

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หินอ่อนเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการนำพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติงมาผสมกับสารเติมซึ่งได้แก่ ผงหินอ่อน, ผงอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ หรือ ผงแคลเซียม ซึ่งจัดอยู่ในประเภทวัสดุประสม (Composite material)

วัสดุประสม (Composite material) เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นโดยการรวมตัวของวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่า กล่าวคือ การเลือกสารเติม (Filler) หรือ วัสดุเสริมแรงและเรซินที่เหมาะสมมารวมตัวกันให้เป็นวัสดุที่มีลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตามความประสงค์ ส่วนประกอบของวัสดุนี้จะไม่ละลายหรือผสมกลมกลืนกันอย่างสมบูรณ์ โดยปกติสภาพทางกลของวัสดุประสมจะสามารถประมาณไว้ได้เมื่อทราบพฤติกรรมและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมารวมกัน

วัสดุประสมสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทดังต่อไปนี้

1) วัสดุประสมประเภทที่มีวัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibrous composites) เช่นผลิตภัณฑ์แอสเบสตอสซีเมนต์ มีเส้นใยแอสเบสตอสเป็นวัสดุเสริมแรงในเนื้อซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ที่เสริมแรงด้วยวัสดุที่เป็นเส้น เช่น ลวดโลหะ ใยโพลีเมอร์หรือใยแก้ว ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เสริมแรงด้วยแก้วแอสเบสตอส ปอ หรือใยอื่นๆ

2) วัสดุประสมประเภทที่เป็นแผ่น (Laminate composites) เช่น ไม้อัด แผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยใยเส้น ผงหรือผนังที่มีวัสดุสอดไส้ (Sandwich panel)

3) วัสดุประสมของวัสดุก้อนเล็ก กับวัสดุ ที่เชื่อมให้วัสดุก้อนเล็กนั้นรวมตัวกันอยู่ได้ (Aggregate-Binder Composites) ได้แก่ หินอ่อนเทียม ซึ่งเป็นการรวมตัวของ ผงหินอ่อน, ผงแคลเซียม หรือ ผงอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และ เรซิน

2.1 พลาสติกเสริมแรง

พลาสติกเสริมแรง (Reinforced Plastic) เป็นวัสดุประสมระหว่างเรซิน และ วัสดุเสริมแรง โดยมีรูปร่าง ขนาด และการนำไปใช้งานหลายอย่าง เช่น ถัง ท่อ ผนัง ครอบช่องแสง เรือ อ่างอาบน้ำ วัสดุโครงสร้างที่เป็น Angle, Channel หรือ I-Beam และที่สำคัญคือใช้ทำเป็น โมลด์ในการผลิตหินอ่อนเทียม

2.1.1 ข้อดีของพลาสติกเสริมแรง

- 1) ทำเป็นรูปร่างที่ซับซ้อนได้ ซ่อมแซมหรือเปลี่ยนได้ง่าย
- 2) พลาสติกเสริมแรงที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักรจะมีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและ

ทางไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกชิ้น

- 3) มีอัตราความแข็งแรงต่อน้ำหนักมากที่สุด
- 4) มีอิสระในการออกแบบมากกว่าวัสดุชนิดอื่น
- 5) มีความยืดหยุ่นและความเหนียวสูงไม่บอบเหมือนโลหะ
- 6) สามารถเพิ่มคุณสมบัติต่อการทนสภาพดินฟ้าอากาศเข้าไปในกระบวนการผลิตได้ซึ่งจะทำให้ไม่สึกกร่อนง่าย ทนต่อสารเคมี และการกัดกร่อน
- 7) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดี

2.1.2 ข้อเสียของพลาสติกเสริมแรง

- 1) ความแข็งแรงไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับโลหะบางอย่าง
- 2) ไม่ควรใช้ในงานในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 120 องศาเซลเซียส)
- 3) ชิ้นงานที่ผลิตโดยใช้มือ อาจมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ
- 4) ต้นทุนของวัตถุดิบค่อนข้างสูง
- 5) ขบวนการผลิตบางอย่างอาจช้า เมื่อเทียบกับขบวนการผลิตของโลหะ

2.1.3 ข้อควรพิจารณาในการใช้พลาสติกเสริมแรงเมื่อมีปัจจัยเหล่านี้เข้ามาเกี่ยวข้อง

- 1) สภาพแวดล้อมที่วัสดุที่ใช้อยู่จะมีอายุใช้งานไม่นาน
- 2) ต้องการให้เป็นฉนวนความร้อน หรือฉนวนไฟฟ้า
- 3) เมื่อใช้วัสดุธรรมดาแล้วมีข้อจำกัดในการซ่อมแซมเมื่อโดนกระทบ ซึ่งสำหรับพลาสติกเสริมแรงจะซ่อมแซมได้ง่าย
- 4) น้ำหนักของชิ้นส่วนที่ทดแทนจะเป็นสาเหตุให้มีค่าใช้จ่ายพิเศษ ในการติดตั้งเพราะระยะที่ห่าง เข้าไปสลับเปลี่ยนทดแทนไม่ถึง หรือทำให้หยุดการทำงาน
- 5) มีปัญหาในเรื่องน้ำหนัก หรือควมแข็งแรง
- 6) ต้องการให้ชิ้นงานมีสี
- 7) รูปร่างซับซ้อนที่เมื่อทำด้วยวัสดุปกติจะเป็นปัญหา
- 8) คาดว่าจะเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ
- 9) วัสดุอื่นมีต้นทุน เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับผลิตสูง
- 10) สามารถใช้แม่แบบเพียงตัวเดียวในการผลิตพลาสติกเสริมแรง แต่ถ้าใช้วัสดุอื่นทำ อาจต้องนำชิ้นส่วนมาประกอบกันจำนวนหลายชิ้น
- 11) จำนวนการผลิตที่คาดว่าจะจำกัด (ไม่เกิน 50,000 หน่วย)

2.1.4 พลาสติกเสริมแรงที่ใช้ในงานในด้านต่างๆ

พลาสติกเสริมแรงได้ถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง คือ

การก่อสร้าง ผลิตเป็นผนัง หรือแผ่นที่ทำเป็นลอน หลังคาโปร่งแสง ครอบโปร่งแสง ผนังอาคาร เครื่องหมายจราจร ทุ่นลอย เครื่องสุขภัณฑ์ ใช้ผลิตเครื่องใช้ภายในบ้าน เช่น ถังกรองขยะ อ่างอาบน้ำฝักบัว อ่างอาบน้ำ

ทางด้านการขนส่งทางน้ำ เช่น เรือ ยานโอเวอร์คราฟท์ เรือยอร์ช เรือแคนู กระดานโต้คลื่น

ทางด้านการขนส่งทางบก เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ รถบรรทุก หลังคารถ กันชน ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ท่อ หอทําความเย็น ปล่องระบายควัน ถังสำหรับบรรจุสารเคมี อุปกรณ์ให้สัญญาณ กล้องสวิตช์ กล้องแบตเตอรี่ เครื่องอุปโภค เช่น อุปกรณ์ทางด้านกีฬา ตุ๊กตา ถาด หมวกนิรภัย หุ่นแสดงเสื้อผ้า

2.2 เรซินสำหรับพลาสติกเสริมแรง

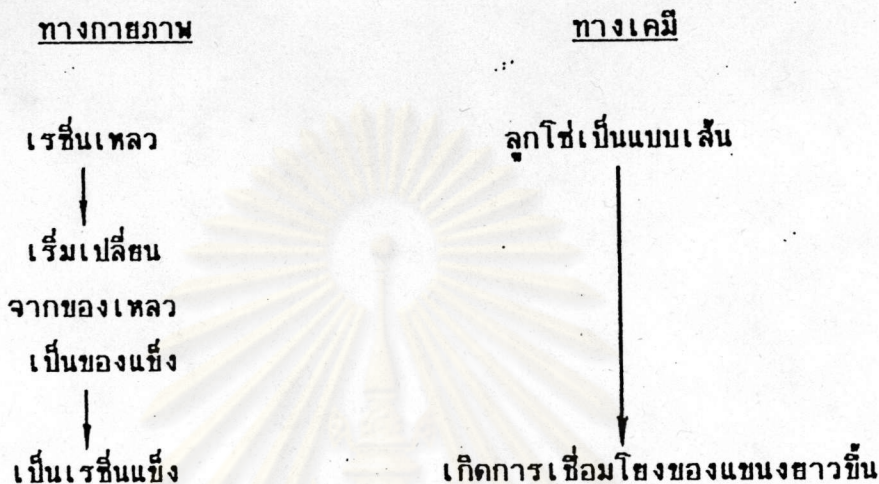
เรซินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) โดยที่เรซินทั้ง 2 ชนิดนี้แตกต่างกันทั้งในด้านกายภาพและทางเคมี เมื่ออยู่ในสภาวะขั้นสุดท้ายคือ

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตติ้ง
1. หลอมละลายเมื่อถูกความร้อน 2. ละลายได้ (Soluble) 3. ลูโก้ของโพลีเมอร์ เป็นแบบเส้น หรือเป็นแบบแขนง	1. ไม่หลอมละลายเมื่อถูกความร้อน 2. ไม่ละลาย (Insoluble) 3. ลูโก้เป็นแบบโครงตาข่ายสามมิติ

การผลิตชิ้นงานประเภทเทอร์โมพลาสติก จะต้องให้ความร้อนจนวัสดุอ่อนตัว และตามทฤษฎีแล้ว พลาสติกประเภทนี้สามารถนำเอามาผ่านขบวนการผลิตซ้ำได้อีกหลายครั้ง และในขบวนการผลิตจะไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น

สำหรับเทอร์โมเซตติ้ง ต้องทำให้ผ่านขั้นตอนที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโพลีเมอร์ก่อน ส่วนใหญ่ของเรซินที่ใช้ในพลาสติกเสริมแรงจะเป็นเรซินชนิดเทอร์โมเซตติ้ง

