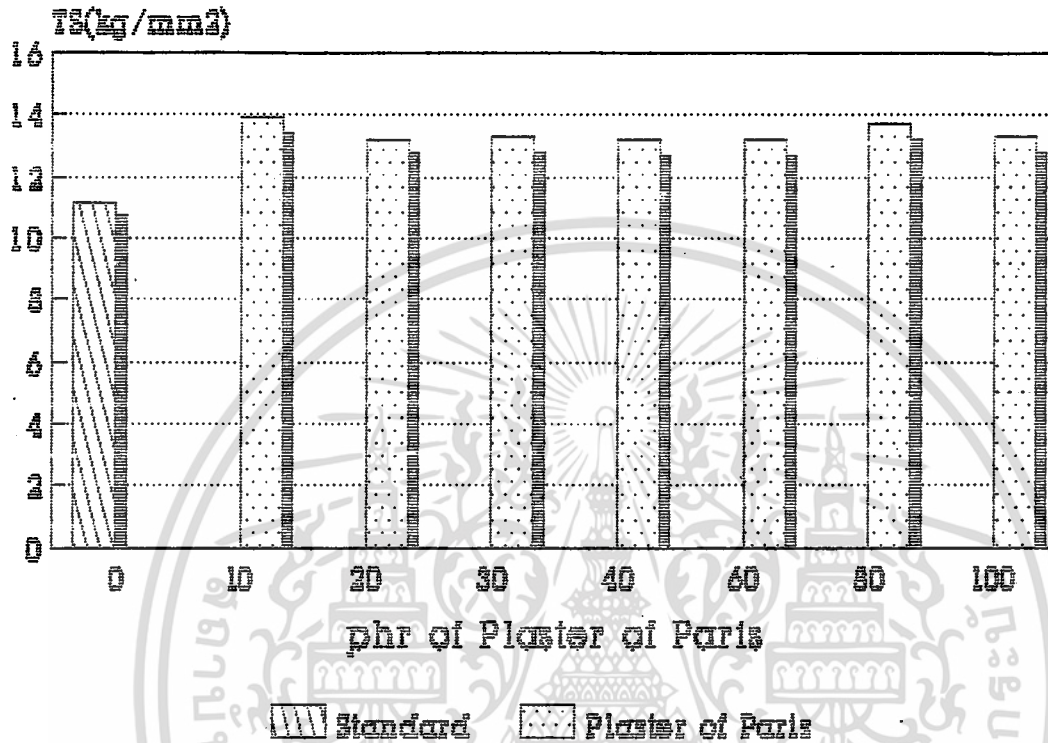


TENSILE STRENGTH GYPSUM



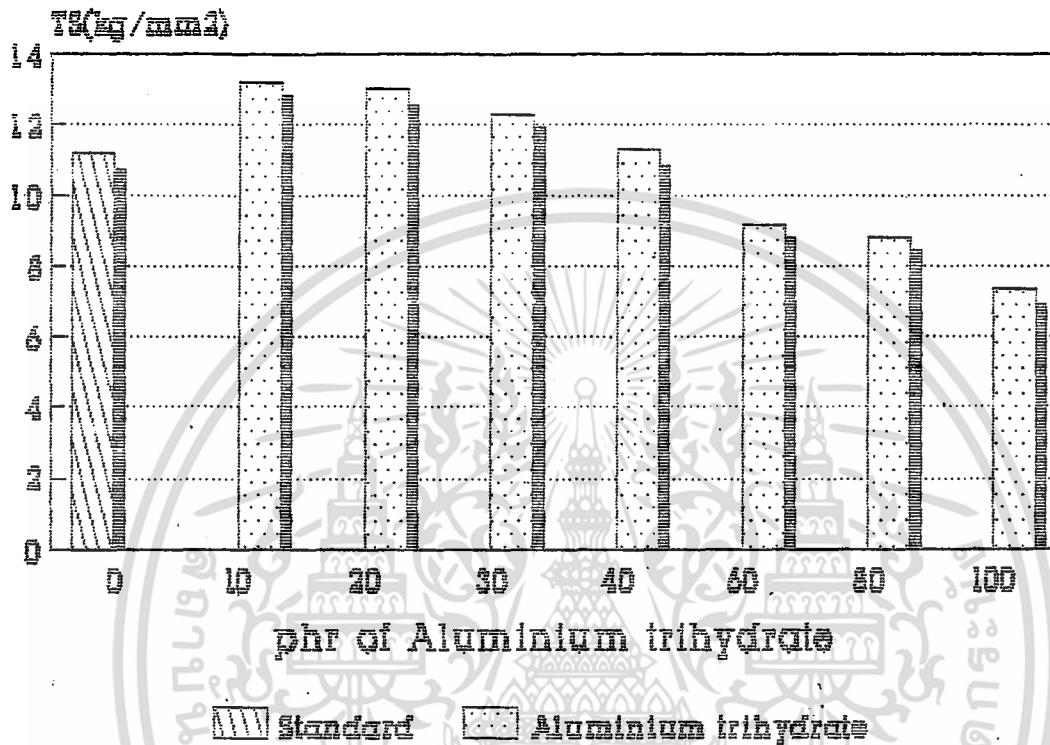
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเพเบอร์กลาสที่เคลือบชั้นกับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

