

ผลของความสามารถในการแยกต่อปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกแยกด้วย
อีพอกซีเรซินในแผ่นพีเรอกร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ผลของความสามารถในการเป็ยกต่อปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วย
อีพอกซีเรซินในแผ่นพรีเพรก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF WETTABILITY ON SILVER STREAK DEFECT IN PREPREG



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลของความสามารถในการแยกต่อปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วย
อีพอกซีเรซินในแผ่นพีเรอกร
โดย นางสาวถิรดา สมตน
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสสรณ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ผลของความสามารถในการเปียกต่อปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วย อีพอกซีเรซินในแผ่นพรีเพรก
โดย	นางสาวฉิรดา สมตน
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสร์

บทคัดย่อ

โครงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเปียก (Wettability) ของอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้วและปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Weave หรือ Silver Streaks, SSK) ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้ว 4 ชนิดจากสองบริษัทผู้ผลิต โดยใช้ในการทดลองประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลลอเรนจ์ โดยการหยดเมทิลออเรนจ์ปริมาตร 3 ไมโครลิตร ลงบนเส้นใยแก้วทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้ววัดระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปบนเส้นใยแก้ว ส่วนที่ 2 การทดสอบมุมสัมผัส โดยการหยดสารละลายอีพอกซีเรซินลงบนเส้นใยแก้วและวัดมุมสัมผัส และส่วนที่ 3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน โดยการนำเส้นใยแก้วและสารละลายอีพอกซีเรซินไปอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และนำไปอัดเป็นแผ่นพรีเพรก จากนั้นนำไปตัดขวางและส่องดูปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีความสามารถในการเปียกสูงสุด เพราะมีระยะทางในการซึมของเมทิลออเรนจ์มากที่สุด เท่ากับ 3.22 เซนติเมตร และมีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุด คือ 76.0° เมื่อนำแผ่นพรีเพรกที่ผลิตจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ไปตรวจสอบก็พบว่า การเกิดจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแผ่นพรีเพรกที่ผลิตจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B และการเพิ่มขึ้นของค่ามุมสัมผัสของอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้วทำให้จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินมีค่าเพิ่มขึ้น

Report Title	Effect of Wettability on Silver Streak Defect in Prepreg
By	Miss Tirada Somton
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2018
Advisor	Asst.Prof.Dr. Apinan Namkanisorn

ABSTRACT

This project investigated the relationship between wettability of epoxy resin on glass fiber and silver streaks or weave defect. Four types of glass fibers from two suppliers were compared for their wetting property by using three approaches: (i) measuring the distance that methyl orange travelled on the fiberglass by dropping methyl orange 3 microliters on fiberglass then measuring the distance it travels after 5 minutes., (ii) measuring static contact angle when a drop of epoxy resin was placed on the fiberglass. and (iii) examining the silver streak defect by first forming a prepreg by curing fiberglass with epoxy resin at 165 degrees Celsius for 3 minutes then pressing the prepreg to form an 4-ply laminate and cross-sectioning the laminate to study the silver streak defect using microscope. The experimental results showed that fiberglass A2 has the highest wettability because it has the highest distance for methyl orange travelling of 3.22 centimeters and the least static contact angle of 76 degrees. In addition, the laminates produced from fiberglass from supplier A have less silver streak defects as compared to those produced from fiberglass from supplier B. Increasing static contact angle of epoxy resin on the glass fiber leads to larger number of silver streak defects.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิสสรณ์ ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำชี้แนะในการแก้ปัญหา คำปรึกษาในการทำ ปริญญาโท และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาโทตลอดการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบหัวข้อ และโครงสร้างปริญญาโทที่ได้กรุณาให้ คำแนะนำ ตลอดข้อชี้แนะต่างๆในการทำปริญญาโทจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยลามีเนตแมนูแฟคเจอเรอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ และ ความช่วยเหลือในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ความเข้าใจในรายวิชาที่ศึกษา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และแก้ปัญหาจน ทำให้ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม ขอขอบคุณ รุ่นพี่ และเพื่อนที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา หากปริญญาโทนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้

ฉัตรดา สมตน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Polymer).....	3
2.2 เส้นใยแก้ว (Fiberglass).....	5
2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแก้ว.....	10
2.4 ความสามารถในการเปียก (Wettability).....	13
2.5 ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Weave หรือ Silver Streaks, SSK).....	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	17
3.1 การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลลอเรนจ์.....	17
3.2 การทดสอบมุมสัมผัส.....	19
3.3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน.....	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	27
3.1 การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลลอเรนจ์.....	27
3.2 การทดสอบมุมสัมผัส.....	29
3.3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
1) การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลลอเรนจ์	35
2) การทดสอบมุมสัมผัส.....	35
3) การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม.....	36
ภาคผนวก.....	37
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลดิบของผลการทดลอง	38



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของเส้นใยแก้วชนิด S Glass และ E Glass.....	6
2.2 แสดงองค์ประกอบ (wt%) ในเส้นใยแก้ว	7
2.3 ส่วนประกอบของเส้นใย E-Glass (ASTM E-Glass specification D-578-00).....	8
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย E-Glass	8
2.5 ข้อกำหนดคุณสมบัติผ้าทอสำเร็จรูปจากเส้นใย E-glass ในหน่วย SI (IPC-4412A)	9
2.6 ส่วนประกอบในการเคลือบ (Sizing) เส้นใยแก้วทั่วไป.....	13
4.1 ส่วนประกอบในการเคลือบเส้นใยแก้วทั่วไป	27
4.2 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต A	28
4.3 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต B.....	28
4.4 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A	29
4.5 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B.....	30
4.6 จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นพรีเพอร์กที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A	32
4.7 จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นพรีเพอร์กที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B	33
ก.1 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต A	38
ก.2 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต B	38
ก.3 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A	39
ก.4 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B	40

สารบัญรูปรภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของอีพอกซีเรซิน	3
2.2 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบพวเคมีน	4
2.3 แสดงกลไกในการทำปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์และสารประกอบเอมีน	4
2.4 โครงสร้างแบบร่างแหของอีพอกซี	5
2.5 เส้นใยแก้วที่มีลักษณะสั้นไม่ต่อเนื่อง	6
2.6 เส้นใยแก้วที่มีลักษณะต่อเนื่องคล้ายกับเส้นด้าย	6
2.7 การผลิตเส้นใยแก้ว	10
2.8 กระบวนการผลิตเส้นใยแก้ว	10
2.9 รูปร่างโมเลกุลของไซเลน	11
2.10 ลักษณะการปรับปรุงคุณสมบัติในการยึดเกาะ	12
2.11 การเกิดปฏิกิริยาของไซเลน	12
2.12 ลักษณะความสามารถในการเปียกของหยด	13
2.13 การวัดมุมสัมผัส θ และมุม α	14
2.14 เส้นใยแก้วเคลือบด้วยอีพอกซีเรซิน	15
3.1 การแบ่งบริเวณของเส้นใยแก้ว	18
3.2 การหยดเมทิลลอเรนจ์ลงบนเส้นใยแก้ว	18
3.3 การวัดระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้ว	19
3.4 เส้นใยแก้วที่ติดบนกระจกสไลด์	20
3.5 ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพมุมสัมผัส	20
3.6 ลักษณะการถ่ายหดยดสารละลายอีพอกซีเรซินเพื่อวัดมุมสัมผัส	20
3.7 การวัดมุมสัมผัส	21
3.8 การปั่นสารละลายอีพอกซี	22
3.9 การชิงเส้นใยแก้วบนโครงเหล็ก	23
3.10 การปาดสารละลายอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้ว	23
3.11 ลักษณะการจัดวางแผ่นพรีเพรกเข้าตู้อัด	24
3.12 ชิ้นงานแผ่นพรีเพรกที่ถูกตัดขวาง	24
3.13 การขีดแผ่นพรีเพรกด้วยเครื่องขีด	25
3.14 การเตรียมน้ำยาเรซิน	25
3.15 ลักษณะการประกอบชิ้นงานก่อนเทน้ำยาเรซิน	26

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 ชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน	26
3.17 ส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน	26
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน	34



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พรีเพรก (Pre-impregnated) คือ วัสดุผสม (Composite materials) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกันโดยจะแบ่งออกเป็นวัสดุตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่เป็นเฟสกระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักหรือตัวเสริมแรง (Reinforcement) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลที่ดี ความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ความสามารถในการยึดติดและประสานได้ดี โดยกระบวนการผลิตพรีเพรกสามารถทำได้โดยการนำอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) และเส้นใยแก้ว (Fiberglass) มาผ่านกระบวนการบ่ม (Curing) ด้วยความร้อนให้เกิดการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบร่างแห (Crosslinking) แต่หลังจากผ่านกระบวนการบ่ม พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติระหว่างอีพอกซีเรซินและเส้นใยแก้ว คือ ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Weave หรือ Silver Streaks, SSK) ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการเปียก (Wettability) ของเส้นใยแก้วที่ถูกทอเป็นผืนผ้า โดยปัญหาเกิดมาจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ ไฮเลน (Silane coupling agent) ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยแก้วและกระบวนการเตรียมเส้นใย (Treatment process)

โครงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเปียก (Wettability) ของอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้วกับปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Weave หรือ Silver Streaks, SSK) โดยเปรียบเทียบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้ว 4 ชนิด แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) ส่วนที่ 2 การทดสอบมุมสัมผัส (Static contact angle) และส่วนที่ 3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) หาวิธีการทดลองหาความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้ว เพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินก่อนนำไปผลิตเป็นพรีเพรก
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเปียกของอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้วกับปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) พิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นในแผ่นฟรีแพรงคือปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน
- 2) ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็ยกของเส้นใยแก้วที่แตกต่างกัน 4 ชนิด
- 3) พิจารณาความสามารถในการเป็ยกของเส้นใยแก้วผ่านการวัดระยะทางในการซึมของเมทิลออเรนจ์ และการวัดมุมสัมผัส
- 4) พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเป็ยกของเส้นใยแก้วกับปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) รู้สาเหตุของการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน
- 2) มีวิธีการทดลองเส้นใยแก้วเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็ยกของเส้นใยแก้วก่อนนำไปผลิตเป็นฟรีแพรง
- 3) สามารถลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