การแข็งตัวของเทอร์โมเซ็ทตั้งอาจแสดงเป็นผังง่ายๆดังนี้



ขบวนการเชื่อมโยงกัน (Crossing Process) มีอยู่ 2 อย่างคือ

- 1) การรวมตัว $A+B \longrightarrow AB$
- 2) การควบแน่น $C+D \longrightarrow E + F$ (ผลิตภัณฑ์ที่เกิด

เพิ่มขึ้นมักระเหยได้)

การรวมตัวกันเป็นขบวนการที่ไม่มีสารระเหยได้ เกิดขึ้น ตั้งนั้นเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์เสริมแรงก็จะเกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุน้อยลง และใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาได้ทั้งใช้ในขบวนการผลิตน้อยลง

เรซินที่มีขบวนการเชื่อมโยงของโพลีเมอร์ต่างกัน มีดังนี้

ปฏิกิริยารวมตัว

- โพลีเอสเทอร์
- อีพอกซี
- ไวนิลเอสเทอร์
- บิส ไคอิน

ปฏิกิริยาควบแน่น

- ฟินอล ฟอร์มาติไฮด์
- ยูเรีย ฟอร์มาติไฮด์
- เมลามีน ฟอร์มาติไฮด์
- ซิลิโคน

โพลีอิมิด

โพลีอิมิด ถูกทำให้แข็งตัวได้โดยการรวมตัวหรือควบแน่นก็ได้ แต่โครงสร้างที่เกิดขึ้นและคุณสมบัติขั้นสุดท้ายจะแตกต่างกันมาก

สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากเรซินชนิดต่างๆทั้งที่มีการเสริมแรงและไม่เสริมแรงแสดงไว้ในรูป 2.1

ตารางที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นคุณสมบัติทางกลบางอย่างของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก และวัสดุบางชนิด

ถึงแม้ว่าจะมีเรซินหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลาสติกเสริมแรงได้แต่เรซินที่นำมาใช้งานมากที่สุด คือ โพลีเอสเตอร์เรซิน

2.2.1 โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin)

โพลีเอสเตอร์เรซิน หมายถึง โพลีเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยเอสเทอร์กรุป $\begin{matrix} O \\ | \\ -C-O- \end{matrix}$ ตั้งแต่ 2 กรุปขึ้นไป เกิดจากการรวมตัวเป็นโพลีเมอร์ (Condensation polymerization) ของสารประกอบจำพวกไกลคอล (Glycol) และไดเบสิกแอซิด (Dibasic acid)

โดยทั่วไปโพลีเอสเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดอิ่มตัว (Saturated polyester resin)
2. ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin)

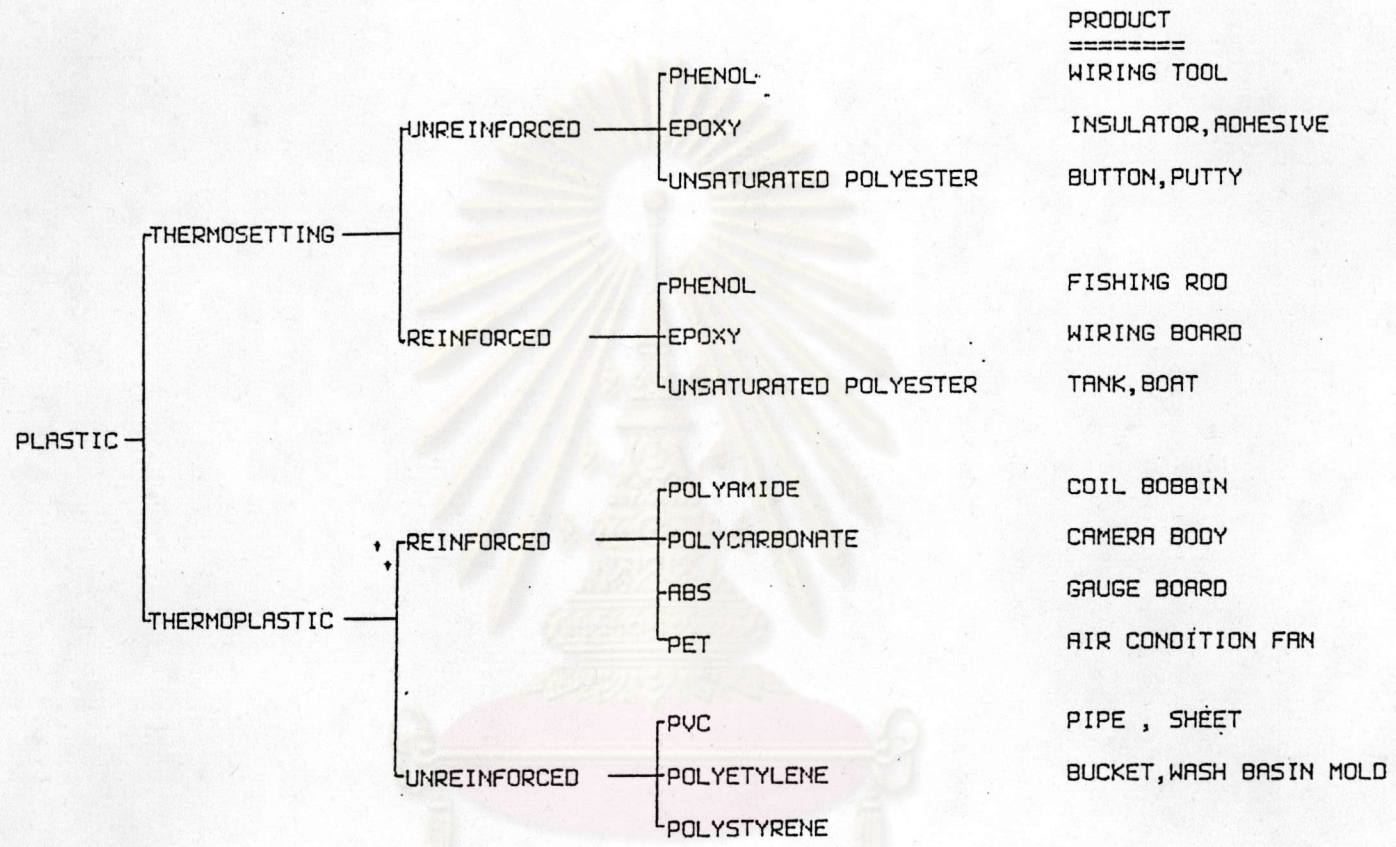
เรซินที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตหินอ่อนเทียม เป็นชนิดไม่อิ่มตัวและอยู่ในสภาพของเหลว ซึ่งภายหลังจากการผสมตัวกับคะตะลิสต์ (Catalyst) แล้ว จะได้เป็นพลาสติกแข็ง ซึ่งไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวหรือคืนรูปได้อีก เรียกพลาสติกชนิดนี้ว่า เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic)

2.2.2 คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซิน

โพลีเอสเตอร์เรซินเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพ

โพลีเอสเตอร์เรซินมีคุณสมบัติ แข็ง ใส เงาม และสามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงกว่า พลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) แต่เมื่อเทียบกับโลหะความเหนียว ยึดหยุ่น ความแข็งแรงของโพลีเอสเตอร์เรซินจะเทียบกับโลหะไม่ได้ แต่ในปัจจุบันเราสามารถ



รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของพลาสติก การเสริมแรง และตัวอย่างของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATERIAL PROPERTIES	SPECIFIC WEIGHT	ULTIMATE TENSILE STRENGTH (MN/SQR.M)	MODULUS OF ELASTICITY IN TENSION (GN/SQR.M)	COEFFICIENT OF LINEAR EXPANSION 1.00E-06 /C!
THERMOSETTING				
POLYESTER	1.28	45-90	2.5-4.0	100-110
EPOXY	1.3	90-110	3.0-7.0	45-65
PHENOLIC(WITH FILLER)	1.35-1.75	45-59	5.5-8.3	30-45
THERMOPLASTIC				
PVC	1.37	58.0	2.4-2.8	50
ABS	1.05	17-62	0.69-2.82	60-130
NYLON	1.13-1.15	48-83	1.03-2.76	80-150
OTHER MATERIAL				
MILD STEEL	7.8	370-700	210	12-13
ALUMINIUM	2.8	450	70	23
TIMBER	0.5	74	10	4

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของเรซินชนิดเทอร์โมเซตติง เทอร์โมพลาสติก และ วัสดุบางชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชนิดนี้ได้โดยการ เสริมใยแก้ว หรือไฟเบอร์กลาส(Fiber glass)ลงไป เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเสริมแรงระหว่างโพลีเอสเตอร์กับใยแก้วว่าพลาสติกเสริมแรง หรือ เอฟ.อาร์.พี (Fiber glass reinforced plastic or F.R.P)ซึ่งมีคุณสมบัติ เบา เหนียว ไม่เปราะและแข็งแรงเมื่อเทียบกับความแข็งแรงต่อน้ำหนักจะเห็นว่า เอฟ.อาร์.พี แข็งแรงกว่า

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

โพลีเอสเตอร์มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าครบถ้วน สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ได้

คุณสมบัติทางเคมี

โพลีเอสเตอร์สามารถทนการกัดกร่อนของสารเคมี(Chemical resistance) ไม่เป็นสนิม(Corrosive)

2.2.3 การใช้งาน

คุณสมบัติต่างๆของโพลีเอสเตอร์ตั้งได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ลักษณะการใช้งานของพลาสติกชนิดนี้กว้างขวางมาก 3 ใน 4 ส่วนของพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติงทั้งหมด จะเป็นโพลีเอสเตอร์เรซิน