TENSILE STRENGTH PLASTER OF PARIS



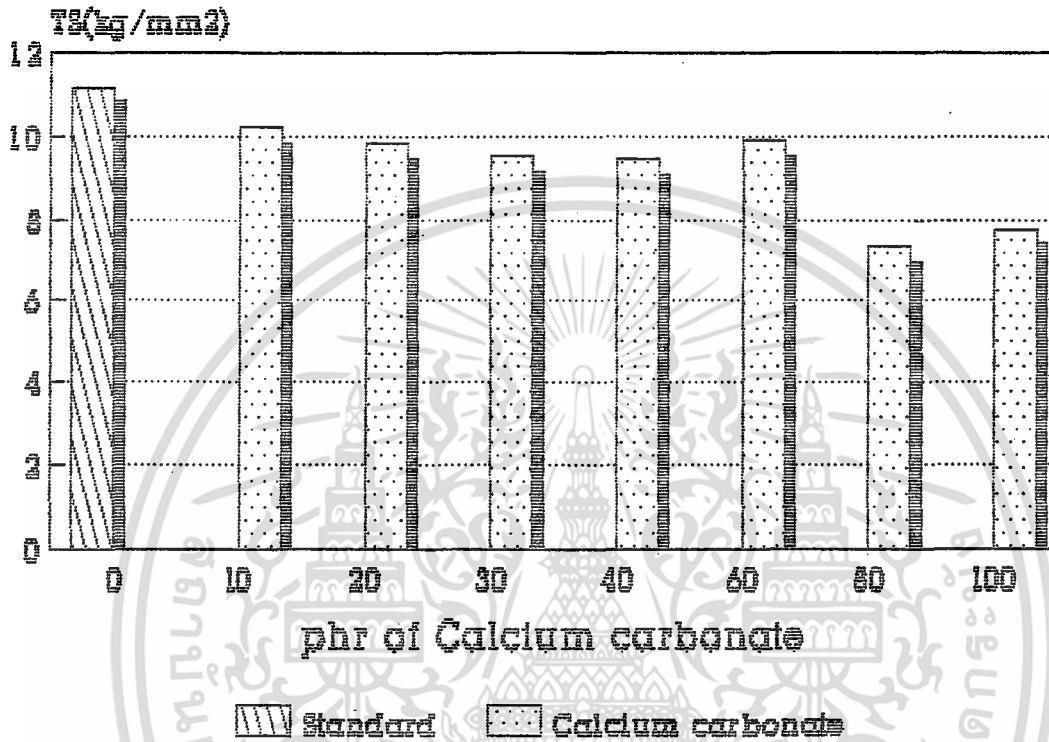
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง
ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่ปูนปลาสเตอร์กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