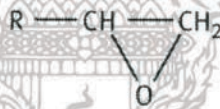
2.1 พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Polymer) [1]

พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติง หมายถึง พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบร่างแห ทำให้มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความร้อนและการละลายได้ดี พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ พลาสติกกลุ่มฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Formaldehyde resin) พลาสติกกลุ่มอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) และพลาสติกกลุ่มพอลิยูรีเทน (Polyurethane)

พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติง สามารถเตรียมได้จากการเตรียมพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงหรือพรีพอลิเมอร์ (Pre-polymer) ก่อนแล้วจึงนำพรีพอลิเมอร์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบร่างแห (Crosslinking) และเมื่อโครงสร้างโมเลกุลเป็นร่างแหแล้วหากพอลิเมอร์ถูกทำลายเกิดการหลอมเหลวจะไม่สามารถขึ้นรูปกลับมาได้อีก

2.1.1 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)

อีพอกซีเรซิน เป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 2 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม

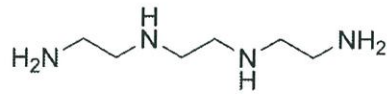


รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอีพอกซีเรซิน

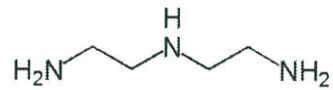
ที่มา <http://www.repository.rmutt.ac.th/handle/123456789/3158>

หากต้องการให้อีพอกซีเรซินเปลี่ยนโครงสร้างกลายเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติงจะต้องผ่านการบ่มให้เกิดการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบร่างแห โดยเริ่มจากการนำพรีพอลิเมอร์ที่ได้ผ่านการบ่มให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลดังกล่าว โดยการเกิดปฏิกิริยานั้น สามารถเกิดได้ทั้งตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลบริเวณกลางสายโซ่ของพรีพอลิเมอร์และตำแหน่งหมู่อีพอกซีที่ปลายโมเลกุล

การทำปฏิกิริยาที่หมู่อีพอกซีจะใช้สารประกอบพวกเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สารที่ทำให้แข็งตัว (Hardener) โดยสารประกอบพวกเอมีนจะมีหลายประเภท ตัวอย่างเช่น Triethylene tetraamine และ Diethylene triamine ดังแสดงในรูปที่ 2.2



Triethylene tetraamine



Diethylene triamine (DETA)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบพวกเอมีน

ที่มา <http://www.repository.rmutt.ac.th/handle/123456789/3158>

สารประกอบพวกเอมีนที่ใช้จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สารประกอบเอมีนแบบปฐมภูมิ (Primary amine) และสารประกอบเอมีนแบบทุติยภูมิ (Secondary amine) พบว่าสารประกอบเอมีนแบบปฐมภูมิมี่ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน กลไกในการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3

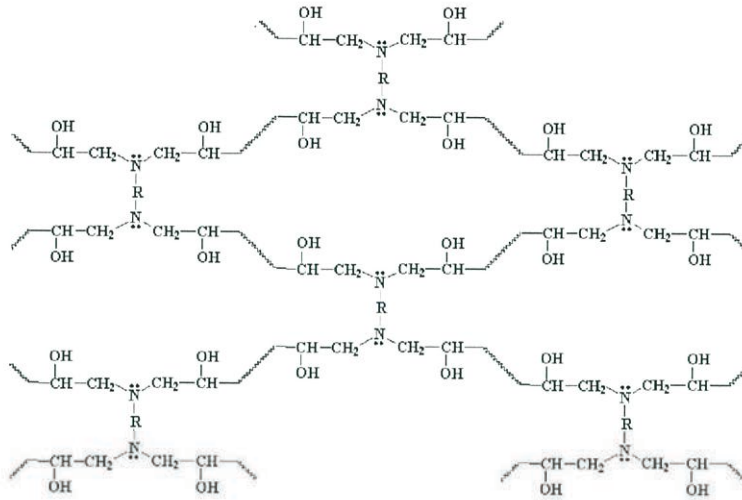


รูปที่ 2.3 กลไกในการทำปฏิกิริยาระหว่างฟริพอลิเมอร์และสารประกอบเอมีน

ที่มา <http://www.repository.rmutt.ac.th/handle/123456789/3158>

เมื่อเกิดการทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบร่างแหอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น จะได้โมเลกุลของอีพอกซีที่มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบร่างแหของอีพอกซี

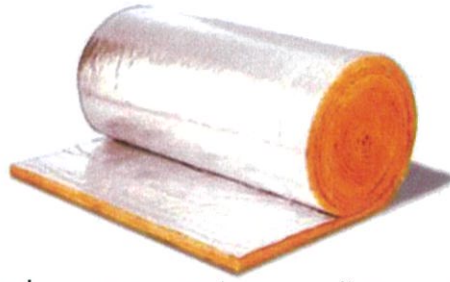
ที่มา <http://www.repository.rmutt.ac.th/handle/123456789/3158>

2.2 เส้นใยแก้ว (Fiberglass) [2]

เส้นใยแก้ว คือ เส้นใยของแก้วที่ถูกปั่นให้ละเอียดเป็นเส้นบางๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) ของวัสดุผสม (Composite Materials) มีคุณสมบัติทนต่อแรงดึงได้สูง มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน เป็นฉนวนทางความร้อนที่ดี ดูดซึมน้ำได้น้อย

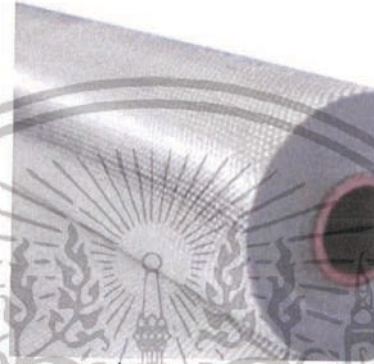
ส่วนประกอบของใยแก้วประกอบด้วยส่วนผสมหลัก คือ ทรายแก้ว (Silica Sand) ทำหน้าที่เป็นสารสร้างแก้ว โซดาแอส (Soda Ash) และหินปูน (Limestone) ทำหน้าที่ช่วยลดจุดหลอมเหลว ส่วนผสมอื่นๆเพิ่มเติม ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแก้ว เช่น หินฟันม้า (Feldspar) แคลไซน์อะลูมินา (Calcined Alumina) บอแรกซ์ (Borax) แมกนีไซต์ (Magnesite) ดินขาวเคโอลิน (Kaolin Clay) และเนฟฟีลีนไซยาไนต์ (Nepheline Syenite)

เส้นใยแก้วสามารถแบ่งได้สองประเภทตามลักษณะของเส้นใย คือ เส้นใยที่มีลักษณะสั้นไม่ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มักนำมาทำเป็นฉนวนกันเสียงและฉนวนกันความร้อน ส่วนเส้นใยอีกประเภทหนึ่งเส้นใยจะมีลักษณะต่อเนื่องคล้ายกับเส้นด้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สามารถนำมาถักทอเป็นผืนผ้า (Fiberglass Fabric) มีคุณสมบัติหดรัดตัวได้ยาก ป้องกันความร้อนได้ดี ไม่ดูดซึมน้ำ มักนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ผ้าม่านกันสะเก็ดไฟ



รูปที่ 2.5 เส้นใยแก้วที่มีลักษณะสั้นไม่ต่อเนื่อง

ที่มา <http://www.chokechaiphan.com/th/product/microfiber>



รูปที่ 2.6 เส้นใยแก้วที่มีลักษณะต่อเนื่องคล้ายกับเส้นด้าย

ที่มา <https://www.alibaba.com/product-detail/Zccy-wr-600g-glass-fiber-woven.html>

สามารถแบ่งเส้นใยแก้วออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. E-Glass (Electrical) มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าต่ำ
2. S-Glass (Strength) มีคุณสมบัติความแข็งแรงสูง
3. C-Glass (Chemical) มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมี
4. M-Glass (Modulus) มีคุณสมบัติแข็งแรงสูง
5. A-Glass (Alkali) มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน
6. D-Glass (Dielectric) มีคุณสมบัติไดอิเล็กทริกต่ำ

ตัวอย่างคุณสมบัติของเส้นใยแก้วชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเส้นใยแก้วชนิด S Glass และ E Glass [2]

ชนิดของเส้นใยแก้ว	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Thermal Conductivity (W/m.K)
S-Glass	2500	89	4590	5.7	1.45
E-Glass	2620	81	3450	4.9	1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบ (wt%) ในเส้นใยแก้ว (Loewenstein, 1993; Jones, 2001)

ส่วนประกอบ	E	ECR	Advantex	C	A	S-2	R	Cemfil (Majumdar, 1971)	AR1 (Kenebo/Nippon Electric,1979)	AR2	D
SiO ₂	55.2	58.4	59-62	65.0	71.8	65.0	60	71	60.7	61.0	75.5
Al ₂ O ₃	14.8	11.0	12-15	4	1.0	25.0	25	1	-	0.5	0.5
B ₂ O ₃	7.3	0.09	-	5	-	-	-	-	-	-	20.0
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	16	21.5	13.0	-
MgO	3.3	2.2	1-4	3	3.8	10.0	6	-	-	0.05	0.5
CaO	18.7	22.0	20-24	14	8.8	-	9	-	-	5.0	0.5
ZnO	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	2.1	<1	-	-	-	-	-	-	5.5	-
Na ₂ O	0.3	-	0.1-2	8.5	13.6	-	-	11	14.5	-	3.0
K ₂ O	0.2	0.9	<2	-	0.6	-	-	-	2.0	14.0	-
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-
Fe ₂ O ₃	0.3	0.26	<0.5	0.3	0.5	trace	-	trace	trace	-	-
F ₂	0.3	-	<0.5	-	-	0	-	-	-	-	-