ลักษณะการใช้งานของโพลีเอสเตอร์ แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

1. การหล่อ(Casting)
2. การลามิเนต หรือการ เคลือบ(Laminate)
3. การขึ้นรูปแบบ(Molding)
4. การพัน(Winding)

การหล่อ

งานที่ใช้กันมากได้แก่ การหล่อใส หรือการหล่อกระจกเทียม การหล่อพระ การหล่อหินอ่อนเทียม การหล่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ทำกระดุม และอื่นๆ

การลามิเนตหรือการเคลือบ

งานที่นิยมทำกันในวิธีนี้ ได้แก่การเคลือบรูป เคลือบหน้าไม้อัด เคลือบถัง (Lining) และอื่นๆ

การขึ้นรูปแบบ

ส่วนใหญ่เป็นพวก เอฟ.อาร์.พี เช่นการทำอ่างอาบน้ำ ถังน้ำ คอนเทนเนอร์ ส่วนประกอบเครื่องบิน ตัวถังรถยนต์ ขึ้นวางของ และอื่นๆ

การพัน

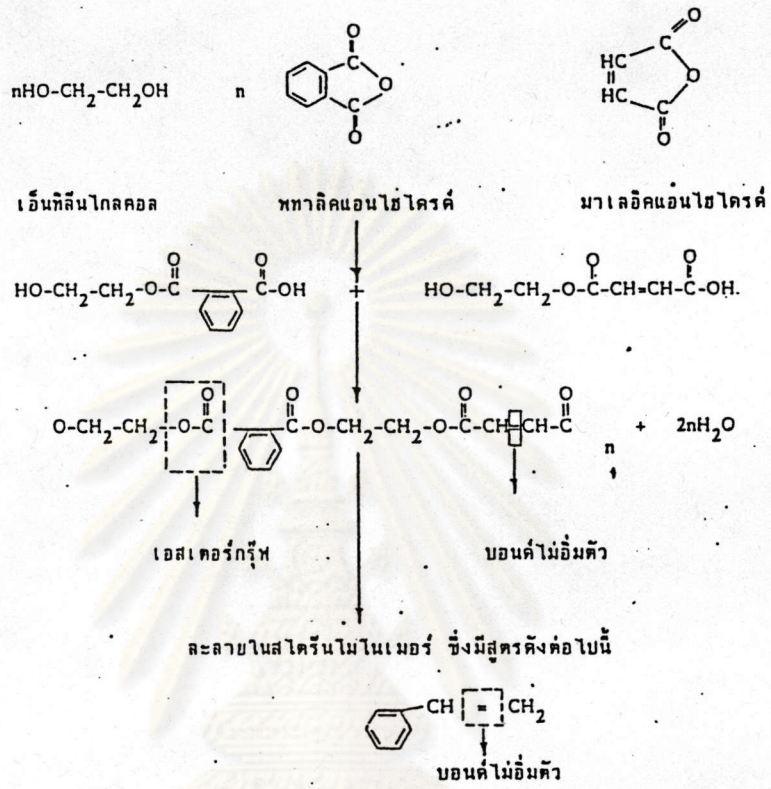
ส่วนใหญ่เป็นงานทำท่อไฟเบอร์ ท่อทนแรงอัด ถึง
โดยทั่วไปแล้ว 80% ของปริมาณเรซินทั้งหมดจะใช้ในงานในด้านเอฟ.อาร์.พี ส่วนที่เหลือก็
ใช้งานในด้านการหล่อและ การลามิเนตตามลำดับ

2.2.4 เคมีของโพลีเอสเตอร์เรซิน

โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอสเตอร์ หรือ ต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ ก็มา
จากสารอินทรีย์โพลีเอสเตอร์เรซินเป็นโพลิเมอร์ไรเซชันของเอสเตอร์ (Ester) คือมีเอสเตอร์
หลายตัวในโพลีเอสเตอร์ เอสเตอร์ที่รู้จักกันทั่วไปก็คือสารประกอบที่มีกลิ่นหอม เช่นพวกน้ำมัน
แมว (Amyl acetate) ซึ่งใช้ปรุงแต่งกลิ่นอาหาร โพลีเอสเตอร์ก็เป็นสารอยู่ในกลุ่มเดียวกับ
เอสเตอร์เหมือนกัน

เอสเตอร์เป็นผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง กรดกับ แอลกอฮอล์ ตัวอย่างง่ายๆ
เช่น เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) ได้จากการทำปฏิกิริยาของกรดน้ำส้ม กับ เอทิล
แอลกอฮอล์ หรือ อัลกอฮอล์เหลว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หลังจากละลายโพลีเอสเทอร์ ลงในโมโนเมอร์ บอนด์ที่ไม่อิ่มตัวของโพลีเอสเทอร์จะทำปฏิกิริยากับบอนด์ชนิดไม่อิ่มตัวของโมโนเมอร์บางส่วน ส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยาขณะโพลีเอสเทอร์แข็ง

2.2.5 วัตถุดิบในการสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์

1. ไกลคอล

ไกลคอลที่นิยมใช้กันมากมี เอีททีลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล ไดโพรพิลีนไกลคอล(Dipropylene glycol) ไดเอีททีลีนไกลคอล(Diethylene glycol) นีโอเพินทิลไกลคอล(Neopentyl glycol) บิสฟีนอล เอ(Bisphenol A) ไกลคอลแต่ละชนิดจะมีผลต่อคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์ต่างๆกันเช่น คุณสมบัติเกี่ยวกับความเหนียว(Toughness) ยืดหยุ่น(Resiliency) ทนสารเคมี(Chemical resistance) ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(Thermal shock)

2. กรดไม่อิ่มตัว

ที่นิยมใช้มี มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ฟุมาริกแอซิด กรดไม่อิ่มตัว เป็นตัวควบคุมการทำปฏิกิริยาของโพลีเอสเตอร์เรซิน ซึ่งจะมีผลต่อความแข็ง อัตราเร็วของการแข็งตัวของเรซิน ความร้อนของโพลีเอสเตอร์แข็งตัว ทนสารเคมี และคุณสมบัติทางฟิลิกส์และอื่นๆ

3. กรดอิ่มตัว

ที่นิยมใช้มี กรดอะดิปีค(Adipic acid) พลาติกแอนไฮไดรด์ กรดไอโซพทาสิก เป็นตัวควบคุมความนิ่ม และยืดหยุ่น(Soft and Flexibility) ช่วยให้การละลายของฉพลีเอสเตอร์เรซิน ในสไตรีนโมโนเมอร์ดีขึ้น เพิ่มความใส ทนสารเคมี และอื่นๆ

4. โมโนเมอร์

ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สไตรีนโมโนเมอร์ เนื่องจากราคาถูก มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี และสามารถทำปฏิกิริยากับโพลีเอสเตอร์เรซินขณะเกิดปฏิกิริยาแข็งตัว(Curing reaction) ได้ดี นอกจากสไตรีนโมโนเมอร์แล้ว โมโนเมอร์อื่นๆเช่น เมทิลเมทาอะคริเลต(Methyl methacrylate) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนสภาพแวดล้อม(Weathering resistance) ได้ดี สดกทน แต่เนื่องจากคุณสมบัติในการแข็งตัวไม่ดีพอ ดังนั้นจึงนิยมใช้โมโนเมอร์ตัวนี้ผสมกับสไตรีนโมโนเมอร์

ไวนิล โทลูอีน(Vinyl Toluene) คลอโรสไตรีน(Chlorostyrene) ไดอัลลิลฟทาเลต(Diallyl phthalate) เพื่อคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆแต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากราคาแพง ปริมาณโมโนเมอร์ ต่อปริมาณเนื้อโพลีเอสเตอร์ มีค่าโดยประมาณ 40/60 โพลีเอสเตอร์ ประกอบด้วยวัตถุดิบดังกล่าวมาแล้ว เป็นส่วนใหญ่ แต่มีส่วนประกอบย่อยๆซึ่งใช้เพียงปริมาณเล็กน้อย แต่มีผลกับคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์อย่างยิ่งยวด

5. อินฮิบิเตอร์ (Inhibiter)

เป็นตัวป้องกันไม่ให้โพลีเอสเทอร์แข็งตัว เนื่องจากเป็นตัวป้องกันการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของโพลีเอสเทอร์ เป็นตัวช่วยยืดอายุของโพลีเอสเทอร์นอกจากนั้น ยังช่วยลดความร้อน ที่เกิดขึ้นในขณะที่โพลีเอสเทอร์แข็งตัว ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจปรับปรุงหรือแก้ไขโดยการเลือกใช้อินฮิบิเตอร์ที่เหมาะสม โดยทั่วไปอินฮิบิเตอร์ที่ใช้เป็นสารจำพวก ควิโนน (Quinone)

6. โพรโมเตอร์หรือตัวเร่ง (Promoter or Accelerator)

โพรโมเตอร์เป็นตัวช่วยทำให้คะตะลิสต์ทำงานที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเกลือของโลหะ (Metallic salt) เช่น โคบอลท์ออกโตเอต (Co-Octoate) โคบอลท์เนฟทีเนต (Co-Naphthenate) หรือสารจำพวกเอมีน เช่น ไดเอทิลลอะนิลีน (Diethyl aniline) ไดเมทิลลอะนิลีน (Dimethyl aniline)

7. คะตะลิสต์ (Catalyst)

คะตะลิสต์จะต่างจากอินฮิบิเตอร์ คือเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ทำให้โพลีเอสเทอร์แข็งตัว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) เช่น เมทิลเพอร์ออกไซด์ โทลีนเพอร์ออกไซด์ เป็นโซลิดเปอร์ออกไซด์