TENSILE STRENGTH ALUMINIUM TRIHYDRATE

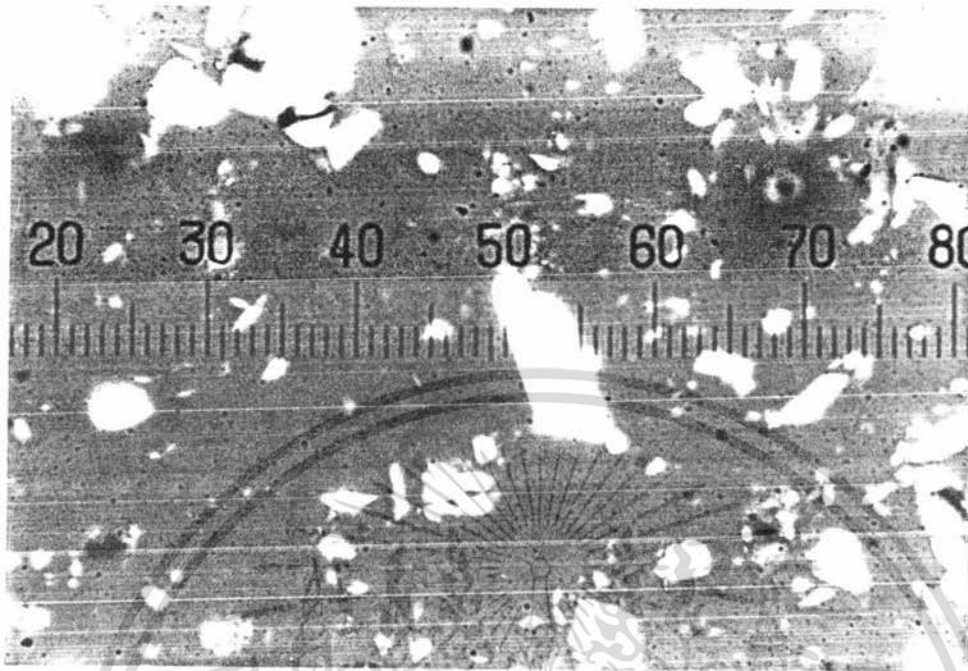


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง
ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์
กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

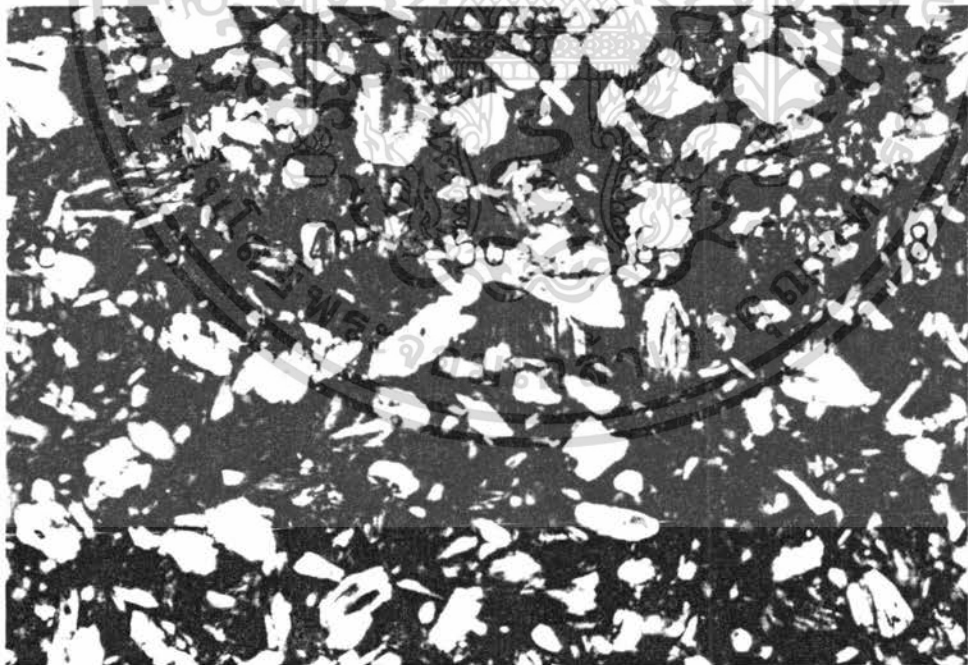
TENSILE STRENGTH CALCIUM CARBONATE



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง
ของแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบา
กับปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