เส้นใยที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คือ เส้นใย E-Glass เนื่องจากมีคุณสมบัติและราคาที่เหมาะสม โดยส่วนประกอบของเส้นใย E-Glass คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย E-Glass และข้อกำหนดคุณสมบัติผ้าทอสำเร็จรูปจากเส้นใย E-glass ในหน่วย SI แสดงดังตารางที่ 2.3 - 2.5 ตามลำดับ ที่ อุณหภูมิห้องเส้นใย E-Glass จะมีความต้านทานไฟฟ้าสูง ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เส้นใย E-Glass เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาทำเป็นสารเสริมแรงในแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Boards, PCB) เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีความหนืดสูง มีความทนทานต่อสารเคมี โดยเฉพาะความทนทานต่อความเป็นกรด ออกไซด์หลักที่ถูกใช้ในเส้นใยแก้ว คือ ซิลิกา (Silica) แคลเซียม (Calcium) และอะลูมินา (Alumina) ส่วนใหญ่เส้นใยแก้วชนิด E จะประกอบไปด้วยโบรอน (Boron) แต่อย่างไรก็ตามเส้นใยแก้วชนิด E ที่ไม่มีโบรอนหรือฟลูออรีน (Fluorine) กำลังได้รับการยอมรับในอุตสาหกรรมเส้นใยแก้ว เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของเส้นใย E-Glass (ASTM E-Glass specification D-578-00) [2]

E-Glass สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์		E-Glass สำหรับใช้งานทั่วไป	
สารเคมี	%โดยน้ำหนัก	สารเคมี	%โดยน้ำหนัก
B ₂ O ₃	5-10	B ₂ O ₃	0-10
CaO	16-25	CaO	16-25
Al ₂ O ₃	12-16	Al ₂ O ₃	12-16
SiO ₂	52-56	SiO ₂	52-56
MgO	0-5	MgO	0-5
Na ₂ O และ K ₂ O	0-2	Na ₂ O K ₂ O	0-2
TiO ₂	0-0.8	TiO ₂	0-1.5
Fe ₂ O ₃	0.05-0.4	Fe ₂ O ₃	0.05-0.8
ฟลูออไรด์	0-1.0	ฟลูออไรด์	0-1.0

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย E-Glass [2]

คุณสมบัติ	ช่วงของค่าที่ เผยแพร่
ความหนาแน่น - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Density - bulk (g/cm ³))	2.54-2.62
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Coefficient of thermal expansion - bulk (m/m/K))	$4.9^6 \times 10^{-6}$
ความร้อนจำเพาะ - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Specific heat - bulk (kJ/kg K))	0.8
อุณหภูมิที่ทำให้อ่อนนิ่ม (Softening temperature (- C))	830-916
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Thermal Conductivity - bulk (W/m K))	1.0
ดัชนีการหักเหแสง - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Refractive index - bulk)	1.547-1.560
ความคงทนต่อการดึง - ของเส้นใย (Tensile strength - filament (GPa))	3.1-3.8
มอดูลัสแรงดึง - ของเส้นใย (Tensile modulus - filament (GPa))	76-81
ความยืดตัว ณ จุดขาด - ของเส้นใย (Elongation at break - filament (%))	4.5-4.9
อัตราส่วนปัวซอง - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Poisson's ratio - bulk)	0.18
ความคงทนทางไดอิเล็กตริก - ของกลุ่มก้อนเส้นใย (Dielectric strength - bulk (kV/mm))	10.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดคุณสมบัติผ้าทอสำเร็จรูปจากเส้นใย E-glass ในหน่วย SI (IPC-4412A)

Style	Fabric Count Warp x Fill (Per cm)	Yarn (SI)	Thickness (mm) (Reference Only)	Nominal Weight (g/m ²)	Weight Tolerance (g/m ²)	Availability ¹
101	29.5 x 29.5	5 2.75 1x0 5 2.75 1x0	0.024	16.3	15.2 - 17.3	1
104	23.6 x 20.5	5 5.5 1x0 5 2.75 1x0	0.028	18.6	18.0 - 19.3	1
106	22.0 x 22.0	5 5.5 1x0 5 5.5 1x0	0.033	24.4	23.4 - 25.4	1
1078	21.3 x 21.3	5 11 1x0 5 11 1x0	0.043	47.8	46.8 - 49.2	1
1080	23.6 x 18.5	5 11 1x0 5 11 1x0	0.053	46.8	45.1 - 48.5	1
1081	27.6 x 23.6	5 11 1x0 5 11 1x0	0.060	58.3	56.4 - 60.6	1
1280	23.6 x 23.6	5 11 1x0 5 11 1x0	0.056	52.9	51.5 - 54.2	1
1500	19.3 x 16.6	7 45* 1x0 7 45* 1x0	0.149	164.1	157.7 - 170.5	1
1501	18.1 x 17.7	7 45* 1x0 7 45* 1x0	0.140	165.0	158.0 - 171.0	1
1504	23.6 x 19.7	6 33 1x0 6 33 1x0	0.125	148.0	142.8 - 153.2	1
1651	20.0 x 10.8	9 33 1x0 9 74 1x0	0.135	146.2	142.1 - 150.3	1
1652	20.5 x 20.5	9 34* 1x0 9 34* 1x0	0.114	138.3	133.6 - 143.1	1
1674	15.7 x 12.6	9 34* 1x0 9 34* 1x0	0.097	96.6	92.9 - 100.4	1
1675	15.7 x 12.6	6 33 1x0 6 33 1x0	0.101	96.3	92.6 - 100.0	1
1678	15.7 x 15.7	9 34* 1x0 9 34* 1x0	0.091	103.5	102.7 - 111.6	1
2113	23.6 x 22.0	7 22 1x0 5 11 1x0	0.079	78.0	75.6 - 80.4	1
2114	22.0 x 18.9	7 22 1x0 7 22 1x0	0.084	90.9	88.5 - 93.2	1
2116	23.6 x 22.8	7 22 1x0 7 22 1x0	0.094	103.8	100.7 - 106.8	1
2117	26.0 x 21.7	7 22 1x0 7 22 1x0	0.095	108	104.8 - 111.2	1
2125	15.7 x 15.4	7 22 1x0 9 34* 1x0	0.091	87.5	82.7 - 90.9	1
2157	23.6 x 13.8	7 22 1x0 9 68 1x0	0.130	148.0	144.0 - 152.0	1
2165	23.6 x 20.5	7 22 1x0 9 34* 1x0	0.101	122.4	116.3 - 126.1	1
2166	23.6 x 15.0	7 22 1x0 9 68 1x0	0.140	155.0	150.0 - 160.0	1
2313	23.6 x 25.2	7 22 1x0 5 11 1x0	0.084	81.4	79.0 - 83.7	1
3070	27.6 x 27.6	6 16.5 1x0 6 16.5 1x0	0.078	93.6	90.9 - 96.3	1
3080	20.0 x 12.0	6 16.5 1x0 6 16.5 1x0	0.059	53.4	51.5 - 55.3	1
3313	23.6 x 24.4	6 16.5 1x0 6 16.5 1x0	0.084	81.4	79.0 - 83.7	1
7628	17.3 x 12.2	9 68 1x0 9 68 1x0	0.173	203.4	198.0 - 208.9	1
7629	17.3 x 13.4	9 68 1x0 9 68 1x0	0.180	216.0	204.5 - 215.3	1
7635	17.3 x 11.4	9 68 1x0 9 102* 1x0	0.201	232.3	226.5 - 238.0	1
7642	17.3 x 7.9	9 68 1x0 9 136* 1x0 (texturized)	0.254	227.8	221.1 - 234.7	1
108	23.6 x 18.5	5 5.5 1x2 5 5.5 1x2	0.061	47.5	46.1 - 48.8	2
1000	33.5 x 33.5	4 1.65 1x0 4 1.65 1x0	0.012	11.1	10.2 - 12.0	2
1017	37.4 x 37.4	4 1.65 1x0 4 1.65 1x0	0.014	12.3	11.4 - 13.2	2
1027	29.5 x 29.5	4 3.31 1x0 4 3.31 1x0	0.019	19.9	19.0 - 20.7	2
1035	26.0 x 26.8	5 5.5 1x0 5 5.5 1x0	0.028	30.8	27.2 - 32.6	2
1037	27.6 x 28.7	4.5 4.1 1x0 4.5 4.1 1x0	0.027	23.0	22.2 - 24.1	2
1065	22.0 x 22.0	5 11 1x0 5 5.5 1x0	0.053	37.3	35.6 - 39.0	2
1067	27.6 x 27.6	5 5.5 1x0 5 5.5 1x0	0.035	30.7	29.5 - 31.9	2
1634	20.0 x 12.0	9 33 1x0 9 33 1x0	0.095	105.4	101.6 - 109.2	2

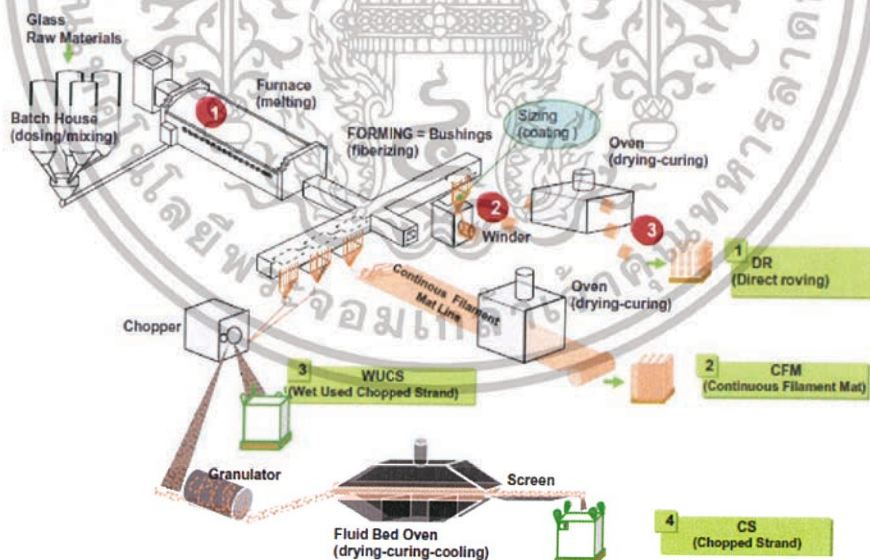
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแก้ว [7]