นอกจากนี้ยังเติมแอดดิทีฟ (Additive) ต่างๆ อีกมากมายที่ใส่ลงไปเพื่อ เพิ่มคุณสมบัติด้านต่างๆ เช่น เพื่อลดการหดตัวของเรซิน ลดความร้อนขณะเรซินแข็งตัว ควบคุมกลิ่น ไอโอเล็ท เพื่อให้เรซินคงคุณสมบัติเดิม ลดการเหนียวที่ผิวหน้าโดยการเติมไข (Wax) ป้องกันไม่ให้เรซินไหลหยดขณะอยู่ในลักษณะเอียงหรือแนวตั้ง สำหรับพวก เอฟ.อาร์.พี โดยใช้พวกฝุ่นซิลิกา

2.2.6 ขบวนการผลิตโพลีเอสเทอร์เรซิน

วัตถุดิบพวกกรดส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของแข็ง ส่วนไกลคอลส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของเหลว เติมวัตถุดิบทั้งสองชนิดลงในถังทำปฏิกิริยา (Reactor) หรือหม้อต้ม ที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 200-220 องศาเซลเซียส ขณะทำปฏิกิริยาจะมีน้ำเกิดขึ้น ภายในถังทำปฏิกิริยาจะมีออกซิเจนไม่ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) อันเป็นสาเหตุทำให้สีของโพลีเอสเทอร์ที่ได้เข้ม ดังนั้นขณะทำปฏิกิริยาจะมีการเติมก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ลงในถัง นอกจากนั้นเป็นการไล่หรือแทนที่ออกซิเจนแล้วยังช่วยในการพ่นน้ำ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันออกจากหม้อต้มด้วย อันจะทำให้ปฏิกิริยาในการเกิดโพลีเอสเทอร์เร็วขึ้น นอกจากนั้นอัตราการคน และความเร็วก๊าซเฉื่อยที่ให้เข้าไป ก็มีผลช่วยให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้นเช่นเดียวกัน

ขณะทำปฏิกิริยาจะมีการวัดขนาดของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อได้ขนาดตามต้อง

การที่จะหยุดปฏิกิริยาลงโดยการเติมอินฮิบิเตอร์และลดอุณหภูมิ จะได้โพลีเอสเทอร์ซึ่งมีลักษณะแข็งหรือเกือบแข็ง จากนั้นก็ถูกถ่ายลงในถังซึ่งมีสไตรีนโมโนเมอร์เตรียมอยู่แล้ว เรียกถังนี้ว่า ทินนิง (Thinning Tank) ในขณะละลายด้วยสไตรีนโมโนเมอร์อุณหภูมิต้องไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้โพลีเอสเทอร์แข็งตัว

จากนั้นจะเติมส่วนประกอบเพิ่มเติม (Additive) ต่างๆ เช่น โพรโมเตอร์ หรือ ตัวเร่งไข หรืออื่นๆตามต้องการ เสร็จแล้วบรรจุลงถังเพื่อจำหน่ายต่อไป

การแข็งตัวของโพลีเอสเทอร์เรซิน

โพลีเอสเทอร์เรซินสามารถแข็งตัวได้หลายวิธี ดังนี้คือ

1. โดยอาศัยตัวคะตะลิสต์ และ ความร้อน
2. โดยอาศัยตัวคะตะลิสต์ และ ตัวเร่งที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยอาศัยแสงอัลตราไวโอเลต
4. โดยอาศัยล้าอิลเลคตรอน

วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ การใช้ตัวคะตะลิสต์และตัวเร่งที่อุณหภูมิห้อง

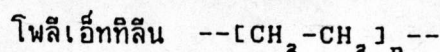
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ขณะโพลีเอสเทอร์แข็งตัวก็คือ ปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันระหว่างสไตรีนโมโนเมอร์และบอนด์ที่ไม่อิ่มตัวของโพลีเอสเทอร์โซลิด มีคะตะลิสต์หรือแสงเป็นตัวเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา สำหรับตัวคะตะลิสต์ที่อุณหภูมิห้อง จะไม่ทำปฏิกิริยา ต้องอาศัยความร้อนหรือโพรโมเตอร์เป็นตัวกระตุ้นให้ทำงาน

โดยทั่วไปการแข็งตัวของโพลีเอสเทอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกหลังจากเติมคะตะลิสต์แล้ว จนเรซินเริ่มแข็งตัวเป็นวัน เรียกว่า **เจลไทม์ (Gel Time)** หลังจากเรซินแข็งตัวเป็นวัน จนเรซินแข็งตัวเต็มที่ เรียกว่า **เคียวไทม์ (Cure Time)**

สำหรับโพลีเอสเทอร์ ถ้าแยกส่วนต่างๆออกมา จะพบว่าส่วนประกอบของโพลีเอสเทอร์ประกอบด้วย ไกลคอล ซึ่งเป็นพวกอัลกอฮอล์ และ ไดเบสิกแอซิด ซึ่งเป็นสารจำพวกกรด และส่วนที่เป็นของเหลวคือ โมโนเมอร์ แต่เมื่อหลุดถึงโครงสร้างโดยละเอียดแล้วโพลีเอสเทอร์จะมีส่วนประกอบที่ซับซ้อน รายละเอียดมากกว่าเอสเทอร์มากทีเดียว เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจถึงโครงสร้างของโพลีเอสเทอร์ ก็จำเป็นที่จะต้องเข้าใจศัพท์ทางเคมีดังต่อไปนี้

1. โพลีเมอร์ (Polymer)

หมายถึงสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ เรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) ซึ่งมีส่วนโครงสร้างเหมือนกัน ตัวอย่างโพลีเมอร์เช่น



2. สารประกอบไม่อิ่มตัว (Unsaturated)

หมายถึงสารประกอบที่ประกอบด้วย ดับเบิลบอนด์(Double bond)หรือ ทริเบิลบอนด์(Triple bond)ตั้งแต่ 1 บอนด์ขึ้นไป บอนด์ทั้งสองชนิด เป็นชนิดไม่อิ่มตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อีก ตัวอย่างเช่น

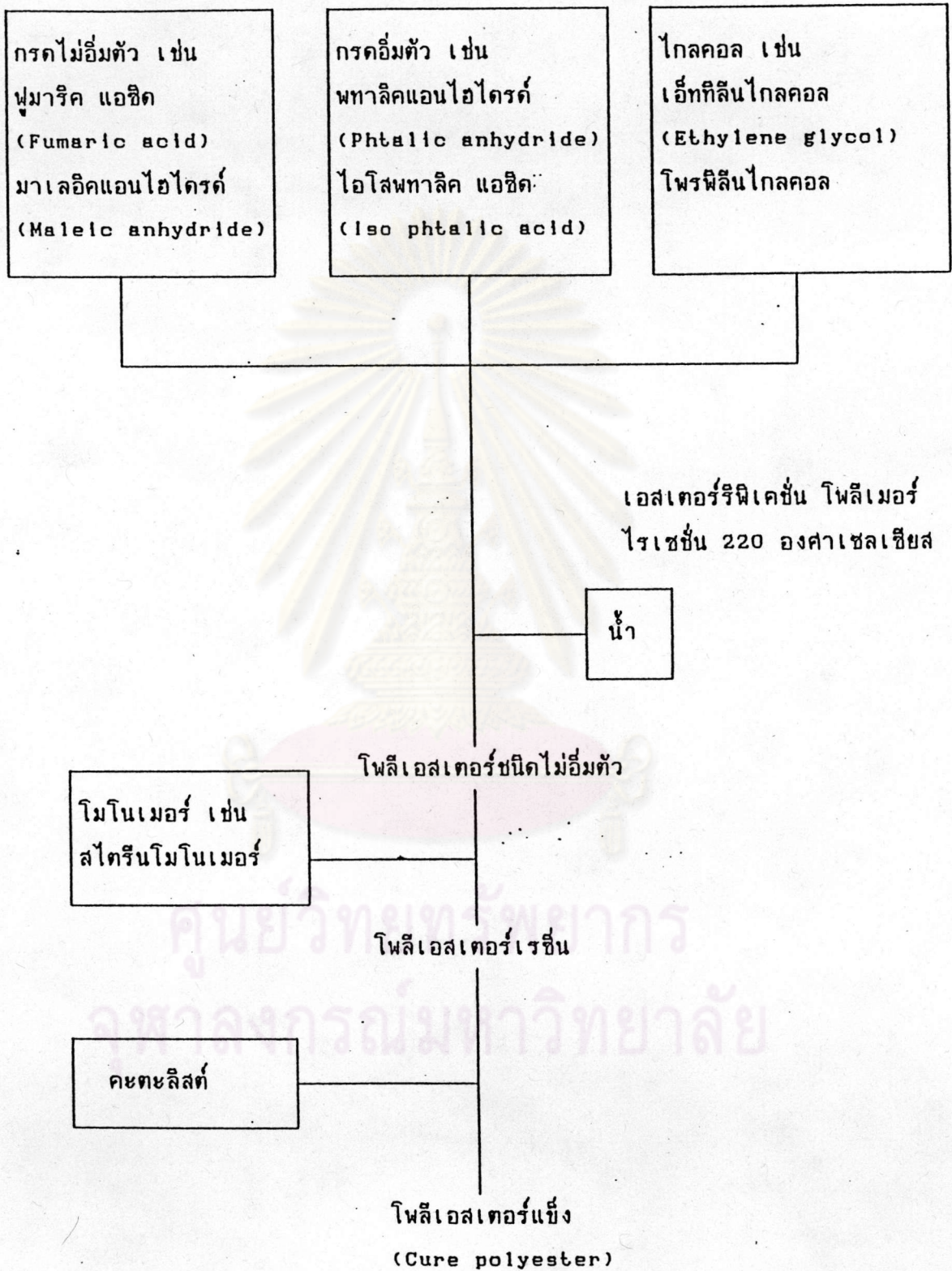
เอทิลีน (Ethylene) $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

3. เอสเตอริฟิเคชันโพลีเมอร์ไรเซชัน(Esterification Polymerization)

หมายถึง ปฏิกิริยาในการเกิดเป็นโพลีเมอร์ โดยใช้ปฏิกิริยาการรวมตัวเป็นโพลีเอสเตอ์ขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีน้ำเกิดขึ้นเป็น By product .