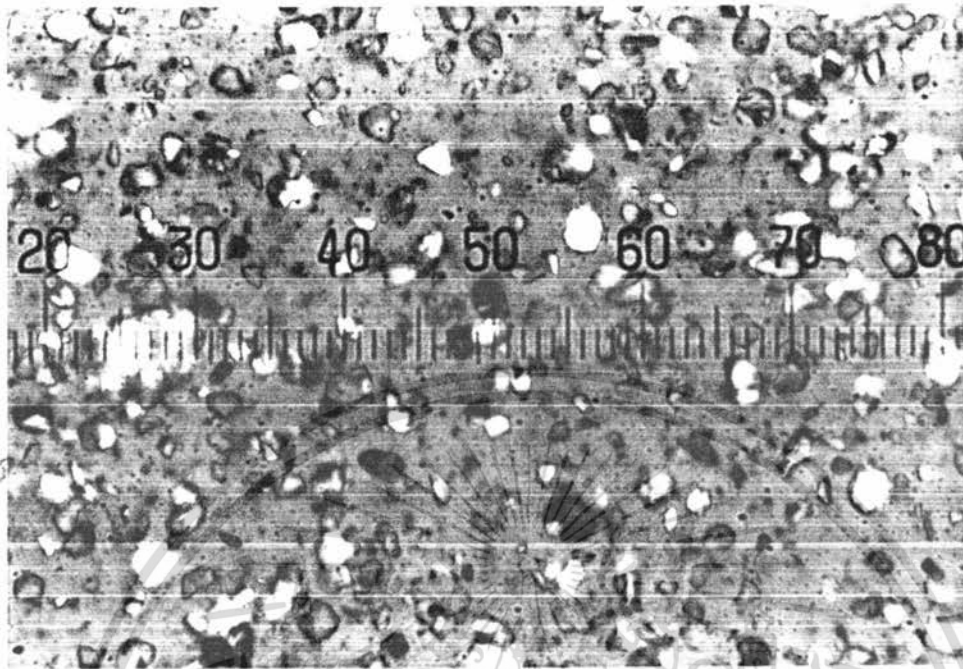


รูปที่ 4.4 รูปร่างอนุภาคยิบขี้มจากกล้องโพลาริซ์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า
มม analiser 10 องศา



รูปที่ 4.6 รูปร่างอนุภาคคูนพลาสติกอร์จากกล้องโพลาริซ์
ที่กำลังขยาย 100 เท่า มม analiser 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปร่างอนุภาคอะลูมิเนียมไตรไฮไดรด์จากกล้องจุลทรรศน์
ที่กำลังขยาย 100 เท่า มุม analiser 10 องศา



รูปที่ 4.10 รูปร่างอนุภาคเคลือบเส้นคาร์บอนชนิดตะกอนเบา จากกล้องจุลทรรศน์
ที่กำลังขยาย 100 เท่า มุม analiser 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อ เสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วของแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยแก้วเฉลี่ย เท่ากับ 40.08 เปอร์เซ็นต์

ในการใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ ใส่ในไฟเบอร์กลาสเสริมแรงเส้นใยเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) กับไฟเบอร์กลาสเสริมแรงเส้นใย ที่นำใส่สารตัวเติม (แผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน)

จากผลการทดลองแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐานมีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 11.169 กก./มม.² และเมื่อใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ แล้วปรากฏว่า แผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่บิซม์และปูนปลาสเตอร์ทุกปริมาณมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน ส่วนแผ่นไฟเบอร์กลาสที่ใส่อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าสารตัวเติมอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน และที่ปริมาณ 60 80 และ 100 phr จะมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน ส่วนสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตทุกปริมาณมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นไฟเบอร์กลาสมาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอนแนะ

1. ก่อนทำงาน

1.1 ควรมีอากาศถ่ายเทได้สะดวกในสถานที่ทำงาน เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นในอากาศมีผลอย่างมากในการเป็นเจลของเรซิน คือถ้าอุณหภูมิสูง อากาศร้อน เรซินจะเกิดเป็นเจลอย่างรวดเร็วกว่าปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำ อากาศหนาวเย็นเรซินจะเกิดเป็นเจลช้ากว่าปกติ และถ้าความชื้นในอากาศสูงหรือฝนตก เรซินอาจจะเกิดเป็นเจลช้ามากหรืออาจจะไม่เป็นเจลเลยถ้าโดนฝน

1.2 โดยปกติการเกิดเป็นเจลของเรซิน สามารถควบคุมให้ช้าหรือเร็วก็ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ควรจะเตรียมเครื่องมือเครื่องใช้ให้หยิบฉวยมาทำงานได้ง่าย และพร้อมที่จะทำงานเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเป็นเจลของเรซิน

1.3 เนื่องจากขั้นตอนที่สำคัญ คือ การลงเส้นใยแก้วเสริมแรงนั้น จะต้องมียังแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงและเรซินที่จะลงมือทำงานพร้อมกัน ฉะนั้นต้องเตรียมแผ่นเส้นใยแก้วเสริมแรงโดยตัดให้ได้ขนาดไว้ก่อนแล้ววางในที่อบอุ่นจะช่วยทำให้สะดวกขึ้น