กระบวนการผลิตเส้นใยแก้วได้รับการพัฒนาขึ้นและจัดทำเป็นตำราและเว็บไซต์ต่างๆ อย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษที่ 1930 กระบวนการพื้นฐานเกี่ยวข้องกับการหลอมทรายซิลิกา (Silica sand) หินปูน (Limestone) ดินขาว (Kaolin clay) และแร่ธาตุอื่นๆ ให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 1500 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะถูกพ่น (Extruding) ออกมาเพื่อเข้าสู่กระบวนการเป่าปิด (Bushings) เพื่อผลิตเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 - 2.8



รูปที่ 2.7 การผลิตเส้นใยแก้ว



รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตเส้นใยแก้ว

ที่มา https://www.researchgate.net/publication/319911812_Influence_of_Glass_Fibre_Sizing_and_Storage_Conditions_on_Composite_Properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การเคลือบ (Sizing) [9]

ส่วนประกอบในการเคลือบ (Sizing) ประกอบด้วย

1) สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling agent) ช่วยเรื่องการยึดติด (Adhesion) ระหว่างผิวกระจกและเรซินโดยทั่วไปนิยมใช้ไซเลน (Silane)

ไซเลน คือ สารควบคู่ปฏิกิริยาที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลที่หมู่ฟังก์ชันสามารถทำปฏิกิริยาได้ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลนทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นคุณสมบัติเฉพาะของไซเลนที่ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงทางกลของวัสดุผสม ปรับปรุงคุณสมบัติในการยึดเกาะ และปรับปรุงพื้นผิวของเรซินรูปที่ 2.9 แสดงรูปร่างโมเลกุลของไซเลน ประกอบไปด้วยกลุ่มทำปฏิกิริยา (Reactive groups) 2 กลุ่ม

X คือ กลุ่มที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ เช่น เรซินสังเคราะห์ ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติในการเปียก (Wettability) ปรับปรุงความเข้ากันได้ (Compatibility) ของสาร ตัวอย่างกลุ่มทำปฏิกิริยา กลุ่ม X เช่น กลุ่มไวนิล (Vinyl groups) กลุ่มอีพอกซี (Epoxy groups) กลุ่มอะมิโน (Amino groups) กลุ่มเมทาคริลอซี (Methacryloxy groups) กลุ่มเมอร์แคปโต (Mercapto groups)

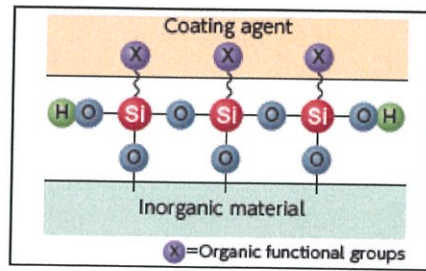
OR คือ กลุ่มที่ทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ เช่น แก้ว เหล็ก ฟิลเลอร์ที่เป็นอนินทรีย์ ตัวอย่างกลุ่มทำปฏิกิริยากกลุ่ม OR เช่น กลุ่มเมทอกซี (Methoxy groups) กลุ่มอีทอกซี (Ethoxy groups)



รูปที่ 2.9 รูปร่างโมเลกุลของไซเลน

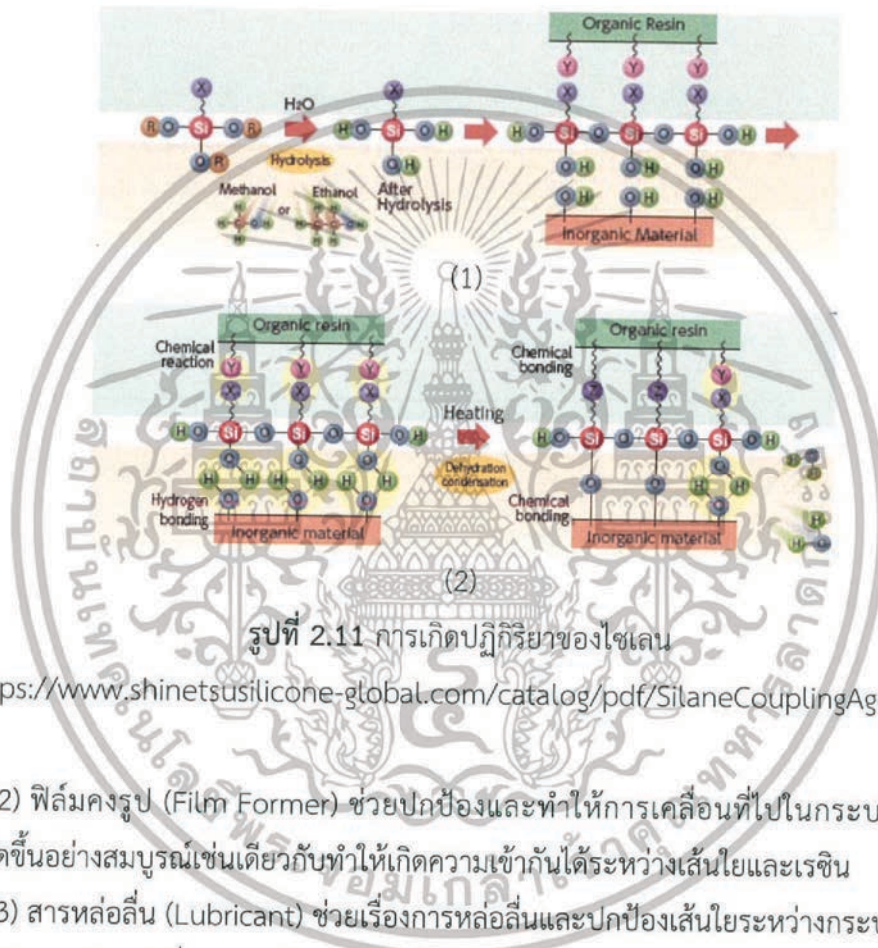
ที่มา https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/SilaneCouplingAgents_e.pdf

ไซเลนถูกนำมาใช้เคลือบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการยึดเกาะ ป้องกันน้ำ ป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมีประเภทเบสของเส้นใยแก้ว ลักษณะการปรับปรุงคุณสมบัติในการยึดเกาะ และการเกิดปฏิกิริยาของไซเลน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 – 2.11



รูปที่ 2.10 ลักษณะการปรับปรุงคุณสมบัติในการยึดเกาะ

ที่มา https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/SilaneCouplingAgents_e.pdf



รูปที่ 2.11 การเกิดปฏิกิริยาของไซเลน

ที่มา https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/SilaneCouplingAgents_e.pdf

2) फिल्मครูป (Film Former) ช่วยปกป้องและทำให้การเคลื่อนที่ไปในกระบวนการของเส้นใยเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกับทำให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเรซิน

3) สารหล่อลื่น (Lubricant) ช่วยเรื่องการหล่อลื่นและปกป้องเส้นใยระหว่างกระบวนการ

4) สารเติมแต่งอื่นๆ สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic) ตัวกระทำอิมัลชัน (Emulsifier)

สารป้องกันการเกิดโฟม (Anti-foaming) สารฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Bactericide)

ส่วนประกอบในการเคลือบเส้นใยแก้วทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบในการเคลือบ (Sizing) เส้นใยแก้วทั่วไป [1]

ส่วนประกอบ	% ในการเคลือบ
สารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling agent)	5-15%
ฟิล์มคงรูป (Film Former)	50-70%
สารหล่อลื่น (Lubricant)	10-30%
สารเติมแต่งอื่นๆ	0-5%

2.4 ความสามารถในการเปียก (Wettability) [10]

การประเมินความสามารถในการเปียกของเส้นใยโดยการใช้เรซินเหลวมักใช้วิธีการวัดมุมสัมผัสระหว่างเส้นใยและเรซิน จากความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเปียกและมุมสัมผัสพบว่า ยิ่งมุมสัมผัสมีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าเส้นใยมีความสามารถในการเปียกที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.12 วิธีการวัดมุมสัมผัสหลายวิธีสำหรับการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวราบค่าที่ได้จะคงที่ในแต่ละบริเวณที่ทำการวัด แต่ในทางกลับกันการวัดมุมสัมผัสสำหรับพื้นผิวที่เป็นทรงกระบอกจะยุ่งยากมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างรวดเร็วของพื้นผิวบริเวณใกล้กับจุดที่ต้องการวัดมุมสัมผัส ทำให้ค่าที่ได้ในแต่ละบริเวณที่ทำการวัดกระจุกกระจาย



รูปที่ 2.12 ลักษณะความสามารถในการเปียกของหยด

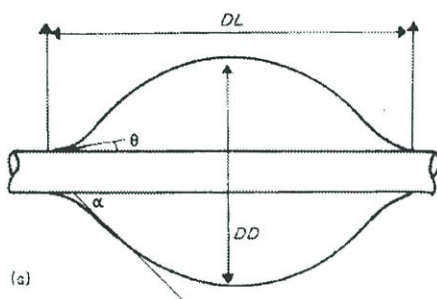
(a) ความสามารถในการเปียกแย่

(b) ความสามารถในการเปียกดี

ที่มา <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01161445>

อย่างไรก็ตามมุมสัมผัสจริงหรือมุม θ อาจสับสนกับมุม α ซึ่งสามารถวัดได้ง่ายกว่าและให้ความลาดชันที่สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.13 สิ่งที่มีผลต่อความสามารถในการเปียก คือ สูตรของเรซินองค์ประกอบของสไตรีน และชนิดของสารที่เคลือบอยู่บนเส้นใยซึ่งสามารถศึกษาผ่านการวัดมุมสัมผัสผ่านกล้องจุลทรรศน์โดยใช้วิธี Tangent วิธีนี้จะใช้วิธีการสังเกตลักษณะของหยดเรซินบนเส้นใย และวัดมุมสัมผัส α และมุม θ ระหว่างเรซินกับเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การวัดมุมสัมผัส θ และมุม α