ดังนั้นคำนิยามของ โพลีเอสเตอ์เรซิน ก็คือสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เกิดจากการทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโพลีเมอร์ โดยใช้ปฏิกิริยาการรวมตัวเป็นเอสเตอ์ของสารประกอบ 2 ชนิดคือ ไกลคอล และ ไดเบสิกแอซิด(กรดชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว) ละลายในตัวทำละลายที่ไม่อิ่มตัวเช่น สไตรีนโมโนเมอร์(Styrene monomer)อยู่ในสภาพของเหลว สามารถทำให้แข็งตัวโดยความร้อนหรือเติมตัว คตะลิสต์(Catalyst)ลงไป เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ดูรูปที่ 2.2

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



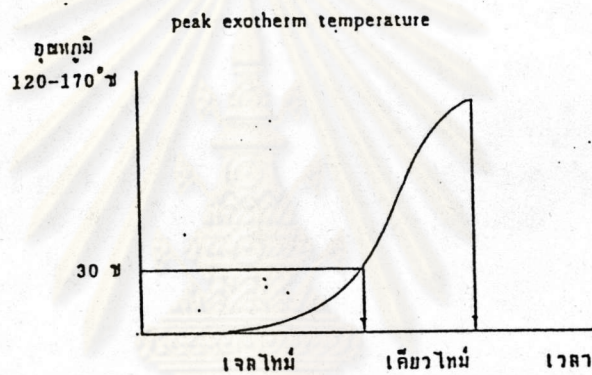
รูปที่ 2.2 ขบวนการผลิตโพลีเอสเทอร์

จากแผนภาพ บรรยายตามสูตรเคมีดังนี้
 ไกลคอล หรือ อีทกอล + กรดไม้อิ่มตัว + กรดอื่นตัว ----- โพลีเอสเตอร์ + น้ำ

คุณลักษณะของโพลีเอสเตอร์เรซิน

1. ปฏิกิริยาในการแข็งตัวจะให้ความร้อน (Exothermic reaction)

ดูความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาหลังจากเติมคตะลิสต์แล้ว



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาขณะเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์

ขณะที่โพลีเอสเตอร์เคียว หรือ แข็งตัว ความแข็งของเรซินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อถึงอุณหภูมิจุดยอดสูงสุด (Peak exotherm temperature) โพลีเอสเตอร์เรซินจะแข็งตัวถึง 95% จากนั้นโพลีเอสเตอร์ก็จะค่อยๆ แข็งตัวไปเรื่อยๆ แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันไม่ให้โพลีเอสเตอร์เปลี่ยนรูปร่างภายหลัง อันเนื่องมาจากการแข็งตัวไม่เต็มที่ในขบวนการผลิต หลังจากทำชิ้นงานโพลีเอสเตอร์เรียบร้อยแล้วก็จะผ่านขบวนการ โพลีเคียว (Post cure) ซึ่งอาจทำได้โดยการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยไอน้ำหรืออบที่ อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง

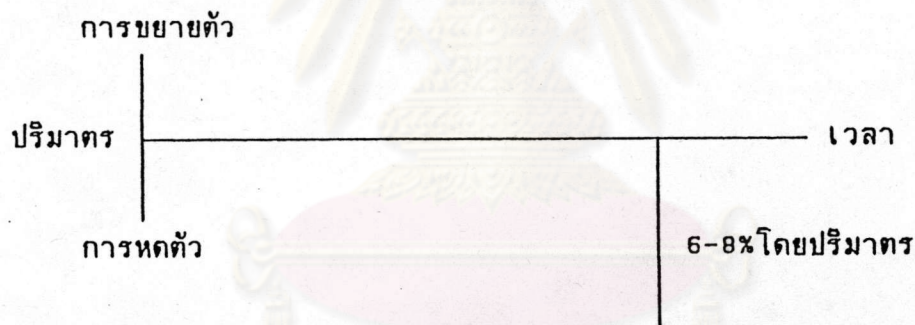
องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน

1. อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงโพลีเอสเตอร์จะแข็งตัวได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณคะตะลิสต์และโพรโมเตอร์ ปริมาณมากการแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณน้อย
3. ปริมาณเรซิน(Resin bulk) ปริมาณเรซินมากการแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณน้อย
4. ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูงการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์จะเกิดขึ้นช้า โดยปกติจำนวนน้ำที่มีอยู่ในโพลีเอสเตอร์จะต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%

5. ปริมาณอ็อกซิเจน อ็อกซิเจนเป็นตัวป้องกัน(Inhibitor)การแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน ถ้าปริมาณของอ็อกซิเจนสูง เช่นการคนมากๆ ขณะโพลีเอสเตอร์กำลังแข็งตัว จะทำให้โอกาสที่ปริมาณอ็อกซิเจนเข้าสู่เรซินมากขึ้น การแข็งตัวของเรซินจะช้าลง

2. ขณะแข็งตัวโพลีเอสเตอร์จะหดตัว(Shrinkage)

ปริมาณการหดตัวของโพลีเอสเตอร์จะอยู่โดยปริมาตร 6-8% โดยเฉลี่ย



รูปที่ 2.4 แสดงปริมาตรของโพลีเอสเตอร์หลังจากเกิดปฏิกิริยาแข็งตัว

สเปค(Specification)และการควบคุมคุณภาพโพลีเอสเตอร์เรซิน

โดยทั่วไป การตรวจสอบสเปคหรือการควบคุมคุณภาพของโพลีเอสเตอร์เรซิน แบ่งออกเป็น 2 ประการคือ การตรวจสอบคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เหลว(Liquid resin) และ การตรวจสอบคุณสมบัติโพลีเอสเตอร์แข็ง(Cured resin)

การตรวจสอบสเปคคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เหลว

1. ความหนืด(Viscosity) นิยมวัด 2 ระบบคือ

1.1 หน่วยพอยล์หรือเซ็นต์พอยล์(Poise or Centipoise)

เครื่องมือที่ใช้วัดคือ บรูคฟิลด์ วิสโคมิเตอร์ (Brookfield
Viscometer) สเกลเป็นตัวเลข

ตัวเลขต่ำหมายถึง ความหนืดต่ำ

ตัวเลขสูง หมายถึง ความหนืดสูง

ปกติโพลีเอสเทอร์ความหนืดต่ำจะมีค่าประมาณ 2-10 พอยล์

ความหนืดปานกลางจะมีค่าประมาณ 10-20 พอยล์

ความหนืดสูง เริ่มที่ 20 พอยล์ขึ้นไป

1.2 หน่วยการ์ดเนอร์ (Gardner)

สเกลที่ใช้วัดเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเรียงตามลำดับจาก A-Z โดยที่ A จะมีค่าความหนืดต่ำสุด และ Z จะมีค่าความหนืดสูงสุด วิธีวัด วัดเปรียบเทียบกับความหนืดมาตรฐานของการ์ดเนอร์ ความหนืดเป็นค่าบ่งบอกถึงขนาดโพลีเมอร์ ค่าความหนืดจะสูงขึ้นเมื่อ อุณหภูมิต่ำ และจะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นค่ามาตรฐานความหนืด หรือ สเปคความหนืดจะวัดที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ 25 องศาเซลเซียส

2. สี (Color)

นิยมวัดเป็นระบบ ได้ 2 ระบบคือ

2.1 หน่วยอาเซน นิยมใช้วัดกับโพลีเอสเทอร์ที่มีสีอ่อน สเกลเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0-500 สเกลต่ำหมายถึงสีอ่อน สเกลสูง หมายถึง สีเข้ม

2.2 หน่วยการ์ดเนอร์ นิยมใช้วัดกับโพลีเอสเทอร์ที่มีสีเข้ม สเกลที่เป็นตัวเลขตั้งแต่ 1-18 สเกลต่ำ หมายถึงสีอ่อน สเกลสูงหมายถึงสีเข้ม

ทั้ง 2 หน่วยวัดโดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละหน่วย

3. เจลไทม์ (Gel time) หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่เติมคตะลิสต์จนเรซินเริ่มแข็งตัว มีลักษณะเป็นวุ้น หรือเฮลลี่ สเปคหรือมาตรฐานในการวัดเจลไทม์ ในแต่ละแห่งจะกำหนดไม่เหมือนกัน สเกลมีหน่วยเป็นวินาที นาที หรือ ชั่วโมง แล้วแต่จะกำหนด เช่น ใช้เรซินประมาณ 50 กรัม เติมคตะลิสต์ 0.5 กรัม วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับเรซินที่เติมตัวพรโมเตอร์เรียบร้อยแล้ว

ค่าเจลไทม์ เป็นค่าที่ระบุไว้โดยประมาณ ถึงระยะเวลาในการทำงานสำหรับโพลีเอสเทอร์ทุกครั้ง จะต้องทำงานให้เสร็จก่อนที่โพลีเอสเทอร์จะแข็งตัว

4. เคียวไทม์ (Cure Time) หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นวุ้นจนแข็งตัว ค่าเคียวไทม์ เป็นค่าที่ระบุถึงช่วงการทำงาน เมื่อผ่านช่วงเคียวไทม์ไปแล้ว โพลี

เอสเทอร์จะแข็งตัวเต็มที่ สามารถจะถอดออกจากแม่แบบได้ โดยชิ้นงานไม่เสียรูปร่าง

การตรวจสอบคุณสมบัติของโพลีเอสเทอร์แข็ง

จะเป็นการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางไฟฟ้า สเปคที่นิยมใช้วัดคือ