1.4 ดันแบบ(mold) ควรจะอยู่ในสภาพดี และสะอาดอยู่เสมอ ถ้าชำรุดก็ต้องรีบแก้ไข

2. ขณะลงมือทำงาน

2.1 กะเวลาในการทำงานให้ทันกับการเกิดเป็นเจลของเรซิน

2.2 ในการเคลือบ(laminate)เรซิน ควรจะเคลือบส่วนที่หนา ลึกหรือส่วนมุมก่อน แล้วจึงทาไล่จากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง และต้องระวังอย่าให้เรซินไหลกองรวมกัน

2.3 ควรใส่ถุงมือป้องกันหากมีผงอากาศเหลืออยู่ที่ผิวหน้าอาจระคายเคืองได้ง่าย และล้างมือให้สะอาด

2.4 การทำงานควรระวังมีครีว เนื่องจากสารที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเกือบทุกอย่าง สามารถทำให้เกิดความระคายเคืองให้แก่ผิวหนังของร่างกายได้ จึงควร

หาเครื่องป้องกันร่างกายให้ดี

2.5 ควรล้างมือและ เครื่องมือ เครื่องใช้ในการทำงานให้สะอาดหลังจาก เสร็จงานทันที

3. ก่อนการ เกิดเป็น เจลของ เรซิน

3.1 ไม่ควรขยับตัวแบบหรือถอดตัวแบบก่อน เพราะจะทำให้เรซินน้ำเกาะกับ เส้นใยเสริมแรง ขึ้นงานก็จะไม่แข็งแรงหรือเสื่อมคุณภาพเร็ว

3.2 ถ้าใช้น้ำและขึ้นงานแล้ว รู้สึกว่าเริ่มแข็งแล้ว แต่ยังเหนียวอยู่ ก็ใช้น้ำ มีดคม ตัดขอบที่เกินทิ้งไป แต่ถ้าตัดก่อนจะทำให้เส้นใยเสริมแรงหลุดร่อน และขึ้นงานอาจ เสียรูปได้

3.3 การวางตัวแบบในลักษณะสมดุลจะดีงานที่ดี ถ้าวางในลักษณะบิด เบี้ยว จะได้งานที่มีลักษณะบิด เบี้ยว เช่นกัน

4. การถอดแบบ โดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสหลังจากแข็งตัวเต็มที่แล้วจะหค คิวประมาณ 6-8 เปอร์เซ็นต์

4.1 ไม่ควรถอดแบบก่อนขึ้นงานจะแข็งตัวเต็มที่ เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเสียรูปทรงไปเนื่องจากการหดตัวและการวางขึ้นงานในลักษณะที่ไม่เหมาะสม

4.2 หลังจากถอดแบบแล้ว อาจจะนำชิ้นงานไปวางในที่ที่เหมาะสมและมีอากาศ ถ่ายเทได้ดีก็อาจจะ เป็นกลางแดด จะทำให้การแข็งตัวของชิ้นงานสมบูรณ์ขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และผู้ใช้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Designation: D 3039 – 76 (Reapproved 1989)¹

Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites¹

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of resin-matrix composites reinforced by oriented continuous or discontinuous high-modulus >20 GPa ($>3 \times 10^6$ psi) fibers. This includes only the following:

1.1.1 *Unidirectional*—continuous or discontinuous reinforcing fibers, 0 and 90.° properties.

1.1.2 *Laminates of symmetric,² orthotropic construction*—continuous or discontinuous reinforcing fibers.

1.2 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 618 Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing³

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines⁴

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁴

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *continuous fiber*—a polycrystalline or amorphous body that is continuous within the sample or component and that has ends outside of the stress field under consideration. Minimum diameter is not limited but maximum diameter may not exceed 0.25 mm (0.010 in.).

3.1.2 *discontinuous fiber*—a polycrystalline or amorphous body that is discontinuous within the sample or component, or that has one or both ends inside the stress fields under consideration. Minimum diameter is not limited but maximum diameter may not exceed 0.25 mm (0.010 in.).

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-30 on High Modulus Fibers and Their Composites and is the direct responsibility of Subcommittee D 30.04 on High-Performance Fibers and Composites.

Current edition approved Aug. 27, 1976. Published October 1976. Originally published as D 3039 – 71. Last previous edition D 3039 – 74.

² Symmetric laminate means the stacking sequence below the centerline of the laminate must be a mirror image of the stacking sequence above the centerline.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

4. Summary of Test Method

4.1 The tension specimen shown in Fig. 1 is mounted in the grips of the testing machine. Load deformation or load strain curves must be plotted during the test if the modulus properties are desired.

5. Significance and Use

5.1 This tension test is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development and design. Factors that influence the tensile properties and should therefore be reported, are: material, methods of material and specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing and speed of testing, void content, and volume percent reinforcement.