ที่มา <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01161445>

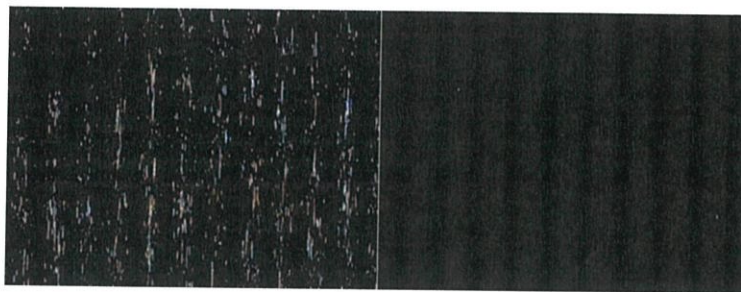
2.5 ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Weave, Silver Streaks, SSK) [11]

ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน คือ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติระหว่างอีพอกซีเรซินและเส้นใยแก้ว คือ เส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน (Silver Streaks) เป็นผลมาจากคุณสมบัติในการเปียก (Wettingability) ของเส้นใยแก้วที่ถูกทอเป็นผืนผ้า ภาพแสดงการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินเปรียบเทียบกับที่ไม่เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 2.14

ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินเกิดมาจาก 2 ปัจจัยหลัก ดังนี้

1. ซิแลน (Silane) ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยแก้ว
 - 1.1) ลักษณะของซิแลน (Silane Style)
 - 1.2) ความเข้มข้นของซิแลน (Silane Concentration)
 - 1.3) การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Silane Hydrolysis Control)
 - 1.4) ใช้สารลดแรงตึงผิวแบบพิเศษ (Use special surfactant)
2. กระบวนการเตรียมเส้นใยแก้ว (Treatment Process)
 - 2.1) ปริมาณเถ้าบนผ้า (Ash quantity on fabric)
 - 2.2) ซิแลนที่เคลือบอยู่บนเส้นใย (Silane coverage on filament)
 - 2.3) การทำให้แห้งหลังจากการจุ่ม (The drying after dipping)
 - 2.4) การล้างด้วยน้ำ (The water washing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 เส้นใยแก้วเคลือบด้วยอีพอกซีเรซิน

(ก) เกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

(ข) ไม่เกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

ที่มา บริษัท ไทยลามิเนตแมนูแฟคเจอร์ จำกัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K Van de Velde และ P Kiekens (1999) วิเคราะห์ความสามารถในการเปียก (Wettability) และพื้นผิวของเส้นใยแก้ว [5] งานวิจัยศึกษาความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วที่ถูกใช้เพื่อเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกและพลาสติกเทอร์โมเซต โดยพิจารณามุมสัมผัส (contact angle) และพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดภาวะการเปียก ตัวอย่างเช่น แรงแอดฮีชัน (Adhesion) พลังงานพื้นผิวของเส้นใย (Fiber surface energy) และพลังงานผิวสัมผัส (Interfacial Energy) พบว่า ความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วขึ้นกับเส้นใยและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย เมื่อพิจารณารูปร่างภาพตัดขวางของเส้นใยรูปร่างเดียวกัน

K Van de Velde และ P Kiekens (1999) ความสามารถในการเปียก (Wettability) ของเส้นใยธรรมชาติที่ถูกใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุผสม [6] งานวิจัยศึกษาพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดภาวะการเปียก ตัวอย่างเช่น มุมสัมผัส (contact angle) แรงแอดฮีชัน (Adhesion) พลังงานพื้นผิวของเส้นใย (Fiber surface energy) และพลังงานผิวสัมผัส (Interfacial energy) ของเส้นใยที่อยู่ในของเหลวที่แตกต่างกัน พิล์มที่ทำจากโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ได้รับการศึกษาโดยใช้เทคนิคของ Wilhelmy technique จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วขึ้นกับเส้นใยและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเมื่อพิจารณารูปร่างภาพตัดขวางของเส้นใยรูปร่างเดียวกัน ความแตกต่างของมุมสัมผัสระหว่างเส้นใยแก้วสามารถอธิบายได้ด้วยค่าพลังงานพื้นผิวที่สูงกว่าของส่วนประกอบ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วกับโพลีโพรพิลีน พบว่าเส้นใยแก้วบางชนิดมีความสามารถในการยึดเกาะกับโพลีโพรพิลีนได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ

Pyeong-Su Shin และคณะ (2018) ผิวสัมผัสและคุณสมบัติในการเปียกระหว่างเส้นใยแก้วกับอีพอกซีเรซินที่ระยะเวลาคงสภาพหลังผสม (Pot lifes) ของเรซินต่างกัน [8] งานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับแรงแอดฮีชัน (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัส คุณสมบัติในการเปียกและคุณสมบัติระหว่างผิวสัมผัสที่ดีที่สุดของวัสดุผสม โดยการใช้ระยะเวลาคงสภาพหลังผสมของสารที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hardeners) แตกต่างกัน 4 ชนิด นำมาหดยบนแผ่นเส้นใยแก้ว เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ FT-IR, DSC, การวัด Contact angle, การทดสอบการกระจายของเส้นใย หลังจากการทดสอบ แสดงให้เห็นผลกระทบบของคุณสมบัติในการเปียก คุณสมบัติระหว่างผิวสัมผัส และคุณสมบัติทางกล พบว่าเรซินชนิดที่ 1 มีอายุการใช้งานที่สั้นที่สุดและมีคุณสมบัติระหว่างผิวสัมผัสสูง เรซินชนิดที่ 4 มีอายุการใช้งานที่ยาวที่สุดและมีคุณสมบัติในการเปียกสูง การบ่มด้วย C-N ช่วยเร่งเวลาในการบ่ม ปรากฏการณ์นี้นำไปสู่การปรับปรุงการบ่มทำให้เส้นใยแก้วและอีพอกซีเรซินมีคุณสมบัติระหว่างผิวสัมผัสที่แข็งแรง

C. Sellitti และคณะ (1987) ความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วที่มีการเคลือบ (sizing) แตกต่างกัน และแรงแอตทิงชันต่อโพลีเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว [10] งานวิจัยศึกษาลักษณะในการเปียกของโพลีเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวบนเส้นใยแก้วที่มีการเคลือบแตกต่างกัน ทำการศึกษาโดยการพิจารณามุมสัมผัส ความจุของสไตรีนในโครงสร้างโมเลกุล และธรรมชาติในการเคลือบโพลีเอสเตอร์จะส่งผลต่อความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้ว ความจุของสไตรีนในโครงสร้างโมเลกุลที่มากที่สุดและการเคลือบสารละลายสไตรีน ทำให้มีลักษณะในการเปียกที่ดี สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบที่ผ่านการบ่ม และผ่านการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจระหว่างธรรมชาติของสารที่ใช้ในการเคลือบกับความหนาแน่นของพลังงานในการเชื่อมแน่นที่คุณสมบัติเชิงกล และการยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์

1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยแก้ว

1.1 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

1.1.1 ชนิด A1

1.1.2 ชนิด A2

1.2 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

1.2.1 ชนิด B1

1.2.2 ชนิด B2

2. สารละลายเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) เข้มข้น 0.01%

สาเหตุที่เลือกใช้สารละลายเมทิลออเรนจ์ในการทดลอง เนื่องจาก silane coupling agent ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยแก้วมีหมู่ฟังก์ชันที่จะเสถียรและมีความสามารถในการละลายที่ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนมีค่าพีเอชประมาณ 4 ซึ่งสารละลายเมทิลออเรนจ์มีค่า pH 3.47 ช่วง pH ของเมทิลออเรนจ์เท่ากับ 3.0 - 4.4 และสารละลายเมทิลออเรนจ์มีสีส้มที่ชัดเจนจึงเหมาะสมนำมาใช้ในการทดลอง

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ไมโครปิเปตต์

2. ไม้บรรทัด

3. นาฬิกาจับเวลา

4. บีกเกอร์

5. หลอดหยด

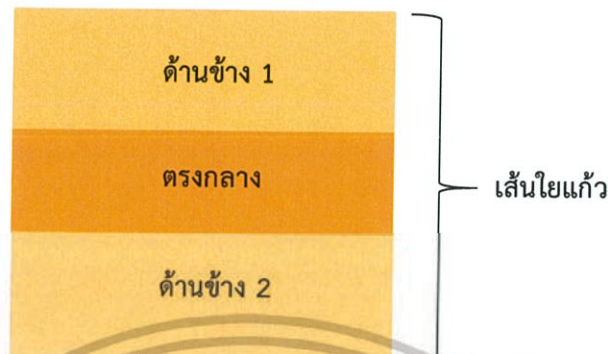
6. หนั่งยาง

7. แก้วขนาดเล็ก

8. ดินสอ

3. วิธีการทดลอง

1. เตรียมเส้นใยแก้วโดยแบ่งเส้นใยแก้วออกเป็น 3 ส่วน ตามรูปที่ 3.1 ตัดเส้นใยแก้วให้มีขนาด 10x10 cm ออกมาในแต่ละบริเวณ



รูปที่ 3.1 การแบ่งบริเวณของเส้นใยแก้ว

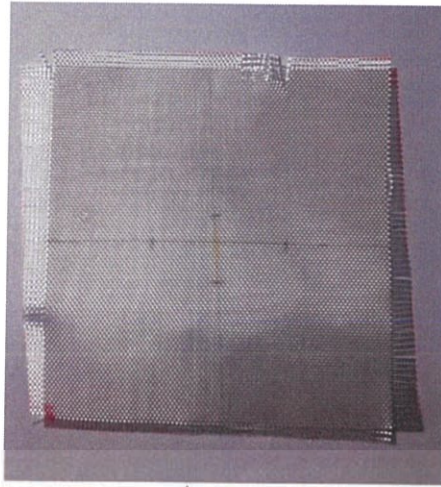
2. กำหนดจุดกึ่งกลางบนเส้นใยแก้วที่ตัดออกมา
 3. วางเส้นใยแก้วบนแก้วขนาดเล็ก รััดด้วยหนังยางให้ตึง
 4. หยดเมทิลออเรนจ์ปริมาตร 3 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณกึ่งกลางของเส้นใยแก้ว
 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จับเวลา 5 นาที เพื่อรอให้เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การหยดเมทิลออเรนจ์ลงบนเส้นใยแก้ว

5. วัดระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วด้วยไม้บรรทัด บันทึกค่าระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การวัดระยะทางที่เมทลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้ว

6. ทำซ้ำข้อที่ 1-5) ให้ครบทุกชนิดเส้นใยแก้ว

3.2 การทดสอบมัมส์ผัส

1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยแก้ว

1.1 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

1.1.1 ชนิด A1

1.1.2 ชนิด A2

1.2 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

1.2.1 ชนิด B1

1.2.2 ชนิด B2

2. สารละลายอีพอกซีเรซิน

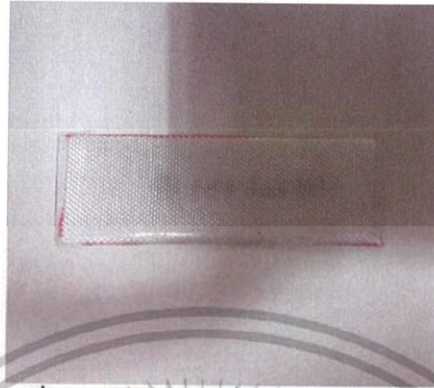
2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์
2. กระจกชั่งตวงขนาด 1 มิลลิลิตร
3. กระจกสไลด์
4. กรรไกร
5. สก็อตเทปใส
6. ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพมัมส์ผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการทดลอง

1. เตรียมเส้นใยแก้วโดยการตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 3 นิ้ว
2. ติดเส้นใยแก้วที่ได้จากข้อ 1) ลงบนกระจกสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นใยแก้วที่ติดบนกระจกสไลด์

3. วางเส้นใยแก้วที่ติดอยู่บนกระจกสไลด์บนฐานชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพมุมสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพมุมสัมผัส

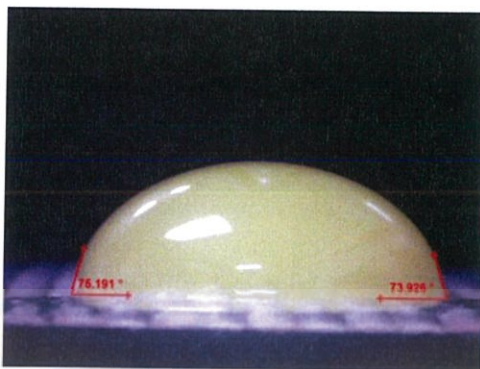
4. ตูดสารละลายอีพอกซีเรซินด้วยกระบอกฉีดยาและหยดสารละลายอีพอกซีเรซิน ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ลงบนเส้นใยแก้วที่ติดอยู่บนกระจกสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการถ่ายหยดสารละลายอีพอกซีเรซินเพื่อวัดมุมสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับระยะโฟกัสจนเห็นหยดสารละลายอีพอกซีเรซินชัดเจน บันทึกภาพที่ได้และนำภาพที่ได้มาลากวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรม Cooling tech ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวัดมุมสัมผัส

6. ทำซ้ำข้อ 1) – 5) จนครบทุกชนิดเส้นใยแก้ว

3.3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยแก้ว

1.1 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

1.1.1 ชนิด A1

1.1.2 ชนิด A2

1.2 เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

1.2.1 ชนิด B1

1.2.2 ชนิด B2

2. สารละลายอีพอกซีเรซิน

3. อีพอกซีเรซินและสารที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัว (epoxy hardener) สำหรับทำน้ำยาเรซินสำหรับให้ชิ้นงานยึดเกาะ

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
2. บีกเกอร์
3. กระบอกตวง
4. กรรไกร
5. มีดคัตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ไม้บรรทัด
7. กระดาษทรายน้ำ เบอร์ 180, 600, 800, 1200
8. กระบอกตวง
9. ชุดแผ่นวัสดุที่ใช้ในการวางแผ่นพีเพอร์ก่อนเข้าตู้อัด
10. โครงเหล็กสำหรับขึงเส้นใยแก้ว
11. ที่ปาดสารละลายอีพอกซีเรซิน
12. เครื่องปั่นผสม
13. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
14. ตู้อบ
15. เครื่องขัดผิว
16. กล้องจุลทรรศน์

3. วิธีการทดลอง

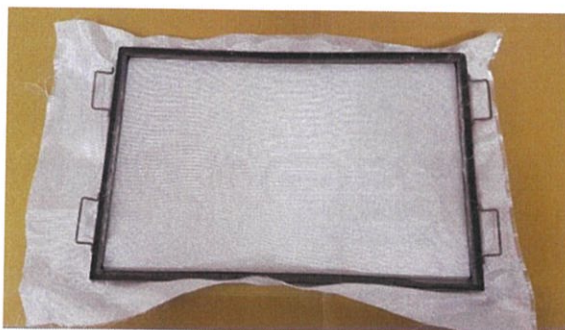
1. เตรียมสารละลายอีพอกซีเรซินโดยการปั่นสารละลายอีพอกซีเรซินด้วยเครื่องปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 110 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การปั่นสารละลายอีพอกซี

2. เตรียมเส้นใยแก้วโดยการตัดเส้นใยแก้วให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม กำหนดให้ด้านยาวเป็นด้านกว้างขนาด 20 เซนติเมตร และด้านฟิลเป็นด้านยาวขนาด 30 เซนติเมตร
3. ขึงเส้นใยแก้วบนโครงเหล็กให้ตึง ดังแสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การชิงเส้นใยแก้วบนโครงเหล็ก

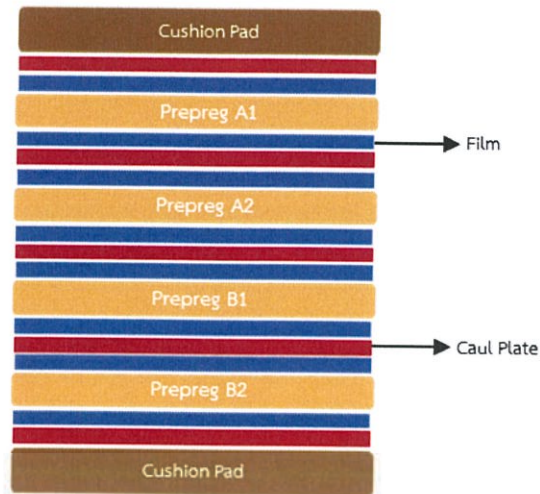
4. เทสารละลายอีพอกซีเรซินที่ได้จากข้อ 1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงบนเส้นใยแก้ว ใช้ที่ปาดสารละลายอีพอกซีเรซินปาดให้เรียบ ทำเช่นเดียวกันทั้งสองด้านของเส้นใยแก้ว และนำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 165 °C เป็นเวลา 3 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การปาดสารละลายอีพอกซีเรซินบนเส้นใยแก้ว

5. เส้นใยแก้วเคลือบด้วยสารละลายอีพอกซีเรซินหลังผ่านการอบจะถูกเรียกว่า แผ่นพรีเพรก นำแผ่นพรีเพรกออกจากตู้อบ ดึงออกจากโครงเหล็กและนำไปตากไว้ที่อุณหภูมิห้อง
6. ตัดแผ่นพรีเพรกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 เซนติเมตร
7. ทำซ้ำข้อ 1-6) โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะต้องทำแผ่นพรีเพรกชนิดละ 4 แผ่น
8. นำแผ่นพรีเพรกที่ได้ไปทำการอัดที่ตู้อัด โดยวางแผ่นพรีเพรกที่ได้จากเส้นใยแก้วชนิดเดียวกันซ้อนกัน 4 แผ่น แล้วนำเข้าไปอัดในตู้อัดโดยมีลักษณะการจัดวางตามรูปที่ 3.11 ที่อุณหภูมิ 190 °C ความดัน 380 psi เป็นเวลา 70 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ลักษณะการจัดวางแผ่นพรีเพรกเข้าตู้อัด

9. นำแผ่นพรีเพรกที่ได้จากเส้นใยแก้วทั้ง 4 ชนิด ออกจากตู้อัดมาวางให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

10. ตัดขวางแผ่นพรีเพรก (Cross section) ที่บริเวณกึ่งกลางของแผ่นพรีเพรกเป็นรูปสี่เหลี่ยม ในแต่ละชนิดเส้นใยให้ตัดขวางแผ่นพรีเพรกอย่างละ 2 ชิ้นงาน คือ ชิ้นงานที่ 1 กำหนดให้ด้านวาร์ปเป็นด้านกว้างขนาด 0.5 เซนติเมตร และด้านฟิลเป็นด้านยาวขนาด 1.5 เซนติเมตร และชิ้นงานที่ 2 กำหนดให้ด้านฟิลเป็นด้านกว้างขนาด 0.5 เซนติเมตร และด้านวาร์ปเป็นด้านยาวขนาด 1.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชิ้นงานแผ่นพรีเพรกที่ถูกตัดขวาง

11. นำชิ้นงานแผ่นพรีเพรกที่ถูกตัดขวางมาขัดด้วยเครื่องขัดโดยใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 800 ขัดบริเวณด้านยาวทั้งสองด้านให้เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การตัดแผ่นพีเรอคด้วยเครื่องตัด

12. เตรียมท่อพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยตัดให้มีความยาว 2 เซนติเมตร

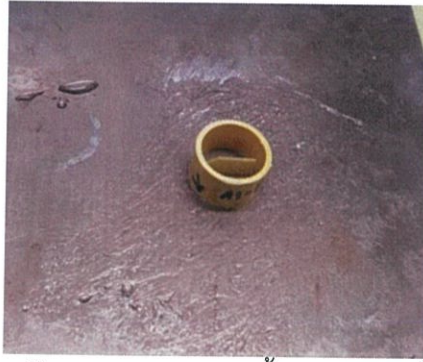
13. เตรียมน้ำยาเรซินสำหรับให้ชิ้นงานยึดเกาะ โดยการผสมอีพอกซีเรซินและสารที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัวในอัตราส่วน 1:1 บนแผ่นให้ความร้อน (Hot plate) ที่อุณหภูมิ 80 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การเตรียมน้ำยาเรซิน

14. เตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินโดยการวางชิ้นงานดังรูปที่ 3.15 จากนั้นเหนี่ยาเรซินที่เตรียมได้จากข้อ 13) ลงในชิ้นงานที่วางไว้จนเกือบท่วมแผ่นพีเรอค โดยระหว่างเหนี่ยาเรซินจะต้องวางชิ้นงานไว้บนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C รอจนน้ำยาเรซินแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ลักษณะการประกอบชิ้นงานก่อนเทน้ำยาเรซิน

15. นำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 14) ไปขัดด้วยด้วยเครื่องขัดโดยใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 180, 600, 1200 ตามลำดับ และขัดเงาด้วยเครื่องขัดเงาจะได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน

16. นำชิ้นงานที่ได้ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ที่กำลังขยาย 20X บันทึกภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 3.17 ส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน

17. นำภาพที่บันทึกที่ได้ไปวิเคราะห์ปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน และวิเคราะห์ผลที่ได้ร่วมกับการทดลองในตอนที่ 1 และตอนที่ 2

18. ทำซ้ำข้อ 10) – 17) จนครบทุกชนิดเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เส้นใยแก้วที่ใช้ในการทดลองมาจาก 2 ผู้ผลิต คือ ผู้ผลิต A และผู้ผลิต B เส้นใยแก้วของสองผู้ผลิตแตกต่างกันที่ส่วนประกอบในการเคลือบ (Sizing) บนเส้นใยแก้ว โดยส่วนประกอบในการเคลือบเส้นใยแก้วทั่วไป แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบในการเคลือบเส้นใยแก้วทั่วไป [7]

ส่วนประกอบ	% ในการเคลือบ
สารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling agent)	5-15%
ฟิล์มคงรูป (Film former)	50-70%
สารหล่อลื่น (Lubricant)	10-30%
สารเติมแต่งอื่นๆ	0-5%

เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A แบ่งเป็นเส้นใยแก้วชนิด A1 และ A2 โดยเส้นใยแก้วชนิด A2 ได้เพิ่มความเข้มข้นของ Silane coupling agent ขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จากเส้นใยแก้วชนิด A1 และเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B แบ่งเป็นเส้นใยแก้วชนิด B1 และ B2 โดยเส้นใยแก้วชนิด B2 ได้มีการปรับเปลี่ยนความเร็วของ line การผลิตในระหว่างกระบวนการชุบ Silane coupling agent ให้ช้าลง

4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์

ผลการทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์ของผู้ผลิต A และ B แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เนื่องจากระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน คือ ยิ่งระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วมีค่ามากแสดงว่าเส้นใยแก้วมีความสามารถในการเปียกที่มาก จากผลการทดลองพบว่า ระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A มากกว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B โดยเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีระยะทางในการซึมมากที่สุด คือ 3.2 เซนติเมตร และเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ชนิด B2 มีระยะทางในการซึมน้อยที่สุด คือ 2.7 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าชนิด B1 คือ 2.8 เซนติเมตร

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ควรใช้เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 ในการผลิตแผ่นพีเรอกรเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน เนื่องจากระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซิมไปตามเส้นใยแก้วมีค่ามากที่สุดแสดงว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีความสามารถในการเปียกมากที่สุด ส่วนเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ชนิด B2 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วของ line การผลิตในระหว่างกระบวนการชุบ Silane coupling agent ให้ช้าลงจากเส้นใยแก้วชนิด B1 ไม่สามารถลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินได้ เนื่องจากระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซิมไปตามเส้นใยแก้วมีค่าน้อยกว่าเส้นใยแก้วชนิด B1

ตารางที่ 4.2 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซิมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต A

ชนิดเส้นใยแก้ว	บริเวณ	ระยะทางที่ซิม (ซม.)
A1	ด้านข้าง 1	2.7
	ด้านข้าง 2	2.5
	ตรงกลาง	3.2
	เฉลี่ย	2.8
A2	ด้านข้าง 1	3.2
	ด้านข้าง 2	3.3
	ตรงกลาง	3.2
	เฉลี่ย	3.2

ตารางที่ 4.3 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซิมไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต B

ชนิดเส้นใยแก้ว	บริเวณ	ระยะทางในการซิม (ซม.)
B1	ด้านข้าง 1	2.8
	ด้านข้าง 2	2.7
	ตรงกลาง	2.8
	เฉลี่ย	2.8
B2	ด้านข้าง 1	2.6
	ด้านข้าง 2	2.8
	ตรงกลาง	2.5
	เฉลี่ย	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบมุมสัมผัส

ผลการทดสอบมุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A และ B แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ เนื่องจากค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้ว มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน คือ ยิ่งค่ามุมสัมผัสมีค่าน้อยแสดงว่าเส้นใยแก้วมีความสามารถในการเปียกที่มาก จากผลการทดลองพบว่า ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A น้อยกว่าผู้ผลิต B โดยค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุด คือ 76.00° และค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ชนิด B2 มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดคือ 79.26° ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ชนิด B1

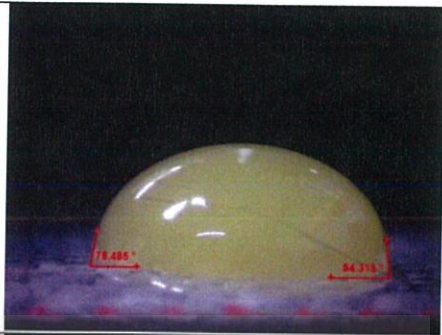
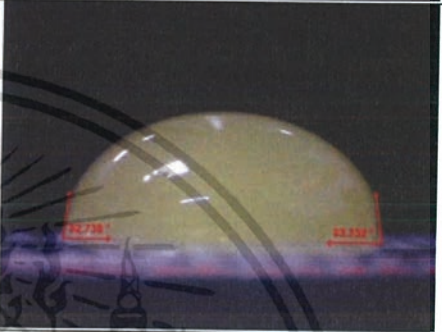
ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปไปในทางเดียวกับการทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์ว่า ควรใช้เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 ในการผลิตแผ่นพรีเพรกเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน เนื่องจากค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีความสามารถในการเปียกมากที่สุด และเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ชนิด B2 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วของ line การผลิตในระหว่างกระบวนการชุบ Silane coupling agent ให้ช้าลงจากเส้นใยแก้วชนิด B1 ไม่สามารถลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินได้ เนื่องจากค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วมีค่ามากกว่าเส้นใยแก้วชนิด B1

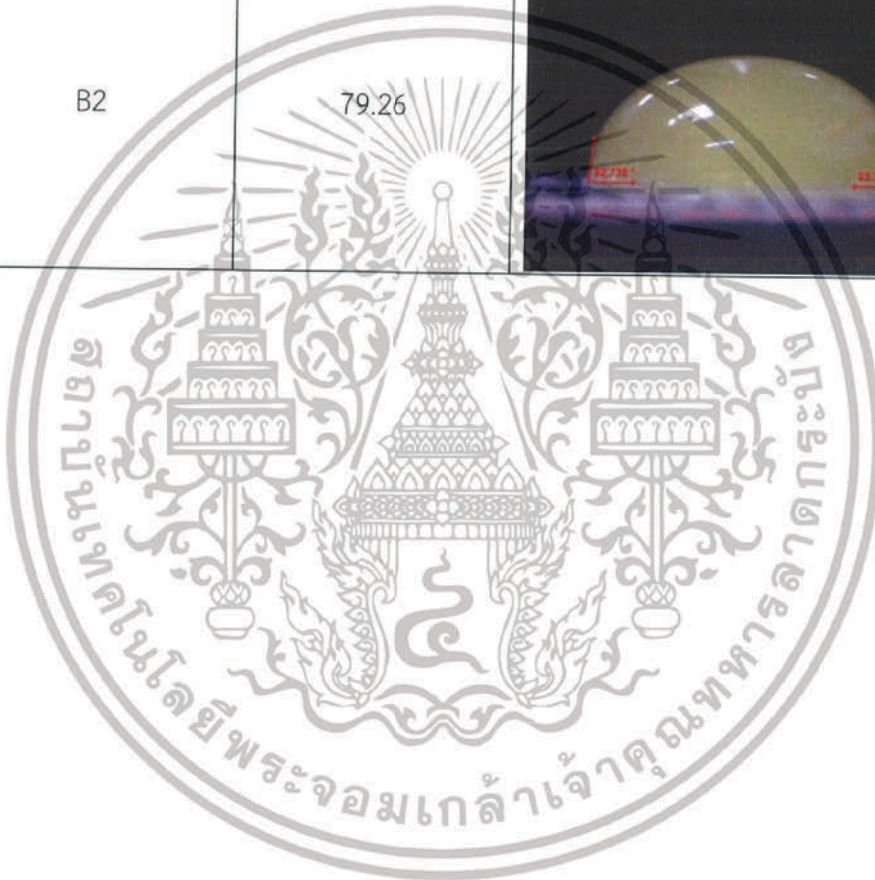
ตารางที่ 4.4 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

ชนิดเส้นใยแก้ว	ค่ามุมสัมผัส (องศา)	รูปการวัดมุมสัมผัส
A1	77.26	
A2	76.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

ชนิดเส้นใยแก้ว	ค่ามุมสัมผัส (องศา)	รูปการวัดมุมสัมผัส
B1	78.22	
B2	79.26	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