1. การทนต่อแรงดึง (Tensile strength)
2. การทนต่อแรงกด (Flexural strength)
3. ความแข็ง (Hardness)
4. อุณหภูมิที่เสียรูป (Heat distortion temperature)
5. การดูดซึมน้ำ (Water absorption)
6. ค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (Dielectric constant)
7. การทนต่อสารเคมี
8. อื่นๆ แล้วแต่จะกำหนด

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบค่าเหล่านี้ จะใช้ของมาตรฐานอเมริกัน (ASTM) มาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) และมาตรฐานเยอรมัน (DIN)

2.3 วัสดุเสริมแรง (Reinforcing Material)

วัสดุที่ใช้สำหรับเสริมแรงมีทั้งที่ประเภทที่ทำจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนวัสดุสำหรับเสริมแรงในพลาสติกเสริมแรงที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ใยแก้ว นอกจากใยแก้วแล้วก็มีวัสดุอย่างอื่นอีก เช่น แอสเบสตอส โบรอนไนไตรด์ ใยเซรามิก เส้นใยคาร์บอน ปอ ลวด หรือ โลหะแผ่น ใยโพลีเอสเทอร์ ใยโพลีโพรพิลีน ควอทซ์ และฝอยเซฟไฟร์

พวกโบรอน คาร์บอน ควอทซ์ และเซฟไฟร์ ใช้ในวัสดุที่เกี่ยวกับการวิจัยทางอวกาศ วัสดุเสริมแรงพวกนี้ก็ใช้ในทางอุตสาหกรรมเคมีที่ใช้เป็นสารที่ทนการกัดกร่อนได้ แต่ไม่นิยมใช้เพราะราคาที่แพงมากเกินกว่าที่จะใช้พลาสติกเสริมแรงอย่างอื่น เส้นใยอินทรีย์ก็เป็นวัสดุเสริมแรงที่ใช้สำหรับงานที่ทนการกัดกร่อนหรือทนต่อสารเคมี เส้นใยโพลีโพรพิลีนใช้ในงานที่ต้องทนต่อสารพวกอัลคาไล

ใยแก้วที่นำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเสริมแรงนั้นผลิตขึ้นมาเป็นลักษณะต่างๆ หลายอย่าง แต่ละลักษณะก็มีราคา ความแข็งแรง และใช้กับชนิดของเรซินไม่เหมือนกัน และยังขึ้นอยู่กับขบวนการผลิตด้วย

การผลิตเส้นใยแก้วเริ่มด้วยการดึงแก้วที่หลอมเหลวในเตาออกมาเป็นเส้นเดี่ยว (Filaments) จากเส้นเดี่ยวนำมารวมกันเป็นกลุ่มเส้นใย เส้นใยเหล่านี้ต้องผ่านขบวนการ

ORGANIC FIBRES	SPECIFIC WEIGHT	ULTIMATE TENSILE STRENGTH (MN/SQR.M)	MODULUS OF ELASTICITY (GN/SQR.M)	ELONGATION AT RUPTURE (%)
NATURAL				
COTTON	1.5	500-800	2.5-4.0	7-14
JUTE	1.5	460	3.0-7.0	4
SISAL	1.45	850	5.5-8.3	2.5
SYNTHETIC				
VISCOSE RAYON	1.52	290	2.4-2.8	20-30
POLYAMIDE-6	1.14	560-820	0.69-2.82	10-40
POLYACRYLLONITRILE	1.17	410-560	1.03-2.76	15-20
LINEAR POLYESTER	1.38	750-1000	210	20-25
KELVAR 49	1.45	2700	70	2.1

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของเส้นใยอินทรีย์

INORGANIC FIBRES	ULTIMATE TENSILE STRENGTH (MN/SQR.M)
E GLASS	3500
S GLASS	4900
STAINLESS STEEL	2800
ASBESTOS	2100-3500
BORON	2100
CARBON FIBRES	2800
SAPPHIRE WHISKERS	28000

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของเส้นใยอนินทรีย์

เคลือบผิวเพื่อให้ผลิตได้ง่ายทำให้เส้นใยเหมือนกันโดยตลอด และเหมาะสมกับเรซินแต่ละอย่าง เส้นใยเหล่านี้จะถูกพันรวมกันเพื่อที่ผ่านขบวนการผลิตขั้นต่อไปที่จะทำให้เป็นใยแก้วชนิดต่างๆ

ส่วนประกอบใหญ่ของแก้วคือซิลิกา โมเลกุลของซิลิคอนไดออกไซด์มีการจัดรูปเป็น tetrahedron ประกอบด้วยอ็อกซิเจนของซิลิคอนอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอ็อกซิเจนของออกซิเจน 4 ตัว ร่างแหสามมิติของซิลิกา tetrahedron เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของแก้ว เมื่อใส่ส่วนผสมอื่น เช่นออกไซด์ของโลหะ อาจจะรวมเป็นส่วนของร่างแหซิลิกาหรือทำให้ร่างแหนั้นแตกออก คุณสมบัติของแก้วอาจทำให้ถูกเปลี่ยนหรือปรับให้เหมาะสมกับงานแต่ละอย่างได้ ส่วนประกอบของแก้วชนิดต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

แก้วที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้

E glass (Electrical glass) เป็นแก้วชนิดแรก que พัฒนาขึ้นมาเพื่อทำเป็นเส้นใยต่อเนื่องกัน ใยแก้วชนิดนี้เป็นใยแก้วที่ใช้สำหรับขบวนการพลาสติกเสริมแรงต่างๆโดยเป็นมาตรฐาน มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าสูง

A glass เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ที่ใช้ทำกระจกหน้าต่างและขวด แก้วชนิดนี้มีส่วนประกอบของต่างสูงทำให้ดูความชื้นได้ ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในขอบเขตจำกัด

C glass (Chemical glass) เป็นแก้วที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนต่อกรดสูงกว่าที่ E glass จะทนได้ โดยมักจะทำเป็นใยผิว (surfacing mat) เพื่อใช้เป็นส่วนของผิวหน้าของชิ้นงานที่สัมผัสกับสภาพการกัดกร่อนของกรด

AR glass (Alkali resistance glass) ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในซีเมนต์ (Glass reinforce cement - GRC)

S glass เป็นแก้วที่ผลิตขึ้นมาเพื่อให้ทนต่อแรงดึงได้สูง โดยทนแรงดึงและมีความยืดหยุ่นสูงกว่า E glass ถึง 33 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใยแก้วชนิดนี้ใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น นำไปใช้ในโครงการอวกาศ เพราะมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง แม้ที่อุณหภูมิสูงก็ยังคงความแข็งแรงอยู่มีขีดจำกัดความล้าสูง

ใยแก้วได้รับการผลิตให้มีรูปร่างต่างๆดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยพอจะแบ่งได้ดังนี้

1. เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous strand roving) เส้นใยชนิดนี้เป็นเส้นใยชนิดที่เป็นเส้นตรงไม่ได้บิดเป็นเกลียว ผิวของใยแก้วจะได้รับการเคลือบให้ใช้ได้กับเรซินเฉพาะชนิด หรือขบวนการผลิตพลาสติกเสริมแรงที่แตกต่างกัน

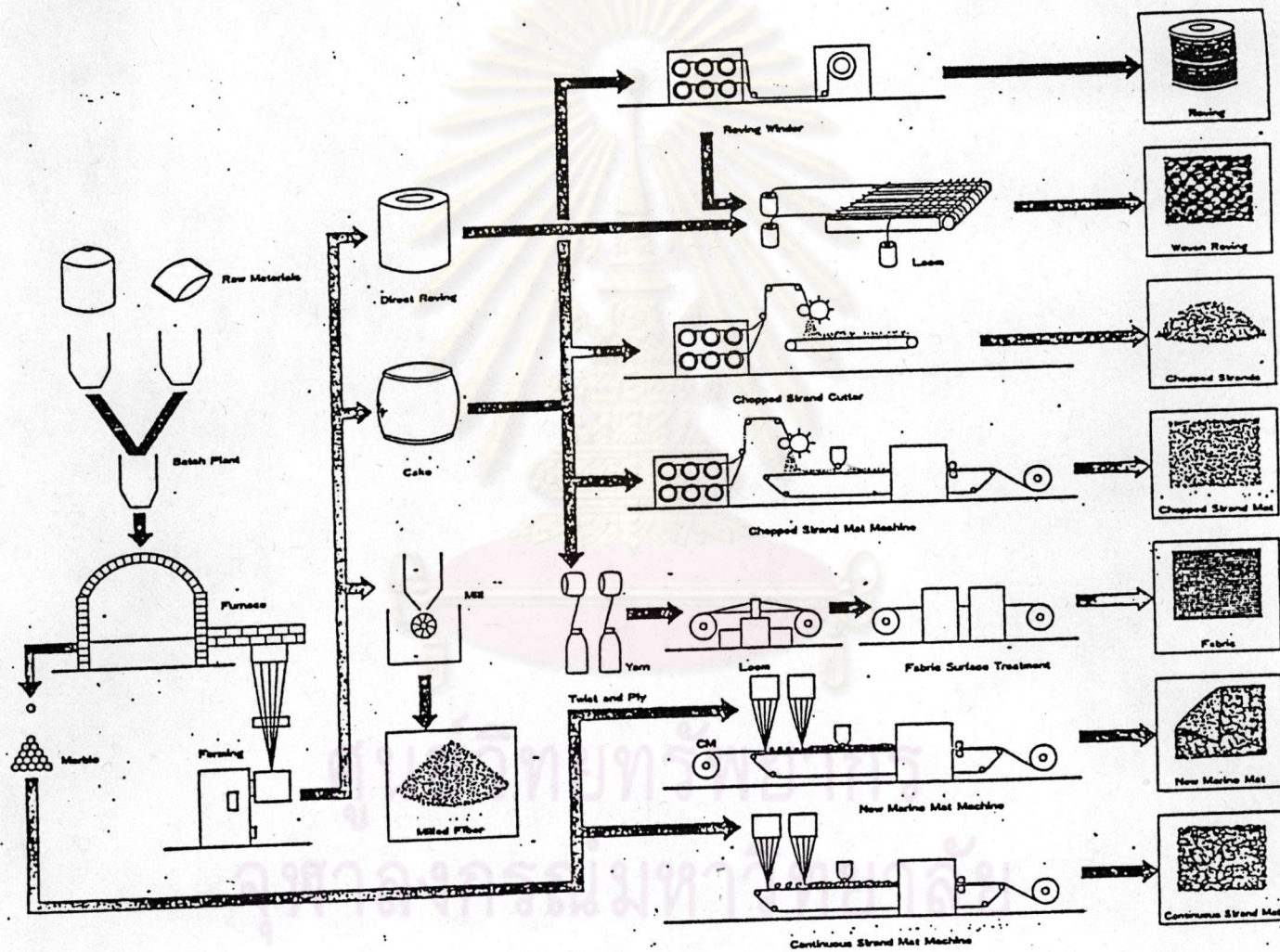
2. ตาसान (Woven roving) เป็นใยแก้วที่นำเอาใยแก้วที่เป็นเส้นใยต่อเนื่องมาทอประสานกัน มีความกว้าง ความหนา น้ำหนักต่อพื้นที่ ต่างๆกัน การวางเส้นใย