6. Apparatus

6.1 *Micrometers*, suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness.

6.2 *Testing Machine*, comprised of the following:

6.2.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

6.2.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

6.2.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member. The grips shall be aligned so the longitudinal axis of the specimen will coincide with the direction of applied load in the thickness and width specimen planes. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given grip system, a specimen instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 2, should be monitored during loading and compared. These gages will give a measure of bending in the thickness and width planes. A system showing excessive bending should be readjusted or modified in order to give a maximum of 5 % difference in indicated strain in the linear region of the stress-strain curve. It should be noted that maximum bending usually occurs at the tab and should be minimized.

6.2.3.1 The test specimen shall be held in such a way that sufficient lateral pressure can be applied to prevent slippage between the grip face and tabs. Grip surfaces that are scored or serrated with a pattern similar to that of a single-cut file have been found satisfactory. A fine serration appears to be the most satisfactory. The serrations should be kept clean and sharp. Care should be taken to maintain alignment

TABLE 2 Recommended Thicknesses for Various Reinforcements

Type of Reinforcement	Continuous Fibers		Discontinuous Fibers	
	mm	in.	mm	in.
Boron	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Graphite	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Glass	0.762 to 3.275	0.030 to 0.125	1.524 to 6.55	0.060 to 0.250

TABLE 1 Widths and Gage Lengths of Specimens

Fiber Orientation	Recommended Specimen Width		Recommended Minimum Gage Length	
	mm	in.	mm	in.
0° (angle)	12.7	0.5	127	5
90° (angle)	25.4	1.0	38.1	1.5
0/90° (angle) balanced crossply	25.4	1.0	127	5

within the tolerance specified above during specimen installation. The length and width of the grips should be equal to or greater than the respective length and width on the tabs.

6.2.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable member a controlled velocity with respect to the stationary member, this velocity to be regulated as specified in 9.1.

6.2.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$ of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

6.2.6 If a constant cross-head speed is used, the fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total longitudinal deformation of the system permitted by these parts does not exceed 25 % of the total longitudinal deformation between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the failure load of the specimen.

6.3 *Strain*—Strain may be determined by means of an extension indicator or strain indicator. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen must be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions.

6.3.1 *Extension Indicator*—A suitable instrument for determining the distance between two fixed points located within the gage length of the test specimen at any time during the test. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance (or any change of it) as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, data on load as a function of time must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing and shall be accurate to $\pm 1\%$ of strain or better. Calibrate in accordance with Practice E 83. If the extensometer is mechanically attached, the attachment should be such as to cause no damage to the specimen surface and the weight of the instrument should not introduce bending strains greater than those allowed in 6.2.3.

6.3.2 *Strain Indicator*—Where load-strain data are de-

sired, the specimen may be instrumented with longitudinal or lateral, or both element strain gages. The gages, surface preparation, and bonding agents should be chosen to provide for adequate performance on the subject material, and suitable automatic strain-recording equipment shall be employed.

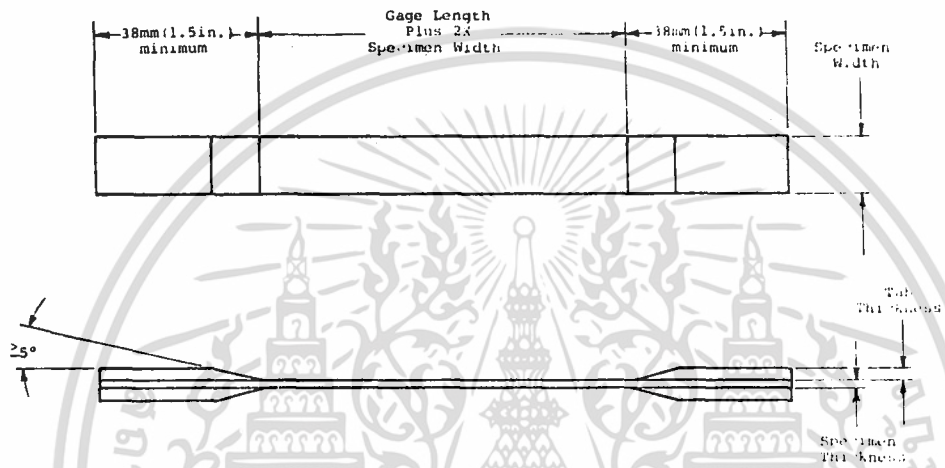
7. Test Specimen

7.1 *Geometry*—The test specimen must be as shown in Fig. 1 where the specimen has a constant cross section with tabs bonded to the ends. Table 1 gives the width and gage length of specimens used for a particular fiber orientation. Variation in specimen width must be within $\pm 1\%$. The 1-in. wide specimen was selected for testing samples with fibers oriented 90° to the testing direction. This reduces the edge effects, thereby giving data that more accurately represent the bulk of the composite. When testing specimens containing discontinuous fibers, the gage length must be at least twice the longest fiber length and four times the average fiber length so the test results are representative of the bulk of the composite.