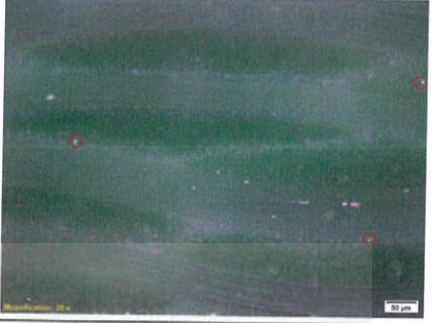



4.3 การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน

ผลการตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินของแผ่นพรีเพรคที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A และ B แสดงดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าจำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินของแผ่นพรีเพรคที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A มีจำนวนน้อยกว่าแผ่นพรีเพรคที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นไปตามผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองในตอนที 1 และตอนที 2 ทีวิเคราะห์ว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ควรนำไปผลิตเป็นแผ่นพรีเพรคเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน แต่ผลวิเคราะห์ทีว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 ดีทีสุดนันไม่เป็นไปตามผลจากตอนที 4.1 และ 4.2 เพราะจำนวนจุดปัญหามากกว่าเส้นใยแก้วชนิด A1 และพบว่าจำนวนจุดปัญหาของแผ่นพรีเพรคที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B มีมากกว่าผู้ผลิต A เส้นใยชนิด B1 และ B2 พบจำนวนจุดปัญหาใกล้เคียงกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน แสดงดังกราฟในรูปที 4.1 พบว่าเมื่อมุมสัมผัสเพิ่มขึ้นแนวโน้มในการเกิดปัญหาเพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงตามสมการ $y = 4.8067x - 359.66$





จากผลการทดลองยังพบอีกว่า ผลการทดสอบชิ้นงานทีแบ่งเป็นด้านวารบและด้านฟิล พบว่าจำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินด้านวารบจะมีจำนวนจุดปัญหามากกว่าด้านฟิล ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนเส้นใยแก้วในด้านฟิลมีจำนวนน้อยกว่าในด้านวารบ ทำให้สารละลายอีพอกซีเรซินสามารถซึมไปตามเส้นใยได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.6 จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นพรีเพรกที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

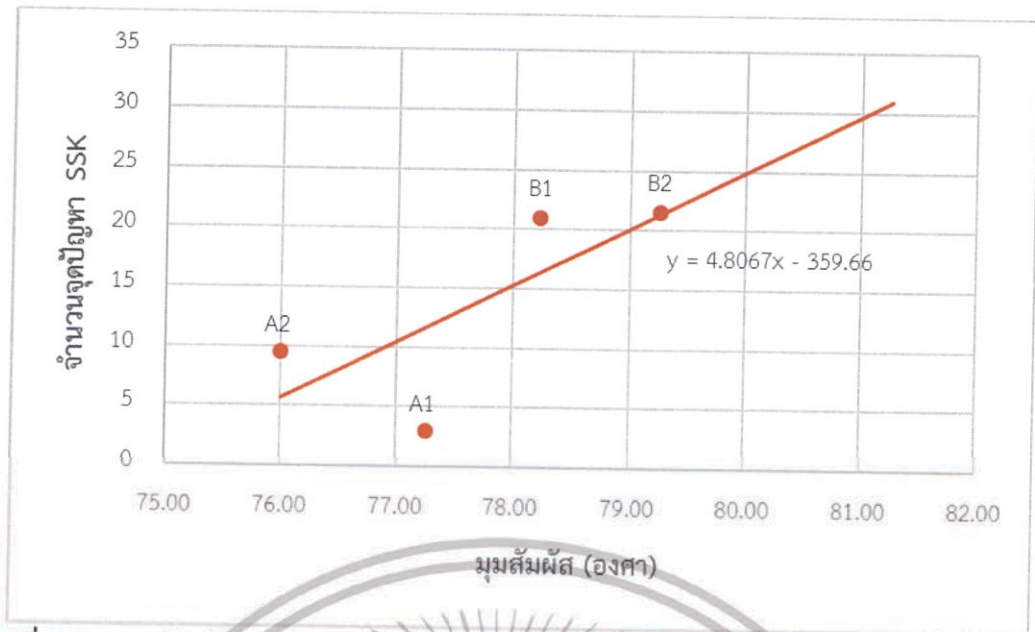
ชนิดเส้นใยแก้ว	ด้าน	จำนวนจุดปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปการเกิดจุดปัญหา
A1	ฟิล	3	
	วาร์ป	3	
A2	ฟิล	5	
	วาร์ป	14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซินที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นพรีเพรกที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

ชนิดเส้นใยแก้ว	ด้าน	จำนวนจุดปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปการเกิดจุดปัญหา
B1	ฟิล	20	
	วาร์ป	22	
B2	ฟิล	21	
	วาร์ป	22	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมูมสัมผัสกับการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเป็ยกด้วยอีพอกซีเรซิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) การทดสอบความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลลอเรนจ์

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า เนื่องจากระยะทางที่เมทิลออเรนจ์ซึมไปตามเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีค่ามากที่สุด คือ 3.2 เซนติเมตร แสดงว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีความสามารถในการเปียกมากที่สุด ดังนั้นควรใช้เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 ในการผลิตแผ่นพรีเพรกเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

2) การทดสอบมุมสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า เนื่องจากค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีค่าน้อยที่สุด คือ 76.00° แสดงว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 มีความสามารถในการเปียกมากที่สุด ดังนั้นควรใช้เส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ชนิด A2 ในการผลิตแผ่นพรีเพรกเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

3) การตรวจสอบปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า จำนวนจุดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินของแผ่นพรีเพรกที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A มีจำนวนน้อยกว่าแผ่นพรีเพรกที่ทำจากเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B ซึ่งเป็นไปตามผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถในการเปียกของเส้นใยแก้วด้วยเมทิลออเรนจ์ และการทดสอบมุมสัมผัส ที่วิเคราะห์ว่าเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A ควรนำไปผลิตเป็นแผ่นพรีเพรกเพื่อลดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน พบความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน ว่าหากมุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นแนวโน้มในการเกิดจุดปัญหาจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และจำนวนเส้นใยแก้วในแต่ละด้านมีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซิน โดยพบว่าด้านฟิลที่มีจำนวนเส้นใยแก้วน้อยกว่าทำให้เกิดปัญหาน้อยกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ความผิดพลาดในการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาเส้นใยแก้วไม่ถูกเปียกด้วยอีพอกซีเรซินของแผ่นพรีเพรกที่ทำจากเส้นใยแก้วต่างชนิดกัน อาจเกิดขึ้นจากคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแก้วที่ไม่ได้คำนึงถึงในการทดลอง เนื่องจากการทดลองนี้คำนึงถึงแค่ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเปียกกับปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงโรงงานควรคำนึงถึงคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแก้วด้วย

บรรณานุกรม

- [1] สุพัฒตรา อ่างสมบุรณ์, 2559. อิทธิพลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงและการกระตุ้นด้วยรังสอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิตอีพ็อกซี่, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] Anthony R. Bunsell. (2017). Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres. Second Edition.
- [3] George Lubin. (1982). Handbook of Composites, Chief Scientist Grumman Aerospace Corporation.
- [4] Guoqing YANGA, et al. Study of Surface Modification of E-Glass Fiber by Low Temperature Plasma Treatment, Xi'an University of Technology.
- [5] Kathleen Van de Velde, Paul Kiekens. (1999). Wettability and Surface Analysis of Glass Fibres, Department of Textiles, Universiteit Gent.
- [6] Kathleen Van de Velde, Paul Kiekens. (1999). Wettability of natural fibres used as reinforcement for composites, Department of Textiles, Universiteit Gent.
- [7] Luc Peters. (2018). Influence of Glass Fibre Sizing and Storage Conditions on Composite Properties.
- [8] Pyeong-Su Shin, et al. (2018). Interfacial and Wetting Properties Between Glass Fiber and Epoxy Resins with Different Pot Lifes, Materials Engineering.
- [9] Shin-Etsu Chemical Co., Ltd. (2017). Silane Coupling Agents.
- [10] C. Sellitti. (1987). Wettability of glass fibres with different sizings and their adhesion to unsaturated polyester matrices.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลดิบของผลการทดลอง

ตาราง ก.1 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึ่มไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต A



ชนิดเส้นใยแก้ว	บริเวณ	ระยะทางที่ซึ่ม (ซม.)			
		ชั้นทดลอง			เฉลี่ย
		1	2	3	
A1	ด้านข้าง 1	2.9	2.8	2.6	2.7
	ด้านข้าง 2	2.9	2.2	2.4	2.5
	ตรงกลาง	3.3	3.6	2.8	3.2
A2	ด้านข้าง 1	2.9	3.1	3.6	3.2
	ด้านข้าง 2	3.4	3.3	3.1	3.3
	ตรงกลาง	3.2	3.5	2.9	3.2

ตาราง ก.2 ระยะทางที่เมทิลลอเรนจ์ซึ่มไปตามเส้นใยแก้วของผู้ผลิต B

ชนิดเส้นใยแก้ว	บริเวณ	ระยะทางที่ซึ่ม (ซม.)			
		ชั้นทดลอง			เฉลี่ย
		1	2	3	
B1	ด้านข้าง 1	2.3	3.4	2.8	2.8
	ด้านข้าง 2	3.0	2.7	2.4	2.7
	ตรงกลาง	2.7	3.5	2.4	2.8
B2	ด้านข้าง 1	2.3	3.0	2.6	2.6
	ด้านข้าง 2	2.6	2.9	3.0	2.8
	ตรงกลาง	2.4	2.5	2.7	2.5

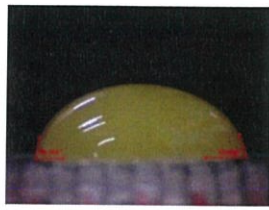
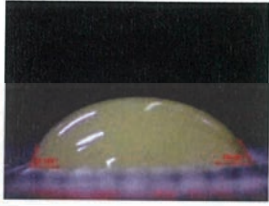
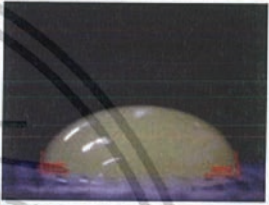
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต A

ชนิดเส้นใยแก้ว	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ยมุมสัมพัทธ์ (องศา)	รูปการวัดมุมสัมพัทธ์
A1	1	77.43	
	2	74.68	
	3	79.67	
A2	1	77.43	
	2	74.68	
	3	79.67	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่ามุมสัมผัสระหว่างสารละลายอีพอกซีเรซินกับเส้นใยแก้วจากผู้ผลิต B

ชนิดเส้นใยแก้ว	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส (องศา)	รูปการวัดมุมสัมผัส
B1	1	81.39	
	2	77.66	
	3	75.60	
B2	1	74.56	
	2	80.17	
	3	83.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้