	A GLASS	E GLASS	C GLASS	AR GLASS	S GLASS
SiO ₂	72	54.3	64.6	60	65
Al ₂ O ₃ +Fe	0.6	15.2	4.1	0.27	25
CaO	10	17.3	13.4	4.8	
MgO		4.7	3.3	0.1	10
Na ₂ O	14	0.6	7.9	14.3	
K ₂ O			1.7	2.7	
B ₂ O ₃		8	4.7		
BaO			0.9		
TiO ₂				6.5	
ZrO ₂				10.2	
SO ₃	0.7			0.2	
As ₂ O ₅	tr.				
F ₂		0.1	tr.		

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของแก้วชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๒๖๘๒๖๒๖๒๖



รูปที่ 2.5 ขบวนการผลิตใยแก้วชนิดต่างๆ

แก้วจะวางในแนวตั้งฉาก ใช้สำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง

3. Woven fabrics ทำจากใยแก้วพวกยาร์น (Yarn) เป็นเส้นใยที่เป็นเกลียวผลิตขึ้นโดยให้มีลักษณะการทอเป็นผืนหลายแบบ มีความกว้าง น้ำหนักที่เหมาะสมกับงาน

4. ใยผิว (Surfacing mat) ใยแก้วชนิดนี้ใช้กับใยแก้วชนิดที่เป็นผืนเพื่อทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เรียบ เพราะว่าใยแก้วชนิดนี้จะใช้เป็นผิวที่ติดกับแม่แบบและมีอัตราส่วนของเรซินต่อใยแก้วมากกว่าใยแก้วชนิดอื่นๆ จึงเป็นชั้นที่กันไม่ให้เห็นชั้นของใยแก้วอื่นๆ ที่อยู่ด้านหลัง นอกจากนี้ยังใช้ใยผิวในงานที่ต้องทนต่อสภาพการกัดกร่อนของสารเคมีอีกด้วย

5. ใยแก้วแบบผืน (Reinforcing mat) ทำขึ้นจากใยแก้วชนิดต่อเนื่องมาตัดเป็นเส้นๆ หรือไม่ได้ตัดมารวมกันเป็นผืน โดยมีสารชนิดหนึ่งมาประสานให้เส้นใยแก้วนี้อยู่ด้วยกันโดยสม่ำเสมอ ใยแก้วชนิดนี้จะให้ความแข็งแรงปานกลาง มีทั้งความกว้าง น้ำหนักต่างๆ กัน

6. ผงใยแก้ว มีขนาด $1/32$ นิ้ว ถึง $1/8$ นิ้ว ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับเสริมแรงให้กับเรซินชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยเสริมให้ทนแรงขนาดต่ำจนถึงขนาดปานกลาง และยังใช้ผสมกับกาวเพื่อให้ทนแรงได้มากขึ้น

ลักษณะของใยแก้วต่างๆ จะดูได้จากรูป 2.6 และ 2.7

2.4 วัสดุอื่นๆ ในงานพลาสติกเสริมแรง

1. สารทำให้แข็ง (Catalyst or Hardener) ในการทำให้พลาสติกเหลวกลายเป็นพลาสติกแข็ง โดยเฉพาะโพลีเอสเทอร์เรซิน ต้องมีตัวที่ทำให้เกิดอนุมูล แล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลเป็นร่างแห จนกลายเป็นของแข็ง

2. สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator or Promotor) เป็นสารที่ใช้เร่งปฏิกิริยาในการแข็งตัวของพลาสติก

3. เจลโคท (Gelcoat) เป็นโพลีเอสเทอร์เรซินชนิดที่ผสมผงเบา (Thixotropic agent) ทำให้มีลักษณะหนืดไม่ไหล ใช้พ่นหรือทาลงบนแม่แบบ หน้าที่ของเจลโคท คือทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบมันทั้งยังปกปิดไม่ให้เห็นรอยของใยแก้วและฟองอากาศที่ไล่ออกไม่หมด นอกจากนี้ยังสามารถผสมสีเข้าไปในเนื้อของเจลโคทได้อีก เพื่อให้ชิ้นงานมีสีตามต้องการ

4. เนื้อสี (Pigment) ใช้ผสมเข้ากับเนื้อของเรซิน หรือ เจลโคท เพื่อให้ชิ้นงานมีสีตามต้องการ

5. สารอื่นๆ

สารเหล่านี้ไม่ได้เป็นสารที่ละลายไปในเนื้อของโพลีเอสเทอร์ แต่เป็นสารที่ช่วย

CONTINUOUS STRAND

Yarn



Continuous Roving



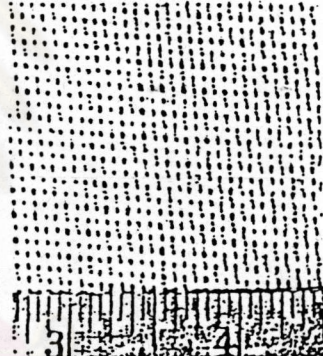
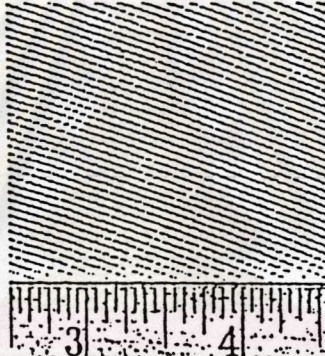
Spun Roving



FABRIC

181 Fabric

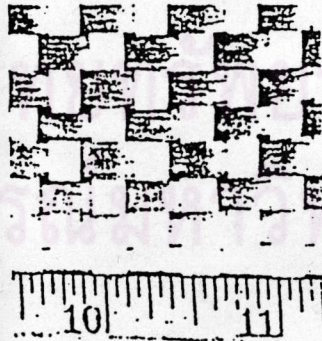
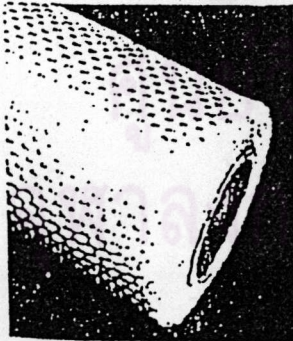
1000 Fabric



WOVEN ROVINGS

Woven Roving

Woven Spun Roving

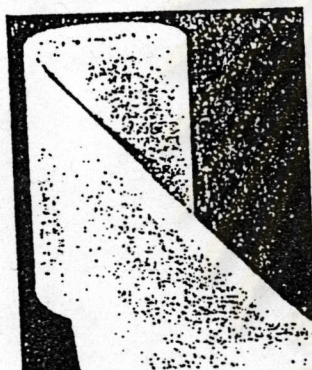


รูปที่ 2.6 แสดงใยแก้วชนิดต่างๆ

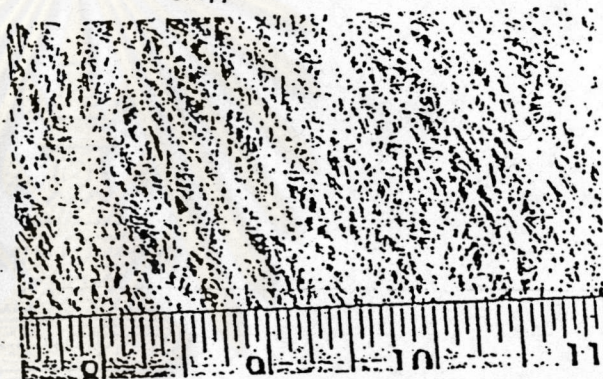
CHOPPED STRANDS



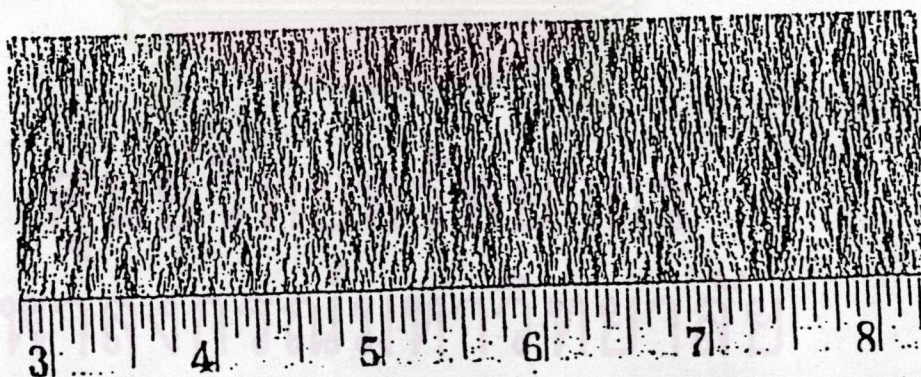
REINFORCING MATS



Chopped Strand Mat



SURFACING MAT



รูปที่ 2.7 แสดงใยแก้วชนิดต่างๆ

ในการทำงาน เช่น

- 5.1 สารสำหรับช่วยในการถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบ เช่น สารพีวีเอ ซีดีง
- 5.2 สารกันไหล ใช้สำหรับป้องกันการไหลของโพลีเอสเทอร์เรซินเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก เมื่อใช้งานกับแม่แบบที่ทำมุมสูงกับพื้นระดับ
- 5.3 ตัวทำลาย เป็นสารที่ช่วยในการล้างเครื่องมือ เช่น อะซิโตน กิโนเนอร์
6. สารเติม(Filler)เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานให้ดีขึ้น เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็ง การทนต่อความร้อน คุณสมบัติในการหน่วงการลุกไหม้ (Fire retardant) หรืออาจเติมลงไปเพื่อให้เนื้อของเรซินมากขึ้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน สารเติม มีหลายชนิด เช่น ทัลคัม แคลเซียมคาร์บอเนต อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โลมส์โตน ททราย