7.1.1 Table 2 gives recommended thicknesses for various reinforcements and continuous and discontinuous fibers. Variation in specimen thickness shall be within $\pm 2\%$. Specimen thickness was selected to promote failure in the region between tabs and to assure the specimen contains a sufficient number of fibers at any cross section to be statistically representative of the bulk material.

7.1.2 The specimens may be molded individually to avoid edge and cutting effects or they may be cut from plates after bonding on tab material. If they are cut from plates, precautions must be taken to avoid notches, undercuts, or rough or uneven surfaces. When machined, a specimen should be saw cut at least 3 mm ($1/8$ in.) oversize and final dimensions obtained by milling or grinding, or both, with water flow.

7.2 *Tabs*—Balanced, 0/90- $^\circ$ cross-ply tabs made from unidirectional nonwoven E-glass have proven to be satisfactory. The tabs should be strain compatible with the composite being tested. Each tab shall be a minimum of 38 mm (1.5 in.) long by the width of the specimen and a thickness of 1.5 to 4 times the thickness of the test specimen. Care should be taken to assure that the plies directly adjacent to the adhesive line are parallel to the specimen filament orienta-



NOTE—Bond laminate tabs on two sides and at both ends. Tabs are applied to the end of the test composite with a suitable adhesive. Each tab is a minimum of 38 mm (1.5 in.) long by the width of the laminate and a thickness of approximately 1.5 to 4 times the thickness of the test composite.

FIG. 1 Tensile Test Specimen

tion. Any high-elongation (tough) adhesive system that will meet the temperature requirements may be used.⁵ The length of the tabs is determined by the shear strength of the adhesive, or of the specimen, or of the tabs (whichever is lower), thickness of the specimen, and estimated strength of the composite.⁶ In any case, a significant fraction of failure within one specimen width of the tab shall be cause to reexamine the tab material and configuration, gripping method and adhesive, and to make the necessary adjustment to promote failure within the gage section (the gage section here is one specimen width away from the tab-edge on each end). The percentage of failures occurring outside of the gage section must be indicated if said failures are reported.

7.3 *Number of Test Specimens*—At least five specimens shall be tested unless valid results can be gained through the use of fewer specimens such as in the case of a designed experiment.

8. Conditioning

8.1 *Standard Conditioning Procedure*—The test specimens shall be conditioned and tested in a room or enclosed space maintained at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 1.8^\circ\text{F}$) and $50 \pm 10\%$ relative humidity in accordance with Procedure A of Method D 618.

9. Procedure

9.1 *Speed of Testing*—Speed of testing should be set to effect a constant strain rate in the gage section. This may be

done by constantly monitoring and adjusting the rate of load application to maintain a constant strain rate as measured by a strain pacer tied into the extensometer or strain gage output. Standard strain rates between 16.7 and 33.4 m/m·s (0.01 and 0.02 in./in.·min), are recommended. If available equipment is not able to maintain a constant strain rate, a constant cross-head speed may be used. The cross-head speed shall be determined by multiplying the recommended strain rate by the distance between tabs, in millimeters or in inches.

9.2 Measure the width and thickness of the specimen to within 1 % at several points. Record the minimum values of cross-sectional area so determined.

9.3 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine.

9.4 If strain is to be determined, attach the extension indicator or the strain recording equipment if strain gages are used as primary transducers.

9.5 Set the speed of testing to give the recommended strain rates in the specimen gage section.

9.6 Record load and strain (or deformation) continuously, if possible or, alternatively record load and deformation at the same intervals of strain.

9.7 Record the maximum load carried by the specimen during the test.

9.8 Record the extension at or as near as possible to the moment of rupture of the specimen.

10. Calculation

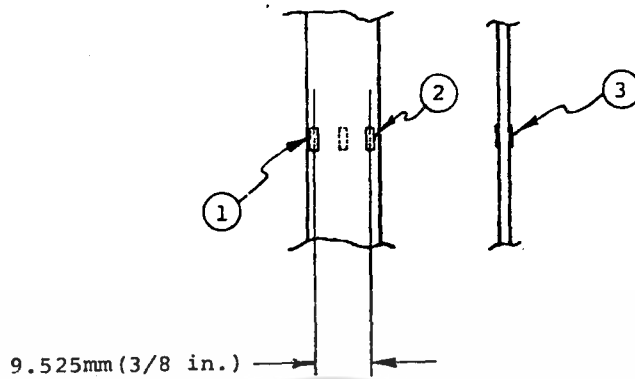
10.1 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength using the following equation, and report results to three significant figures:

$$S = P/l/d$$

where:

S = ultimate tensile strength, MPa or psi,

ASME D 3039



$$\left| \epsilon_3 - \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} \right| \times 100\% \leq 5\%$$

AND

$$\frac{|\epsilon_1 - \epsilon_2|}{\epsilon_1} \times 100\% \leq 5\%$$

FIG. 2 Gage Locations

P = maximum load, N or lbf,
 b = width, mm or in., and
 d = thickness, mm or in.

10.2 *Elastic Modulus*—Calculate modulus of elasticity using the following equation and report results to three significant figures:

$$E = (\Delta P / \Delta l)(l / bd)$$

where:

E = modulus of elasticity, MPa or psi,
 $\Delta P / \Delta l$ = slope of the plot of load as a function of deformation within the linear portion of the curve,
 l = gage length of measuring instrument, mm or in.,
 b = width, mm or in., and
 d = thickness, mm or in.

10.3 *Poisson's Ratio*—Calculate Poisson's ratio using the following equation and report results to three significant figures:

$$\mu = -\Delta \epsilon_{\perp} / \Delta \epsilon$$

where:

μ = Poisson's ratio⁷
 $\Delta \epsilon_{\perp} / \Delta \epsilon$ = slope of strain-strain curve in the linear region, where \perp denotes the strain measured perpendicular to the applied load, and ϵ denotes the strain measured parallel to the applied load.

10.4 For each series of tests calculate the average value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

standard deviation, and coefficient of variation for each property.

$$\text{Average value} = \bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i/n$$

$$\text{Standard deviation} = s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)}$$

$$\text{Coefficient of variation} = v = 100s/\bar{X}$$

where:

X = test value, and

n = number of samples.

11. Report

11.1 The report shall include the following:

11.2 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, and previous history, resin content, void content, filament count, processing details, description of equipment used and deviations from this standard method of test.

11.3 Complete description of the method of fabricating the material tested.

11.4 Stacking sequence of laminates.

11.5 Method of preparing test specimen, and identification of the tab material and adhesive used.

11.6 Test specimen dimensions.

11.7 Conditioning procedure used if other than specified in method.

11.8 Relative humidity and temperature conditions in test room.

11.9 Number of specimens tested.

11.10 Speed of testing if other than specified in method.

11.11 Tensile strength; average value, standard deviation, and coefficient of variation.

11.12 Strain at failure (longitudinal and transverse): av-

11.15 Date of test.

11.2 *Bias*—Because of a lack of a wide data base on a variety of applicable composites, no definitive statement can be made at this time concerning the bias of this test method.

verage value, standard deviation, and coefficient of variation.

11.13 Elastic moduli; average value, standard deviation, and coefficient of variation.

11.14 Poisson's ratio; average value, standard deviation, and coefficient of variation.

บรรณานุกรม

1. นายวิชาญ แสงกิติภมล "GRP พลาสติก" วารสารพลาสติก 3(1).(2526)
: 20-25
2. นายวิชาญ แสงกิติภมล "พลาสติกเสริมแรง" วารสารพลาสติก 5(1).(2526)
: 50-53
3. Meyer , Ramond W. in Handbook of Polyester Molding Compounds and Molding Technology , pp. 78-83 , Chapman and Hall, New York , 1987
4. Kartz ,Harry S. and Milewski John V.in Handbook of fillers and reinforcements for plastics , pp.81-85,97,237-243,247, Van Nostrand Reinhold , New York , 1978
5. Schwartz ,Seymour S. and Goodman Sidney H.in Plastic materials and process , pp. 708-719 , Van Nostrand Reinhold , 1982
6. Brady , George S. and Clauser , Henry R. in Materials Handbook , 13thed., pp. 34-38 , McGraw-Hill , 1991
7. The Society of the plastics industry in Plastics Engineering Handbook , pp. 203-213 , Reinhold , 1954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้