ส่วนผสมทางเคมีของผงหินอ่อน(Limestone)

ความชื้น(Moisture)	=	0.11	เปอร์เซ็นต์
ส่วนที่หายไปหลังการเผา(Ig. loss)	=	48.11	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา(SiO_2)	=	0.57	เปอร์เซ็นต์
อลูมิเนียมออกไซด์(Al_2O_3)	=	0.12	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์(Fe_2O_3)	=	0.08	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียมออกไซด์(CaO)	=	55.42	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียมออกไซด์(MgO)	=	0.36	เปอร์เซ็นต์

ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์(Aluminium Hydroxide)

ความชื้น(Moisture)	=	0.02	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา(SiO_2)	=	0.00	เปอร์เซ็นต์
อลูมินา($Al_2(OH)_3$)	=	99.9	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์(Fe_2O_3)	=	0.02	เปอร์เซ็นต์
โซเดียมออกไซด์(Na_2O)	=	0.05	เปอร์เซ็นต์

หลักที่ควรคำนึงเมื่อใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

มีหลักใหญ่ๆอยู่ 4 ข้อคือ

1. ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของใยแก้วในผลิตภัณฑ์นั้น กล่าวคือ ความแข็งแรงความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของใยแก้ว ขึ้นส่วนที่มีใยแก้ว 80 เปอร์เซ็นต์ และ เรซิน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จะแข็งแรงกว่าขึ้นส่วนที่มีจำนวนใยแก้วกับเรซินเท่าๆกัน เกือบ 4 เท่ารูปที่ 2.8 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณใยแก้วกับความแข็งแรง

การจัดตัวของใยแก้วในพลาสติกเสริมแรงมีความสำคัญมาก เพราะความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของวัสดุเอง เมื่อพิจารณาการวางตัวของเส้นใยแก้วแล้วจะแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

- 1. เมื่อเส้นใยแก้วได้รับการวางให้ขนานกัน
- 2. เมื่อครึ่งหนึ่งของเส้นใยได้รับการวางให้เป็นมุมฉากกับอีกครึ่งหนึ่ง
- 3. เมื่อเส้นใยถูกวางแบบไม่มีทิศทางแน่นอน(Random)

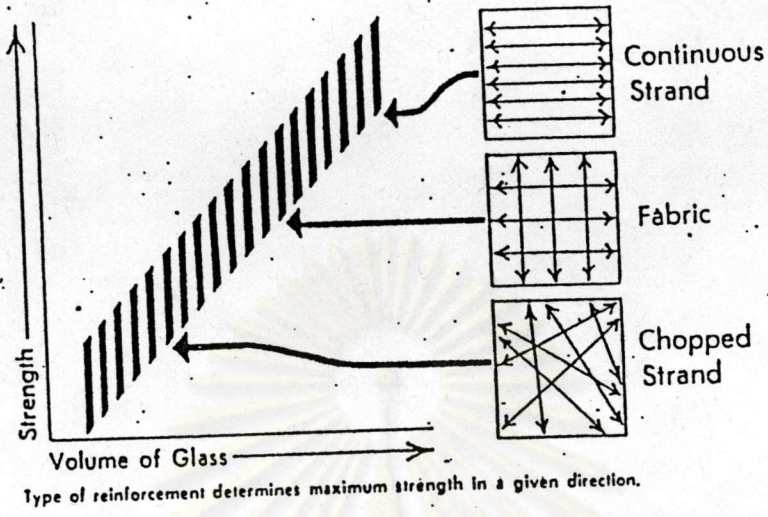
ทิศทางการวางตัวของเส้นใยแก้วแสดงไว้ในรูปที่ 2.9

เมื่อเส้นใยแก้วถูกวางขนานกันจะมีความแข็งแรงและโมดูลัสมากที่สุด ในแนวของเส้นใย เช่นการจัดตัวในแนวขนานใช้ในการออกแบบผนังมอเตอร์ จรวด ไม้ตีกอล์ฟ คันเบ็ดตกปลา

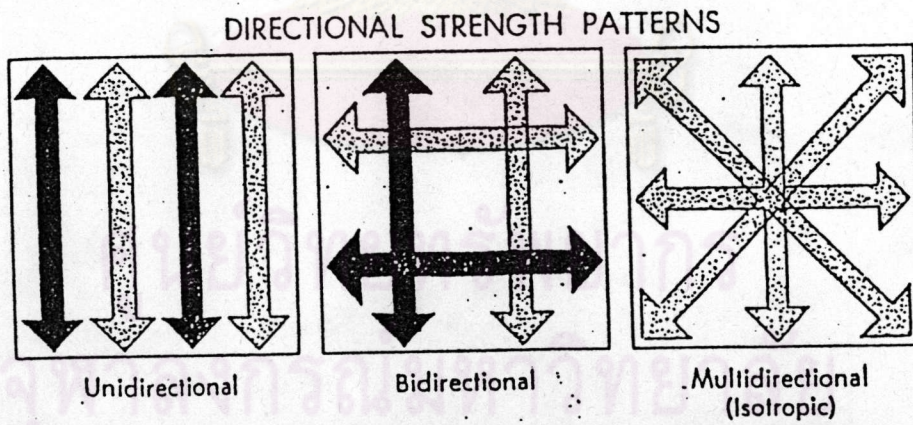
เมื่อครึ่งหนึ่งของเส้นใยแก้วถูกวางเป็นมุมฉากกับอีกครึ่งหนึ่ง ความแข็งแรงสูงสุดจะอยู่ในแนว 2 ทิศทางถึงแม้ว่าความแข็งแรงจะน้อยกว่าการจัดตัวแบบขนาน แต่ก็ใช้งานได้ เช่น ผนังของเรือ ปลายปีกเครื่องบิน สระว่ายน้ำ

เมื่อการการจัดตัวของใยแก้วอยู่ในลักษณะที่ไม่มีทิศทางแน่นอน ความแข็งแรงก็ไม่อยู่ในหนึ่งหรือสองแนวนั้นคือไม่มีทิศทางแน่นอน ความแข็งแรงแบบนี้ใช้ในการผลิตชิ้นงานธรรมดาๆไป เช่น หมวกนิรภัย แก้ว อี๋ ขึ้นส่วนทางไฟฟ้า กระเบาะ หลังคารถ อ่างอาบน้ำ การจัดตัวแบบไม่มีทิศทางแน่นอน มีความแข็งแรงต่ำ สภาพนี้เรียกว่า ไอโซโทรปิก (Isotropic) ความสัมพันธ์ของการจัดตัว และปริมาณใยแก้ว เหมือนกับการวางของลงในกล่อง ถ้าจัดให้เรียบร้อยที่สุด ก็จะวางของได้มากที่สุด ในปริมาตรที่กำหนด อย่างเช่น การวางเส้นใยแบบต่อเนื่อง(Continuous strand) ให้ขนานกันจะได้ปริมาณใยแก้วมากกว่าในปริมาตรที่กำหนด โดยอยู่ในช่วง 45 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เมื่อวางเส้นใยแก้วครึ่งหนึ่งให้ตั้งฉากกับอีกครึ่งหนึ่ง ปริมาณใยแก้วจะอยู่ในช่วง



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับปริมาณของใยแก้ว



รูปที่ 2.9 แสดงทิศทางการวางตัวของเส้นใยแก้ว

จาก 55 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

การวางตัวแบบไม่มีทิศทางแน่นอน โยแก้วจะมีปริมาณ อยู่ในช่วง 15 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ความสัมพันธ์ของปริมาณโยแก้ว ลักษณะความแข็งแรงและการจัดตัวของโยแก้ว แสดงในรูปที่ 2.10 จะสังเกตได้ว่าเส้นโยที่วางขนานกัน ให้ความแข็งแรงสูงที่สุด การจัดตัวในสองทิศทางตั้งฉากกันให้ความแข็งแรงในแนวช่วงกลางๆ และการจัดตัวแบบไม่มีทิศทางแน่นอน ให้ความแข็งแรงต่ำกว่าแบบอื่นๆ

การเสริมแรงด้วยโยแก้ว ผู้ออกแบบต้องออกแบบการจัดตัวของโยแก้วให้เป็นประโยชน์และเหมาะสมมากที่สุด ดังเช่น

โยแก้วชนิดเส้นโยต่อเนื่อง (Continuous strand or Roving) ให้การเสริมแรงในแนวของการวางเส้นโย

โยแก้วชนิด Fabric เสริมแรงวัตถุใน 2 ทิศทาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย