



การผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส

นางสาวนภา เหลืองพิริยะชาติ  
นางสาวเปรมหทัย ชำเกษม  
๒/๗๗  
๗/๑๙๖ ๗

เลขหมู่ ๒๕๓๗  
เลขทะเบียน  
วันเดือนปี

612557018

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์

บัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๗

# **Production of Transparent Glass Fiber Reinforce Plastics**

**Miss Napa                      Luangpiriyachart**  
**Miss Preamhatai          Kumgasem**

**A Special Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science  
Department of Chemistry  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
1994**



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 การประยุกต์ใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว	1
1.2 การประยุกต์ใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสง	2
1.3 การพัฒนาพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสง	2
1.4 โครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิเอสเทอร์	4
2.1.1 ความหมาย	4
2.1.2 ความเป็นมา และการพัฒนา	6
2.1.3 การเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินเพื่อผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว	9
2.1.4 คุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิด	9
2.1.5 กลไกการเกิด	11
2.1.6 วัตถุประสงค์ของการเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซิน	13
2.1.7 ขอบข่ายของการทดลองและการศึกษา	13
2.2 ใยแก้วเสริมแรง	14
2.2.1 Continuous Strand Mat	14
2.2.2 Woven Roving	14
2.2.3 Wove Fabrics	14
2.2.4 Surfacing Mat	15

2.2.5 Reinforcing Mat	15
2.2.6 Combination Mat	15
2.2.7 Chopped Fiber	15
2.2.8 Milled Fiber	16
2.3 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว	17
2.3.1 เส้นใยแก้ว	17
2.3.2 เทอร์โมเซตติ้งเรซิน	17
2.3.3 วิธีในการขึ้นรูป	18
2.4 การหาดัชนีหักเหของแสงจากแผ่นใยแก้ว	20
2.4.1 ความหมายของค่าดัชนีหักเหของแสง	20
2.4.2 วิธีเบคเกอร์ไลน์	21
บทที่ 3 การทดลอง	22
3.1 การหาดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้วโดยใช้วิธีเบคเกอร์ไลน์	22
3.1.1 ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์	22
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	22
3.1.3 วิธีและขั้นตอนการทำการทดลอง	23
3.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ ค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว	24
3.2.1 ชุดเครื่องมืออุปกรณ์	24
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2.3 วิธีและขั้นตอนของการทดลอง	25
3.3 การผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว	31
3.3.1 การทำเวลาที่ใช้ในการสุกตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน	31
3.3.2 การผลิตชิ้นงานพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยใช้ เทคนิคการทำมือ	32
3.4 การหาคุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว	33

บทที่ 4 ผลการทดลอง	
การหาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้วโดยใช้วิธีเบคเกอร์ไลน์	34
ตอนที่ 1 เลือกคู่สารเคมีที่เหมาะสมในการหาค่าดัชนีหักเห	
ของแสงของแผ่นใยแก้ว	34
ตอนที่ 2 หาอัตราส่วนปริมาตรที่เหมาะสมของคู่สารเคมีที่ทำให้	
ไม่เห็นใยแก้วในสารละลาย	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
วิจารณ์ผลการทดลอง	41
ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วชนิดโปร่งใส

๓

โดย นางสาวนภา เหลืองพิริยะชาติ

นางสาวเปรมหทัย ชำเกษม

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา Mr. JOHN WILLIUM ELLIS

ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์

### บทคัดย่อ

กระจกเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ความใส และความแข็งแรง แต่มีข้อบกพร่องคือ ความเปราะแตกง่ายและทนแรงกระแทกได้ไม่ดี ดังนั้นจุดประสงค์ของโครงการพิเศษนี้เพื่อผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fiber Reinforce Plastics) ชนิดโปร่งใส เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีความแข็งแรงและทนแรงกระแทกได้ดี ซึ่งในการทดลองทำโดยปรับค่าดัชนีหักเหของแสงของพอลิเอสเตอร์เรซินให้มีค่าเท่ากับของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat) ที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. หาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว โดยวิธีเบคเกอร์ไลน์ (Beckeline Test) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซิน

2. สังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับของแผ่นใยแก้ว โดยการปรับอัตราส่วนของสไตรีนและเมทิลเมทาคริเลตให้เหมาะสม

3. นำพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วไปทดสอบคุณสมบัติความโปร่งใส โดยการพิจารณาด้วยสายตา

จากผลการทดลองอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของสไตรีน และเมทิลเมทาคริเลตที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วยสไตรีน 88 เปอร์เซ็นต์และเมทิลเมทาคริเลต 12 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ผลที่ได้มีความใสและเห็นเส้นใยแก้วน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ที่ทำการทดลอง แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระจกแล้วเห็นความแตกต่างชัดเจนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วให้มีความใส นอกจากการปรับค่าดัชนีของแสงของพอลิเอสเตอร์ให้เหมาะสมแล้วยังต้องประกอบด้วยปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมด้วย เช่น ชนิดของใยแก้ว กาวอัดใยแก้ว เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต เพื่อให้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีความใสทดแทนกระจกได้

<b>Special Project Title</b>	Production of Transparent Glass Fiber Reinforce Plastics	
<b>Name</b>	Mrs Napa	Luangpiriyachart
	Mrs Preamhatai	Kumgasem
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Malinee	Chaisuppakidsin
	Mr. Jonh Willium Ellis	
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>Academic Year</b>	1994	

### Abstract

Glasses are widely used as materials in building construction due to their specific properties in hardness and transparency, but they still have the weakness in brittle and low impactivity. The project improves a study on transparent glass fiber reinforce plastics (GRP) to use instead of glass because their properties are strong, high impactivity and transparent. However, the transparency of GRP is still not the same as glass. The refractive index of unsaturated polyester resin was improved as same as that of chopped strand mat. The studies are divided into 3 parts as follows,

1. To find the refractive index of chopped strand mat by the Becke line test as a standard in producing unsaturated polyester resin
2. To improve the refractive index of unsaturated polyester resin to have the same as chopped strand mat by adjusting the optimum ratio of styrene and methylmethacrylate
3. To determine transparent of GRP by optical determination

The optimum ratio of styrene and methylmethacrylate is concluded to be 12% and 88% respectively it gives transparent appearance. However, the transparency of GRP is still not compare to glass. The other factors in the production of transparent GRP such as type of chopped strand mat, binder, catalyst and accelerator should be investigated in future.

## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ และ Mr. John Willium Ellis ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการดำเนินงาน โครงการพิเศษนี้ ขอขอบคุณ ดร.ประเสริฐ คุณคำชู และ ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดในรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น และบริษัทแซนด์แอนด์ชอย ที่เอื้อเฟื้อบุคคลากรในการช่วยชี้แนะและสารเคมี รวมไปถึงเครื่องมือในการดำเนินการในโครงการพิเศษนี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ประจำภาคเคมีทุกท่าน และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นางสาวนภา เหลืองพิริยะชาติ

นางสาวเปรมหทัย ขำเกษม

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการนำพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวไปประยุกต์ใช้งาน	8
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของเรซินที่ทำให้สุกตัวแล้ว	10
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อนำน้ำผสมกับสารเคมีต่าง ๆ	34
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อนำเอทานอลผสมกับสารเคมีต่าง ๆ	35
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการสังเกตแผ่นใยแก้วในสารละลายของแต่ละอัตราส่วนปริมาตร ระหว่าง อะนิโซลดีไฮด์ เอทานอล	36
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการนำแต่ละอัตราส่วนปริมาตรที่เหมาะสม ไปวัดค่าดัชนีหักเหของ แสงโดยใช้แอบเบ่ รีแฟลกโตมิเตอร์ (Abbe Refractrometer)	37
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของค่าดัชนีหักเหของแสงของพอลิเอสเตอร์เรซินในแต่ละอัตราส่วน เปอร์เซ็นต์ของ สไตรีนและเมทิลเมทาคริเลต	38
ตารางที่ 4.6 แสดงผลจากการสังเกตลักษณะของแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ขึ้นรูป โดยใช้พอลิเอสเตอร์เรซินในแต่ละอัตราส่วนของสไตรีนและ เมทิลเมทาคริเลต	39

## บทที่ 1

### บทนำ

โพลีเมอร์เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมาในปัจจุบัน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือนำมาใช้แทนวัสดุที่มีข้อจำกัดบางประเภท เป็นต้น ซึ่งลักษณะหนึ่งของการประยุกต์ใช้โพลีเมอร์ คือ การทำ Glass Fiber Reinforced Plastics ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ Polyester Resin และ Chopped Strand Mat ซึ่งใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

#### 1.1 การประยุกต์ใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ในการพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว พบว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย อาทิเช่น

- 1) ใช้ในการผลิตส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่มีปริมาตรมาก เช่น ตัวถังเครื่องยนต์ของรถแข่ง สปอยเลอร์ (spoiler) ไฟหน้าและไฟหลังรถ เป็นต้น
- 2) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ด้านการเกษตรที่ต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น ตัวถังเครื่องตัดหญ้า ภาชนะบรรจุปุ๋ย กระบอกใส่ยาฆ่าแมลง เป็นต้น
- 3) ใช้ในการผลิตส่วนประกอบของเครื่องบิน ที่ต้องการความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา เช่น ส่วนประกอบภายในของเครื่องบิน ส่วนประกอบของปีก ท่อน้ำภายในเครื่อง เป็นต้น
- 4) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตทางเคมี ซึ่งต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น ถังใส่น้ำมัน ท่อต่าง ๆ scrubbing tower เป็นต้น
- 5) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ก่อสร้างซึ่งต้องการให้ลักษณะที่ปรากฏออกมาดีและราคาถูก เช่น กรอบหน้าต่าง เป็นต้น
- 6) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ภายในบ้าน ซึ่งต้องการความสวยงามและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เช่น แก้วฉีและโต๊ะสนาม อ่างล้างจาน อ่างอาบน้ำ เป็นต้น
- 7) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ในพาหนะทางน้ำ ซึ่งต้องการความคงทนสูง ง่ายต่อการซ่อมแซมและบำรุง เช่น โครงสร้างของเรือ ถังน้ำมัน ถังน้ำ เป็นต้น

8) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬา ที่ต้องการการบำรุงรักษาต่ำและมีลักษณะปรากฏสวยงาม เช่น กระดานโต้คลื่น เบ็ดตกปลา ไม้ฮอกกี เป็นต้น

### 1.2 การประยุกต์ใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสง

ต่อมาได้มีความต้องการในการใช้งานเกี่ยวกับวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทนการกัดกร่อน มีน้ำหนักเบา และมีความโปร่งแสง จึงได้มีการพัฒนาพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสงขึ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท อาทิเช่น

1) อุตสาหกรรมการก่อสร้างได้นำพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมาใช้ในลักษณะของ หลังคาฝ้า (skylight)

2) อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ไฟหน้า และไฟท้ายของรถแข่ง

### 1.3 การพัฒนาพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสง

จากการพิจารณาการใช้งานของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งแสงที่พบเห็นทั่ว ๆ ไป ทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นแบบโปร่งใสเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งาน เช่น นำมาใช้งานแทนกระจกบานหน้าต่าง กระจกรถโดยสาร เป็นต้น เพราะพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีคุณสมบัติสำคัญคือ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อนและสภาพอากาศ ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของโครงการพิเศษนี้

#### 1.4 โครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส โดยคาดหวังว่าจะนำไปใช้ประโยชน์แทนกระจกได้ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การศึกษาค่าดัชนีหักเหของแผ่นใยแก้ว ซึ่งจะนำค่าดัชนีหักเหมาเป็นค่าดัชนีหักเหมาตรฐาน ในการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

ส่วนที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนของสไตรีน มอโนเมอร์ และ เมทิลเมทาคริเลต มอโนเมอร์ ที่มีผลต่อค่าความเหนียวของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

ส่วนที่ 3 การศึกษาการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ส่วนที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส โดยใช้การพิจารณาด้วยสายตา

#### 1.4.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อศึกษาการหาค่าดัชนีหักเหของแผ่นใยแก้ว

ข. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของสไตรีน มอโนเมอร์และเมทิลเมทาคริเลตที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัว

ค. เพื่อศึกษาการผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ง. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส

#### 1.4.2 ขอบเขตการศึกษา

ก. ศึกษาการหาค่าดัชนีหักเหของแผ่นใยแก้วที่ใช้โดยใช้วิธีของ Becke Line Test

ข. ศึกษาอัตราส่วนของสไตรีน มอโนเมอร์ และเมทิลเมทาคริเลต มอโนเมอร์ ที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเห ค่าความเป็นกรดและค่าความหนืด

ค. ศึกษาการหาค่าความหนืดและการคำนวณค่าความเป็นกรด

ง. ศึกษาการผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว

จ. ศึกษาวิธีการผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ช. ศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยใช้การพิจารณา

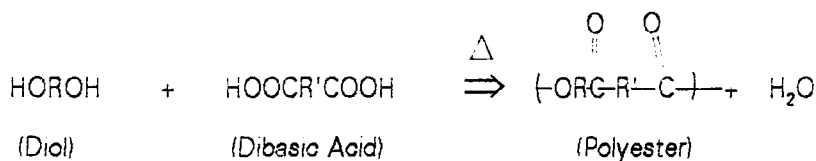
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. พอลิเอสเตอร์ (POLYESTER) คืออะไร

##### 2.1.1 ความหมาย

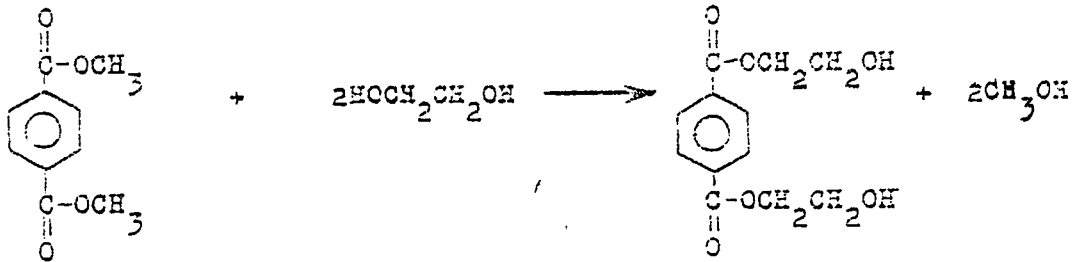
พอลิเอสเตอร์ คือ พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) ของสารประกอบ อัลกอฮอล์กับสารประกอบของกรดโดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้พอลิเอสเตอร์ยังรวมถึงพลาสติกไซเซอ์ชนิดพอลิเอสเตอร์อิ่มตัว (Saturated Polyester Plasticisers) เช่นพอลิพรอพิริลอะดิเปต (Poly (Propylene Adipate)) สารประกอบพอลิเอสเตอร์ไฟเบอร์ฟอร์มมิง (Polyester Fiber - Forming) เช่น พอลิเอทรีลีนเทเลฟทาเลต (Poly (Ethylene Terephthalate) ) และ พอลิเอสเตอร์ที่ถูกดัดแปลงโดย กรดไขมันอิ่มตัว (Fatty Acids) และดรายดิ้งออยล์ (Drying Oils) พวกลัลคิได (Alkyds) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำสีและวานิช ซึ่งเหล่านี้ใช้เป็นความหมายทั่วไป แต่โดยส่วนมากแล้วถ้ากล่าวถึง พอลิเอสเตอร์จะหมายถึงแต่เฉพาะพอลิเอสเตอร์เรซินไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) เท่านั้น ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั่วไปแสดงดังสมการ



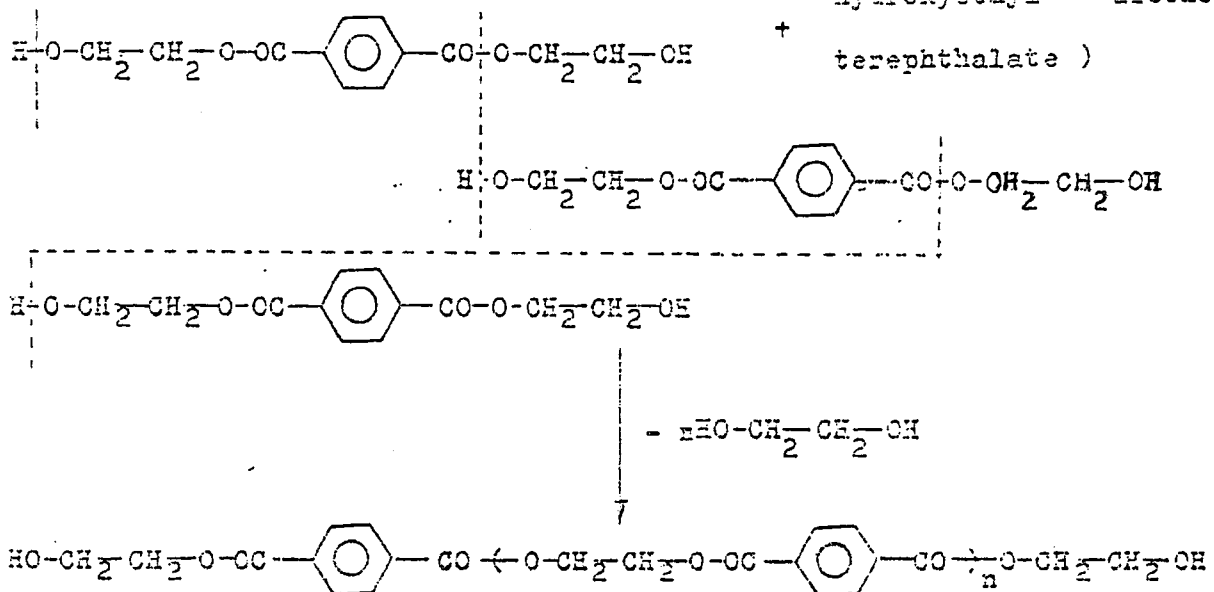
ปฏิกิริยาแบบควบแน่นนี้ได้มีการค้นพบมากกว่า 150 ปีแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีความสำคัญในทางการค้า อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถแบ่งพอลิเอสเทอร์ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. พอลิเอสเทอร์เชิงเส้นตรงแบบไม่อิ่มตัว (Linear Unsaturated Polyester)
2. พอลิเอสเทอร์เชิงเส้นตรงแบบอิ่มตัว (Linear Saturated Polyester)

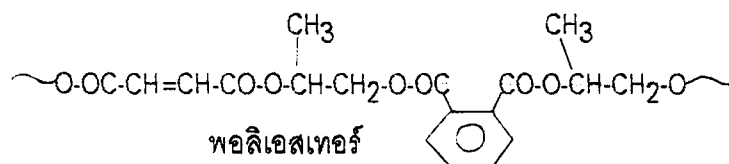
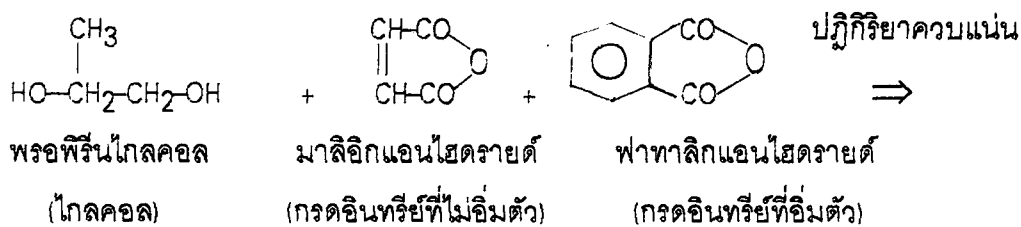
พอลิเอสเทอร์เชิงเส้นตรงแบบอิ่มตัว ในระยะเริ่มต้นได้มีการพยายามสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เชิงเส้นตรงประเภทอะลิฟาติก(aliphatic) นั่นคือหมู่ R ของไดออลและหมู่ R' ของไดเบสิกแอซิดต่างเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เช่น R คือ  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$  เป็นต้น แต่พบว่าพอลิเอสเทอร์ที่ได้มีจุดหลอมตัวต่ำ ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายเกินไปซึ่งเป็นสมบัติที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเส้นใยสังเคราะห์ ต่อมาได้มีการพบว่าถ้าเปลี่ยนหมู่ R' ของไดเบสิกแอซิดเป็นเบนซีน (Benzene) พบว่าพอลิเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น จุดหลอมตัวสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเป็นเส้นใยสังเคราะห์ได้ดีขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดัง Mechanism 1



( dimethyl terephthalate ) ( ethylene glycol ) ( bis ( 2- hydroxyethyl alcohol terephthalate )



พอลิเอสเทอร์เชิงเส้นตรงแบบไม่อิ่มตัวมักจะเรียกอีกอย่างว่า อัลคิเดเรซิน (Alkyd Resins) คำว่าอัลคิเดมาจากคำผสม 2 คำคือ "อัลกอฮอล์" (Alcohol) และ "แอซิด" (Acid) รวมเป็น "Alcid" ซึ่งอ่านยากจึงกลายเป็น "Alkyd" พอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัวอาจประกอบด้วย กรดอินทรีย์ที่อิ่มตัว เช่น ฟาทาลิก (Phthalic) ไอโซฟาทาลิก (Isophthalic) อะดิปีก (Adipic) ตัน สำหรับกรดอินทรีย์แบบไม่อิ่มตัว เช่น มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) หรือฟูมาลิกแอซิด (Fumaric Acid) เกิดปฏิกิริยาควบแน่นกับไดออล ไดไฮดริคอัลกอฮอล์ (Dihydric Alcohol) ที่นิยมเช่น ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene Glycol) พรอพิรีนไกลคอล (Propylene Glycol) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะต่างจากกรณีแรกคือ จะมีพันธะคู่ปรากฏอยู่บนสายโซ่ของพอลิเมอร์ ต่อจากนั้นจะเชื่อมโยง (Cross-linking) บนสายโซ่หลักพอลิเมอร์ (Polymer Backbone) ในตำแหน่งของกรดที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Acid) ด้วยไวนิลโมโนเมอร์ (Vinyl Monomer) ที่ส่วนใหญ่คือ สไตรีน (Styrene) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ



สมบัติและนำไปใช้ประโยชน์ พอลิเอสเทอร์เรซินเป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมโยงมีความสำคัญมากเพราะใช้เป็นตัวยึด (binder) ในสีน้ำมันเป็นวานิชและแลกเกอร์ ทำสารเคลือบผิวทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสและหินอ่อนเทียม เป็นต้น

### 2.1.2 ความเป็นมาและการพัฒนา

พอลิเอสเทอร์ผลิตออกมาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1847 โดยนักเคมีชาวสวีเดน Berzelius ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ พอลิกรีเซอิลลทราเทรต (Poly(Glycerol Tartrate)) มีลักษณะเหนียวเหนียวหนืด ยางสน จากนั้นก็มีการปรับปรุงมาเป็นลำดับโดยเปลี่ยนชนิดของสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาเรื่อยมา จนกระทั่ง ค.ศ. 1918 บริษัท G.E.C. และ B.T.H. ได้นำอัลคิเดเรซินที่ได้มาเป็นส่วนผสมในการทำสีซึ่งทำให้มีความทนทานสูง ต่อมาก็มีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในด้านต่าง ๆ กันอย่างกว้าง

ขวาง เช่น ทำวัสดุเคลือบผิวหน้าและแล็กเกอร์

ต่อมา Muskat ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ฟาทาลิกแอนไฮดรายด์ มาลิกแอนไฮดรายด์ ทำปฏิกิริยากับไกลคอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มที่จะช่วยลดการเกิดผลึก (Crystalline) และยังช่วยเพิ่มการเข้ากันได้กับสไตรีนโมโนเมอร์อีกด้วย การพัฒนาในเชิงการค้าเริ่มทำกันอย่างจริงจังในสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1941 ซึ่งในขณะนั้นที่ประเทศอังกฤษก็ได้พัฒนาเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำโคพอลิเมอร์ของ นอร์มอล-บิวทิลเมทาอะคริเลต (*n*-Butylmethacrylate) กับพอลิเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของ เมทาอะคริลิกแอซิดฟาทาลิกแอนไฮดรายด์และเอทิลีนไกลคอล สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างในการพัฒนาการของพอลิเอสเทอร์เรซินในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้ คือ การทำให้สุกตัว (curing) ซึ่งก่อนหน้าปี ค.ศ. 1944 นี้การสุกตัวของเรซินเหล่านี้จะต้องทำที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยมีเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide) เป็นสารริเริ่ม (Initiator) แต่ภายหลังจากปี ค.ศ. 1944 เป็นต้นมา ก็สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยเทอร์เชียรีเอมีน (Tertiary Amine) เช่น ไดเมทิลอนิลีน (ดีเอ็มเอ) (N,N-Dimethylaniline . (DMA)) เป็นต้นและยังใช้เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์เป็นสารริเริ่มเช่นเคย ต่อมาก็มีการพัฒนาโดยใช้คะตะลิสต์ (Catalyst) ตัวอื่น ๆ เช่น ที-บิวทิลไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (*t*-Butyl Hydroperoxide) ไสโคลเฮกซานอนเพอร์ออกไซด์ (Cyclohexanone Peroxide) เมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์ (Methylethyketoneperoxide) หรือ (MEKP) และโปรโมเตอร์ (promotor) ที่ใช้คือ โคบอลต์แนฟทีเนต (Cobalt Napthenate) ซึ่งในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การนำพอลิเอสเทอร์เรซินไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมและการค้าได้หลายทาง คือ

1. การหล่อ (Casting) สามารถที่จะหล่อเป็นหุ่นจำลองทางสรีรวิทยาเช่น ปอด ไต และเนื้อเยื่อ
2. การเคลือบผิวหน้า (Surface Coating) ซึ่งจะให้ความเงามันต่อวัสดุที่เคลือบเป็นอย่างมาก (high-gloss) ใช้ในอุตสาหกรรมสีน้ำมัน เป็นต้น
3. แม่แบบ (Dough Moulding) โดยการผสมเส้นใยแก้วในเรซินที่ประกอบด้วยฟิลเลอร์ (fillers) ที่เป็นผงผสมอยู่ นำมาใช้ทำเป็น Moulding Car-Heatercorers Battery Holders
4. พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fibre Reinforced Plastics) ให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีสมบัติคงทนแข็งแรงทนต่อสารเคมี ใช้ทำเรือหางค์น้ำและชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

นอกจากการนำพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว ไปประยุกต์ใช้งานที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถใช้ทำสิ่งอื่นอีกมากมายดังแสดงในตารางที่ 1

Classification	Items	Definition	Applications
Building & Construction	Flat & Corrugated panel Construction	Products related to interior or exterior of building and construction	Corrugated panel Translucent panel Doom, Panel, Wall, Pool, Traffic sign, Concrete shooter, Buoy Culture marble, decorative panel
Appliance	Bath tub Septic tank	Products related to bath room and sanitation	Bath tub & its units, Shower units, Septic tank, Drainage etc.
Marine	Marine	Boats & other marine uses	Hover-craft, Life-boats, Yacht, Cruiser, Canoes, Surfboard, In-&-out-boards etc.
Transportation	Transportation	Land transportation	Automobile & Truck body, Roof panel, Door panel, Sheet, Bumper, Snowmobile, Golfcart Putty, etc.
Tank & Vessel	Tank & Vessel Corrosion-resistance equipment	Tank & Vessel for general purpose or corrosion resistance	Water tank, Chemical tank, Chemical plant, Container, Silo, Food & Fodder tank Fan etc.
Industrial Parts	Pipe	Pipe for industrial parts	Pipe produced by FW, Pultrusion, and Roto molding
	Housing  Electrical part	Housing itself and its parts  Products related to electrical equipment	Cooling tower, Case  Signal equipment, PC board, Insulation board, Switch box, Relay case, Battery case, etc.
Consumer	Consumer products	Consumer products	Sports equipment, Toy, Serving trays, Helmet, Mannequin, Button, Casting, etc.
	Others		

### 2.1.3 การเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินเพื่อผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

การเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินจะแบ่งการสังเคราะห์ออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

#### 1. การเตรียมพอลิเอสเทอร์

ในการเตรียมพอลิเอสเทอร์จะใช้สารตั้งต้น 3 ชนิด คือ มาลิกแอนไฮดรายด์ ฟาทาลิกแอนไฮดรายด์ พรอพิลีนไกลคอล เนื่องจากวิธีที่ใช้สังเคราะห์สะดวกและง่ายต่อการควบคุม และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้กับงานหลาย ๆ ด้าน โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาสังเคราะห์ประมาณ 14 ชั่วโมง ซึ่งต้องมีการทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาโดยวัดค่าความเป็นกรดและค่าความหนืด ทุก ๆ 45 นาที จะหยุดการดำเนินไปของปฏิกิริยาเมื่อค่าความเป็นกรดของพอลิเอสเทอร์คือ 46-48 และมีความหนืด 7-9 วินาที โดยใช้วิธี Bubble Viscometer ทดสอบ

#### 2. การเติมตัวทำละลาย

เนื่องจากพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้เบื้องต้น ถ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเป็นของแข็ง แต่ในการใช้งานจะใช้ในรูปของเหลว ดังนั้นจึงต้องเติมตัวทำละลาย เพื่อให้ได้เป็นพอลิเอสเทอร์เรซินซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปตัวทำละลายที่ใช้ คือ สไตรีน มอโนเมอร์ (Styrene Monomer) ซึ่งพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงเกินกว่าของใยแก้ว เนื่องจากสไตรีน มอโนเมอร์มีค่าดัชนีหักเหของแสง 1.590 ซึ่งสูงกว่าของแผ่นใยแก้วมาก และจุดประสงค์ของโครงการพิเศษ คือ ต้องการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับของแผ่นใยแก้ว จึงต้องนำมอโนเมอร์อีกชนิดหนึ่งคือ เมทิลเมทาไครเลต มอโนเมอร์ (Methylmethacrylate Monomer) เติมลงไปเพื่อลดค่าดัชนีหักเหของแสง แต่มีข้อจำกัดคือจะใช้ เมทิลเมทาไครเลต มอโนเมอร์แทนสไตรีน มอโนเมอร์ทั้งหมดไม่ได้ เนื่องจากเมทิลเมทาไครเลตไม่ทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับพอลิเอสเทอร์ จึงต้องใช้มอโนเมอร์ 2 ชนิดร่วมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ และนำพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้ไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงโดยใช้เครื่อง แอบเบ รีแฟคโตมิเตอร์ (Abbe Refractometer) จากนั้นนำพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ไปผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

### 2.1.4 คุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิดในพอลิเอสเทอร์เรซิน

#### พรอพิลีน ไกลคอล (Propylene Glycol)

มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตร เรซินที่ได้มีความเป็นผลึกต่ำ

#### ฟาทาลิกแอนไฮดรายด์ (Phthalic Anhydride)

เป็นกรดชนิดอ่อนตัวช่วยลดความเป็นผลึก ทำให้ใสจากโครงสร้างของกรดทำให้เรซินที่ได้มีความแข็งและเหนียว

ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของเรซินที่ทำให้สุกตัวแล้ว

	ASTM Test Method	Polyester Cast Resins	
		Rigid	Flexible
Flexural strength, psi	D 790	8,500-15,300	...
Tensile strength, psi	D 638, D 851	6,000-10,000	800-1200
Tensile modulus, psi x 10 <sup>5</sup>	D 638	3.0-6.4	...
Tensile elonga- tion, %	D 638	< 5	40-310
Compressive strength, psi	D 685	13,000-30,500	...
Impact strength <sup>1</sup>	D 256	0.2-0.4	7.0
Heat distortion temperature, °F	D 648	140-400	...
Hardness, Rockwell Barcol <sup>2</sup> Shore	D 785	M70-115	...
		20-60	...
		...	84-94
Specific gravity	D 792	1.10-1.46	1.01-1.26
Refractive index	D 542	1.523-1.57	1.537-1.55
Thermal expansion, 10 <sup>-5</sup> /°C	D 696	5.5-10	...
Resistance to heat, °F (continuous)	...	250	250

<sup>1</sup>Source: *Modern Plastics Encyclopedia 1958*, Plastics Properties Chart, Thermosets<sup>1</sup>.

<sup>2</sup>Ft lb/in. of notch for ¼" x ½" notched bar, Izod Test.

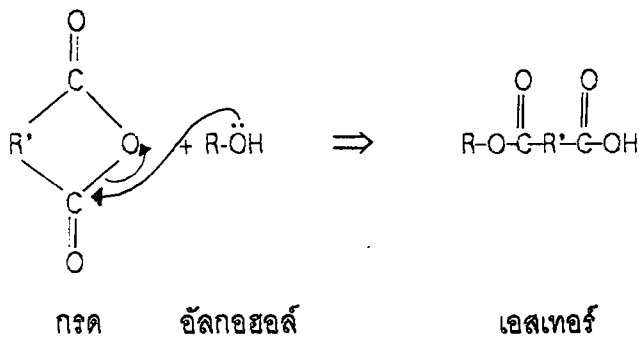
<sup>3</sup>Barcol Hardness Tester:—Barber-Colman Co.

มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride)

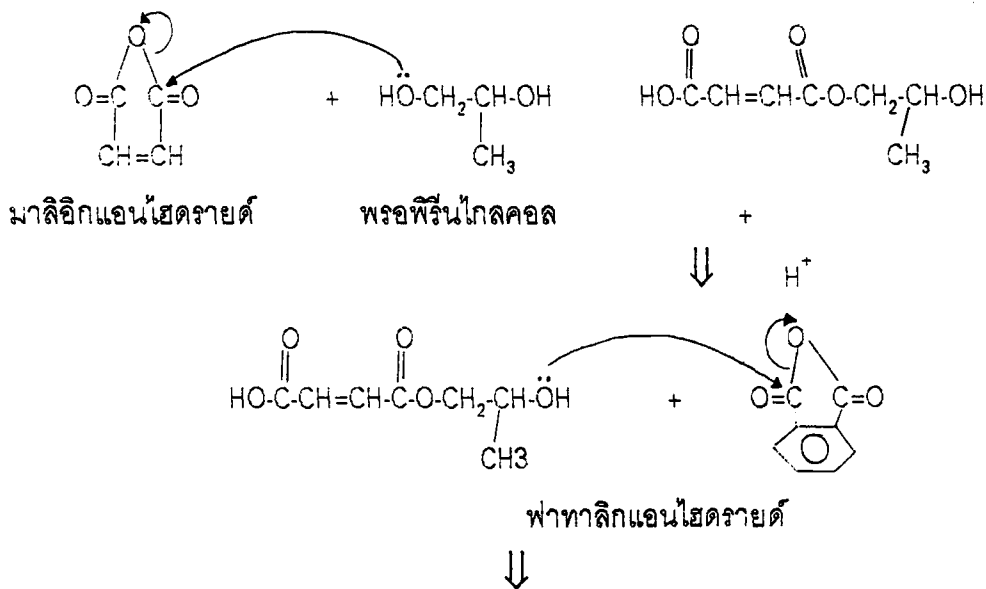
เป็นกรดชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปไปเป็น ฟูมาริก แอซิด (Fumaric Acid) ในระหว่างการทำปฏิกิริยา ซึ่งทำให้เรซินเกิดเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear Polymer) เป็นผลให้มีความเป็นผลึกสูง

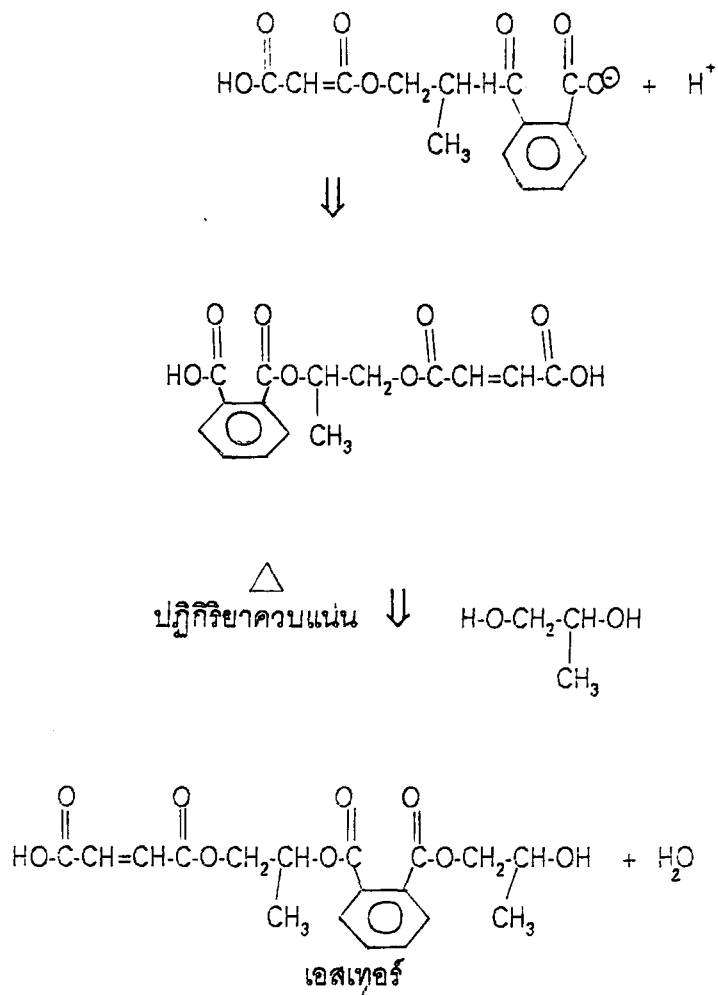
**2.1.5 กลไกการเกิด (Mechanism)**

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยทั่วไปเป็นดังนี้

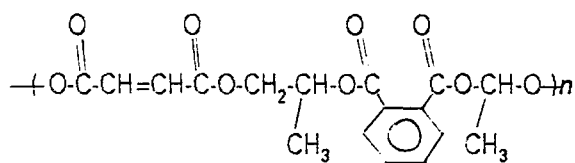


กลไกการเกิดพอลิเอสเทอร์เรซิน ในการทดลองนี้ คือกลไกการเกิดพอลิเอสเทอร์เรซินที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ฟาทาลิกแอนไฮไดรด์และพรอพิลีนไกลคอล กลไกการเกิดของปฏิกิริยาเป็นดังนี้





ปฏิกิริยาจะเกิดเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ จนเป็นสายโซ่ที่ยาวและในที่สุดก็เป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์ดังสูตรโครงสร้างนี้



เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้มี 3 ชนิด และแต่ละชนิดก็เป็นสารที่มีหมู่โคฟังก์ชันนัลลิตี (Difunctionality) ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความซับซ้อนมาก แต่นักเคมีก็คาดว่าเรซินที่ได้คงมีโครงสร้างเป็นแบบโมเลกุลที่มีสายโซ่เป็นเส้นตรงดังสมการข้างต้นนี้

เมื่อนำพอลิเอสเทอร์เรซินที่เตรียมได้จากสารตั้งต้น 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วไปทำให้เกิดการสุกตัวจะเกิดการเชื่อมโยงของพอลิเอสเทอร์เรซินกับสไตรีนมอนอเมอร์ที่ตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่ง

### 2.1.6 วัตถุประสงค์ของการเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซิน

:เพื่อให้ได้พอลิเอสเทอร์เรซินที่มีค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ตรงกับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat)

### 2.1.7 ขอบข่ายของการทดลองและการศึกษา

ขอบข่ายของการทดลองจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1

ทำการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินจากสารตั้งต้นต่อไปนี้

1. มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride)
2. ฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic Anhydride)
3. พรอพรีนไกลคอล (Propylene Glycol)

#### ขั้นตอนที่ 2

ศึกษาอัตราส่วนระหว่างสไตรีนโมโนเมอร์ (Styrene Monomer) และ เมทิลเมทาคราไครเลตโมโนเมอร์ (Methyl Methacrylate) ที่ใช้เป็นตัวทำละลายพอลิเอสเทอร์ เพื่อให้พอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้มีค่าดัชนีหักเหของแสง ตรงกับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat)

ขอบข่ายของการศึกษา พอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมาจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

#### ขั้นตอนที่ 1

ศึกษาเกี่ยวกับ

1. การเกิดปฏิกิริยาแบบควบแน่นของพอลิเอสเทอร์เรซิน
2. ความก้าวหน้าของปฏิกิริยาโดยศึกษาจากค่าความเป็นกรด (Acid Value) และ ความหนืด (Viscosity)

#### ขั้นตอนที่ 2

ศึกษาสมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้ คือ

1. วัดค่าดัชนีหักเหของแสงของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้
2. หาเวลาที่พอลิเอสเทอร์เรซินใช้ในการสุกตัว (Cure Time)

## 2.2 โยแก้วเสริมแรง

โยแก้วเสริมแรง (Glass Fibre Reinforcement) ที่ใช้กันอยู่มีหลายรูปแบบ ซึ่งการนำมาใช้งานขึ้นอยู่กับราคา ความแข็งแรงความสามารถในการเข้ากันได้กับเรซิน (Matrix) และขบวนการผลิตเส้นใยแก้วได้มาจากการดึงแก้วที่หลอมเหลวให้เป็นเส้นใย (Filament) และรวมเส้นใยในลักษณะของเกลียว (Strand) แต่บางครั้งก็จะเป็นการใช้โดยไม่ต้องทำเป็นเกลียวเช่น glass fiber surfacing tissue

เส้นใยแก้วที่อยู่ในลักษณะเกลียวจะเคลือบด้วยไซต์ (Size) ซึ่งไซต์ที่ใช้มี 2 ชนิด ถ้าเกลียวของใยแก้วที่ใช้ในการทอเป็นผืน (fabric) เป็นแบบทวิสต์ (Twisted) หรือดับเบิล (Doubled) จะใช้ไซต์ที่เป็นแป้ง/น้ำมัน (Starch/Oil Size) ในการยัดเส้นใยในเกลียวไว้ด้วยกันและช่วยในการหล่อลื่นในขั้นตอนการถักเป็นผืน (Weaving Operation) แต่ถ้าเกลียวของใยแก้วที่ใช้ผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว เช่น ซอบสเตรนแมท (Chopped Strand Mat) และวูฟเวนรูฟวิ่ง (Woven Roving) ไซต์ที่ใช้คือพอกไบน์เดอร์ (Binder) เช่น พอลิไวนิลอะซีเตดอิมัลชัน (Polyvinyl acetate Emulsion) ซึ่งช่วยในการยึดกันของใยแก้วกับพอลิเมอร์ในการขึ้นรูป

เส้นใยแก้วเสริมแรงมีหลายชนิดดังต่อไปนี้

### 2.2.1 Continuous Strand Mat

คือ เส้นใยสายตรงที่อยู่รวมกันเป็นม้วนทรงกระบอก ซึ่งอาจจะมีการปรับแต่งผิวด้วยเรซินชนิดต่างๆ โดยขบวนการแตกต่างกันเส้นใยแก้วเสริมแรงชนิดนี้สามารถนำไปผ่านขบวนการผลิตได้ง่ายเพราะเรซินสามารถแทรกตัวเข้าไปในระหว่างเส้นใยได้ง่าย สามารถทนแรงขัดถูระหว่างขบวนการผลิตได้ดี และสามารถตัดและนำไปกระจายตัวอยู่ในเรซินระหว่างการขึ้นรูปได้ด้วย เส้นใยชนิดนี้ให้คุณสมบัติทางเชิงกลดีมาก

### 2.2.2 Woven Roving

คือ เส้นใยแก้วถักที่สามารถถักทอได้เหมือนผ้าแต่หยาบทำมาจาก Continuous Strand Roving ซึ่งมีความกว้าง ความหนา น้ำหนักและความแข็งแรงใน ทิศทางการเรียงตัวแตกต่างกันหลายขนาด เส้นใยชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง ในการขึ้นรูปขนาดใหญ่และมีราคาถูกกว่า Woven Fabrics

### 2.2.3 Woven Fabrics

คือ โยแก้วที่มีขนาดเล็กมากและคุณสมบัติ ความกว้างและความยาวอยู่ในช่วง กว้างน้ำหนักมีตั้งแต่ 2.5 ออนซ์จนถึง 40 ออนซ์ต่อตารางหลา ความหนาอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.035 นิ้ว ถึง 0.048 นิ้ว และมีความแข็งแรงในการเรียงตัวหลายทิศทาง

#### 2.2.4 Surfaceing Mat หรือ Veil

คือ การใช้ร่วมกับ Reinforcing Mat เพื่อให้พื้นผิวของผลิตภัณฑ์เรียบ และใช้เป็น ชั้นที่อยู่ภายในของพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้วประเภทที่ทนต่อการขูดถู เพื่อให้พื้นผิวมี เรซินอยู่บนและเรียบ

#### 2.2.5 Reinforcing Mat แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

##### 2.2.5.1 Chopped Strand Mat

##### 2.2.5.2 Continuous Strand Mat

ซึ่งแผ่นใยแก้วทั้ง 2 ชนิดนี้จะวางนอนอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ และถูกยึดกันไว้ด้วยตัว เชื่อม (Binder) ซึ่งแผ่นใยแก้วเสริมแรงประเภทนี้จะถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรง ปานกลาง แผ่นใยแก้วเสริมแรงทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีน้ำหนักตั้งแต่ 0.75-4.5 ออนซ์ต่อตารางฟุต และมีความกว้างหลายขนาด

#### 2.2.6 Combination Mat

เนื่องจากการเรียงตัวเป็น 2 ทิศทางของ Woven Roving และมีการเรียงตัว ใน หลายทิศทางของ Chopped Strand Mat และยังสามารถช่วยประหยัดเวลาในการทำการ ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือ เพราะชิ้นงานจะมี 2 ชั้นในการทำครั้งเดียว

#### 2.2.7 Chopped Fiber

คือใยแก้วที่มีความยาวตั้งแต่ 1/8 ถึง 2 นิ้ว โยแก้วชนิดนี้จะถูกนำไปผสมกับ เรซินและสารเติมแต่งอื่นๆ Chopped Strand Fiberglass Reinforcement สามารถนำไปปรับปรุง พื้นผิวเพื่อทำให้สามารถเข้ากันกับเทอร์โมเซตหรือเทอร์โมพลาสติกซึ่งขึ้นกับขบวนการ ผลิต Chopped Strand Reinforcement ที่มีขนาดสั้น ๆ จะมีความเหมาะสมในการผสมกับ เทอร์โมพลาสติก เพื่อนำไปใช้กับการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Moulding) ส่วนชนิดที่มีความยาว มากกว่าก็จะใช้กับเทอร์โมเซตเรซิน เพื่อนำไปใช้กับ Compression และ Transfer Moulding

### 2.2.8 Milled Fiber

คือเส้นใยที่มีความยาวตั้งแต่  $1/3$  ถึง  $1/8$  นิ้ว ใยแก้วลักษณะนี้ถูกใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นส่วนเทอร์โมพลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงไม่มากนัก เพราะใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงด้วย

## 2.3 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fiber Reinforce Plastics)

พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วประกอบด้วย เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) ที่อยู่รวมกันด้วย พอลิเมอร์โดยทั่ว ๆ ไป เส้นใยแก้วจะอยู่ในลักษณะเป็นแผ่น (Mat) ทอเป็นผืน (Fabric) หรือ เป็นเกลียวสั้นและพอลิเมอร์ที่ใช้คือ เทอร์โมเซตติ้งเรซิน (Thermosetting Resin) ซึ่งชนิดที่นิยม ใช้คือ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ได้จะมีสมบัติคือ มีความเหนียวและแข็งแรงสูง

ส่วนประกอบของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีดังต่อไปนี้

### 2.3.1 เส้นใยแก้ว (Glass Fiber)

เส้นใยแก้วได้มาจากการดึงแก้วที่หลอมให้เป็นเส้นใย (Filament) และรวมเส้นใย เหล่านั้นเข้าด้วยกันในลักษณะของเกลียว (Strand) แต่บางครั้งก็จะใช้โดยไม่ต้องทำเป็นเกลียว เช่น Glass Fiber Surfacing Tissue

เส้นใยแก้วที่ใช้มีหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่ที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

#### 2.3.1.1 Woven Roving

#### 2.3.1.2 Woven Fabrics

#### 2.3.1.3 Surfacing Tissue

#### 2.3.1.4 Chopped Strand Mat

#### 2.3.1.5 Combination Mat

#### 2.3.1.6 Roving

#### 2.3.1.7 Chopped Fiber

#### 2.3.1.8 Milled Fiber

### 2.3.2. เทอร์โมเซตติ้งเรซิน (Thermosetting Resin)

พอลิเมอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว ซึ่งได้มาจากไกล คอลและไดเบสิกแอซิด พอลิเอสเทอร์ที่ได้มักจะละลายในสไตรีนมอนอเมอร์ เพื่อเป็นการลด ความหนืดและช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Crosslink)

ในการขึ้นรูปทำได้ 2 แบบ คือ ขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซึ่งเป็นการเติมตัวเร่งแล้วให้ ความร้อนจนถึง 120-150 องศาเซลเซียส แล้วจึงเกิดพันธะเชื่อมโยงขึ้น และแบบขึ้นรูปโดยไม่ ใช้ความร้อนจะเป็นการเติมตัวเร่งและตัวริเริ่ม ซึ่งที่ส่วนใหญ่คือ เมทิลเททิลคีโตนเพอร์ออก

ไซต์ และ โคบอลต์แนฟทีเนต ตามลำดับ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะคายความร้อนสูง

ในการเกิดปฏิกริยาเชื่อมโยงหรือขึ้นรูปมี 3 ลำดับชั้นดังนี้

1. ชั้นเริ่มเกิดเจล
2. ชั้นเกิดพันธะเชื่อมโยง ทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น
3. ชั้นเกิดพันธะเชื่อมโยงสูงสุด

การควบคุมความเร็วในการขึ้นรูปทำได้โดย ควบคุมปริมาณและชนิดของตัวเร่ง ตัวริเริ่ม และอุณหภูมิ

### 2.3.3 วิธีในการขึ้นรูป

การขึ้นรูปพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว เป็นการนำพอลิเอสเทอร์เรซินมารวมกับเส้นใยแก้ว เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ ซึ่งวิธีที่ใช้มีดังต่อไปนี้

#### 2.3.3.1 การขึ้นรูปด้วยมือ (Hand Lay-Up)

การขึ้นรูปด้วยมือเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว เป็นการขึ้นรูปโดยใช้พอลิเอสเทอร์เรซินที่เติมตัวเร่งและตัวริเริ่มแล้ว และวางใยแก้วเป็นชั้นสลับกัน ใช้ลูกกลิ้งกลิ้งทับให้เรียบและแนบกับแม่แบบ ไลฟองอากาศให้หมด ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดพันธะเชื่อมโยงสูงสุด แกะชิ้นงานออกจากแม่แบบจะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะตามต้องการ

การใช้วิธีนี้จะทำได้ง่ายแต่ใช้เวลานานและเป็นวิธีที่ต้องใช้ความชำนาญสูงจึงจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

#### 2.3.3.2 การขึ้นรูปโดยให้การพ่น (Spray-Up Method)

วิธีการนี้เส้นใยแก้วและพอลิเอสเทอร์เรซินจะถูกพ่นลงบนแม่แบบพร้อมกัน ซึ่งในส่วนของเรซินจะผสมตัวริเริ่มเอาไว้แล้ว และมีการฉีดสารตัวเร่งเข้าไปในส่วนหัวของเครื่องฉีดเรซิน การใช้วิธีนี้ทำให้สามารถ

#### 2.3.3.3 การขึ้นรูปด้วยการฉีด (Resin Injection)

วิธีการนี้ใช้กับแม่พิมพ์ (Matched Mould) คือแม่แบบที่ประกอบด้วยแม่แบบตัวผู้และแม่แบบตัวเมีย ซึ่งแม่แบบที่ใช้จะต้องแข็งแรงมาก เนื่องจากในการฉีดเรซินต้องใช้แรงดันในการฉีดสูง

วิธีนี้มักใช้กับแผ่นใยแก้วแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะวางอยู่บนแม่แบบด้านหนึ่ง สารริเริ่มและสารตัวเร่งจะถูกผสมกับเรซินในส่วนที่เตรียมเรซินเพื่อการฉีด (Resin Injection Unit) จากนั้นแม่แบบตัวผู้จะถูกกดลงมา ในการฉีดจะใช้เวลาไม่กี่นาที เนื่องจากระบบการสุกตัวที่รวดเร็ว การใช้วิธีนี้จะทำให้ผิวทั้ง 2 ด้านของชิ้นงานเรียบมีฟองอากาศน้อย การขึ้นชิ้นงานรวดเร็ว และสามารถใช้กับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ แต่วิธีนี้มีราคาสูง

#### 2.3.3.4 การขึ้นรูปโดยใช้การอัดเย็น (Cold Press Moulding)

วิธีการนี้ใช้กับแมชเมลเช่นกันแต่ความดันที่ใช้ในการกดอัดลงมาค่อนข้างต่ำคือประมาณ 1 บาร์

วิธีนี้มักใช้กับแผ่นใยแก้วแบบต่อเนื่อง ซึ่งแผ่นใยแก้วจะถูกตัดเป็นรูปของแม่แบบตัวเมียแล้ววางลงบนแม่แบบนั้น เรซินที่ผสมสารตัวเร่ง และสารริเริ่มจะถูกเทลงบนแผ่นใยแก้วแม่แบบตัวผู้จะถูกกดลงมาจนสนิท เรซินที่ผสมสารริเริ่มและสารตัวเร่งแล้วจะเกิดการสุกตัวแบบคายความร้อน อุณหภูมิจะสูงขึ้นจนถึงสมดุล คือประมาณ 40 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสุกตัวประมาณ 20 นาที วิธีการนี้มีข้อดีเช่นเดียวกับการขึ้นรูปโดยใช้การฉีด แต่วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับ แม่แบบที่รูปร่างธรรมดาเท่านั้น และแม่แบบที่ใช้มีราคาสูง

#### 2.3.3.5 การขึ้นรูปโดยการอัดร้อน (Hot Press Moulding)

วิธีการนี้ใช้กับแม่แบบเหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูงมาก เพราะต้องใช้ความดันสูงถึง 50-70 บาร์

สารที่ใช้ในการขึ้นรูปมี 2 ชนิด ได้แก่

1. Dough Moulding Compound (DMC) คือพอลิเอสเตอร์เรซินที่ผสมสารตัวเร่ง เส้นใยแก้วและสารตัวเติมแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของ Dough

2. Sheet Moulding Compound (SMC) มีลักษณะคล้าย DMC แต่มีเส้นใยแก้วยาวกว่า และปริมาณแก้วมากกว่า ซึ่งจะอยู่ในรูปเป็นแผ่นต่อเนื่องเป็นม้วน

ในการขึ้นชิ้นงานจะตัด SMC ในขนาดที่เหมาะสมแล้ววางลงบนแม่แบบ จากนั้นปิดแม่แบบแล้วให้ความร้อนในการสุกตัวประมาณ 150 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้คือ 1 นาทีต่อความหนา 1 มิลลิเมตร

การใช้วิธีนี้ทำให้ชิ้นงานที่ได้ มีผิวเรียบทั้งสองด้าน ความหนาคงที่และสามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วแต่แม่แบบมีราคาสูง

## 2.4 การหาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat)

เพื่อนำไปเป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใสที่ผลิตในโรงงานพิเศษนี้ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

1. วัสดุเสริมแรง คือ แผ่นใยแก้ว ( Chopped Strand Mat )
2. พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว ( Unsaturated Polyester Resin )

โดยหลักการที่ใช้ในการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส คือ สังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับของแผ่นใยแก้ว

เนื่องจากแผ่นใยแก้วเป็นของแข็ง จึงไม่สามารถหาค่าดัชนีหักเหของแสงโดยใช้แอปเบร์รีเฟลกโตมิเตอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธี เบคเคอร์ไลน์ ( Beckeline test ) โดยมีหลักการดังนี้

### 2.4.1 ความหมายของคำว่าดัชนีหักเหของแสง

ดัชนีหักเหของแสง คือ อัตราส่วนของความเร็วแสงในอากาศต่อความเร็วแสงในวัสดุโปร่งใส ซึ่งดัชนีหักเหของแสงเป็นค่าคงที่ทางกายภาพที่ใช้อธิบายสปีชีส์ คุณสมบัติไม่จำเพาะ เพราะสารบางชนิดมีดัชนีหักเหของแสงเท่ากันที่ความยาวคลื่นและอุณหภูมิที่กำหนดให้ การวัดค่าดัชนีหักเหของแสงหาได้จากการวัดกาเปลี่ยนทิศทาง หรือการหักเหของลำรังสีที่วิ่งมาในแนวขนานขณะนี้ผ่านตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$v_1$  คือ ความเร็วของรังสีในตัวกลางที่โปร่ง

$v_2$  คือ ความเร็วของรังสีในตัวกลางที่ทึบ

$n_1$  และ  $n_2$  คือดัชนีหักเหของสารละลายทั้งสองชนิด

$\theta_1$  และ  $\theta_2$  คือมุมตกกระทบและมุมหักเหของรังสี

#### 2.4.2.วิธีเบคเกอร์ไลน์ ( Beckeline Test )

วิธีเบคเกอร์ไลน์ คือ การหาค่าดัชนีหักเหของแสงของของแข็ง ทำโดยหาคู่สารเคมีที่เหมาะสม 2 ชนิดเพื่อผสมกันแล้วได้ค่าดัชนีหักเหของของแข็งที่ต้องการหาโดยสารเคมีคู่นั้นต้องสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ จากนั้นนำของแข็งที่ต้องการแช่ในสารละลายแล้วสังเกตรอยต่อระหว่างสารละลายกับของแข็งว่าเห็นหรือไม่ ถ้าไม่เห็นรอยต่อแสดงว่าค่าดัชนีหักเหของแสงของของแข็งกับของสารละลายมีค่าเท่ากัน แล้วนำสารละลายนั้นไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงโดยเครื่อง แอบเบ รีแฟคโตมิเตอร์ (Abbe Refractometer) จะได้ค่าดัชนีหักเหของสารละลาย ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าดัชนีหักเหของแสงของของแข็ง

## บทที่ 3

### การทดลอง

**การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ**

3.1 หาค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat) โดยใช้วิธี เบคเกอร์ไลน์ (Beckeline Test)

3.2 สังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นเส้นใยแก้ว

3.3 การผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Plastic)

3.4 การหาคุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**3.1 การหาค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของแผ่นใยแก้ว (Chopped Strand mat) โดยใช้วิธีเบคเกอร์ไลน์ (Beckeline Test)**

3.1.1 ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์

1 แอบเบ่ รีแฟลคโตมิเตอร์ (Abbe Refractrometer)

2 ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร 5 ใบ

3 บิวเรต 10 มิลลิลิตร 1 อันพร้อมขาตั้ง

4 แท่งแก้วคน

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1 น้ำ

2 เอทานอล (Ethanol)

3 อะนิซอลดีไฮด์ (Anisaldehyde)

4 เบนซิลโบรไมด์ (Benzyl Bromine)

5 2-โบรโม เบนซอลดีไฮด์ (2-Bromo Benzaldehyde)

6 คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide)

7 3-คลอโรอะนิลีน (3-Chloroaniline)

8 ออโท-คลอโรฟีนิล (o-Chlorophenol)

9 แผ่นใยแก้ว (Chopped Strand Mat)

### 3.1.3 วิธีและขั้นตอนการทำการทดลอง

- 1 หาดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้วโดยประมาณเพื่อใช้ในการประมาณค่าดัชนีหักเหของคู่สารเคมีที่ใช้ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แก้วชิงค์คราวน์ (Zinc Crown Glass) ในการประมาณ ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของแสงประมาณ 1.547
- 2 หาสารเคมี 2 ชนิด ที่มีดัชนีหักเหของแสงมากกว่าและน้อยกว่าดัชนีหักเหของแสงของแก้ว ในข้อ 1.1 โดยที่สารเคมีทั้ง 2 ชนิดต้องสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และคู่สารเคมีนี้ต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับแผ่นใยแก้ว
- 3 ตัดแผ่นใยแก้วให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 ตารางเซนติเมตร 5 แผ่น
- 4 เลือกสารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่งตวงปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์เตรียมไว้ 5 ชุด การทดลอง
- 5 นำแผ่นใยแก้วที่เตรียมไว้ ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.4
- 6 ไทเทรตด้วยสารเคมีอีกชนิดหนึ่ง จนกระทั่งมองไม่เห็นแผ่นใยแก้วอยู่ในสารละลาย
- 7 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงโดยใช้เครื่อง แอบเบ รีแฟลคโตมิเตอร์ (Abbe Refractrometer)
- 8 นำค่าดัชนีหักเหของแสงที่ได้จากแต่ละชุดทดลองมาหาค่าเฉลี่ย

### 3.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซิน ให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นเส้นใยแก้ว

#### 3.2.1 ชุดเครื่องมืออุปกรณ์

1. ขวดก้นกลมสี่คอ (Reaction Flask)
2. เปลือกหุ้มแกนกวนสารชนิดที่มีกลีเซอรอลป้องกันการระเหยของสาร
3. จุกพาราฟิน
4. แกนกวนสารที่เป็นสแตนเลส
5. เครื่องควบแน่น (Condenser)
6. เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา (Dean Stark)
7. พรอทวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
8. ท่อนำก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen-Inlet Tube)
9. เครื่องกวนเชิงกล (Mechanic Stirrer)
10. เต้าเป็นแม่เหล็ก (Heating Mantle)
11. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
12. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
13. เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นในห้องปฏิบัติการเช่น บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่

กรวยแก้ว บิวเรต แท่งแก้วคน เป็นต้น

#### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟาทาลิกแอนไฮไดรไรด์ (Phthalic Anhydride)
2. มาลิกแอนไฮไดรไรด์ (Maleic Anhydride)
3. พรอพรีนไกลคอล (Propylene Glycol)
4. สไตรีน มอโนเมอร์ (Styrene Monomer)
5. เมทิลเมทาคริเลต มอโนเมอร์ (Methyl Methacrylate Monomer)
6. ทอลูอีน (Toluene)
7. ไตรฟีนิล ฟอสไฟต์ (Tri-phenyl Phosphite , TPP)
8. พอลิโซลเวนท์ (Polysolvent)
9. พอลิอินดิเคเตอร์ (Polyindicator)

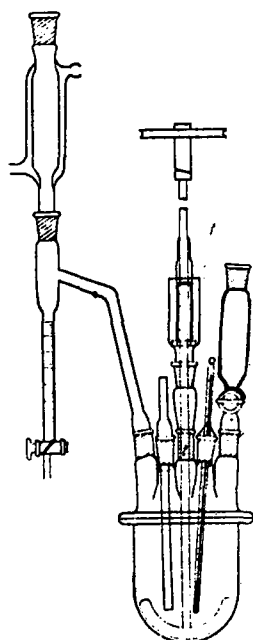
10. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)
11. ไดบิวทิล ฟทาเลต (Dibutyl Phthalate , DBP)
12. ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone)
13. พารา-เทอเทียรี บิวทิลแคตทีคอล (Para-Tertiary Butyl Catechol)
14. คอปเปอร์แนฟทีเนต (Copper Naphthechol)
15. เอทิล อัลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)

### 3.2.3 วิธีและขั้นตอนของการทดลอง

ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการเตรียมพอลิเอสเตอร์เรซิน และการทดสอบสมบัติของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

#### 1. ขั้นตอนการเตรียมพอลิเอสเตอร์เรซิน

##### 1.1 จัดเครื่องมือตามรูป



แสดงการจัดเครื่องมือเพื่อสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซิน

1.2 ซังฟาทาลิกแอนไฮดรายด์ มาลิกแอนไฮดรายด์ พรอพรีนไกลคอล และ ไตรฟีนิลฟอสไฟด์ เท่ากับ 310 กรัม 265 กรัม 0.24 กรัม ตามลำดับด้วยเครื่องชั่งอย่างละเอียด 2 ตำแหน่ง เติมลงในหม้อกวนปฏิกิริยาที่มีเครื่องกวนเชิงกลประกอบอยู่พร้อมที่จะใช้งาน

1.3 เติมน้ำและทอลูอินลงในเครื่องวัดปริมาณน้ำ (Dean Stark) 10 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ และชั่งทอลูอินใส่ปิ๊กเกอร์ 20 มิลลิลิตร

1.4 กวนสารที่อยู่ในหม้อกวนปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง เปิดให้ก๊าซไนโตรเจนผ่านที่ในส่วนผสมอย่างช้า ๆ ตลอดเวลา (ต้องให้ปลายท่อนำก๊าซไนโตรเจนจุ่มอยู่ในสารเล็กน้อย) เป็นเวลา 30 นาที

1.5 เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 100 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 นาทีแล้วหยุดการให้ความร้อน ในระหว่างนี้จะเกิดการคายความร้อนของปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น 20-30 องศาเซลเซียส

1.6 เมื่ออุณหภูมิไม่ขึ้นต่อไปอีกและเริ่มลดลงจึงเริ่มเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 160 องศาเซลเซียสภายในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ในระหว่างนี้จะมีน้ำที่เกิดจากการดำเนินไปของปฏิกิริยาระเหยออกมา และควบแน่นอยู่ในเครื่องวัดปริมาณน้ำทางด้านบนของเครื่องควบแน่นเพื่อรักษาปริมาตรของสารให้คงเดิมซึ่งจะต้องรักษาปริมาตรให้คงเดิมนี่ตลอดปฏิกิริยา

1.7 เพิ่มอุณหภูมิจาก 160 องศาเซลเซียสจนถึง 205 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงจากนั้นรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 205 องศาเซลเซียสตลอดจนกระทั่งหยุดปฏิกิริยา

1.8 ทำการทดสอบพอลิเอสเทอร์เรซินทุก 45 นาที จนกระทั่งได้ค่าความเป็นกรดประมาณ 46-48 และมีความหนืดที่วัดได้จากเครื่อง gardner ประมาณ 7-9 วินาที จึงหยุดการทดสอบ

1.9 หยุดการให้ความร้อนแต่ยังคงทำการปั่นกวนในบรรยากาศของไนโตรเจนต่อไป จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึง 110 องศาเซลเซียส เติมไดบิวทิลพาทาเลต ไฮโดรควิโนน และ ไตรฟีนิล ฟอสไฟด์ เท่ากับ 0.5 กรัม 0.039 กรัม และ 0.24 กรัม ตามลำดับ

1.10 เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 80-90 องศาเซลเซียส เติมพาราเทอเทียรีบิวทิลแคตทีคอล คอปเปอร์เนพทีเนต และสไตรีนโมโนเมอร์ เท่ากับ 0.063 กรัม 0.009 กรัม และ x กรัม ตามลำดับ

1.11 เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 40 องศาเซลเซียส เติมเมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ y กรัม

1.12 หยุดการปั่นกววนและการไหลของไนโตรเจน บันทึกปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบ

หมายเหตุ: x และ y เป็นตัวแปรซึ่งมีวิธีคำนวณดังนี้

x คือ ปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์ที่ใส่ลงในพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

y คือ ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใส่ลงในพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย

1. ทำการตั้งอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของสไตรีนต่อเมทิลเมทาคริเลตที่เหมาะสมซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ประมาณขึ้น เพื่อดูผลค่าดัชนีหักเหของแสงของเรซินที่สังเคราะห์ได้ เช่น ใช้สไตรีน 88 เปอร์เซ็นต์ และเมทิลเมทาคริเลต 12 เปอร์เซ็นต์

2. เนื่องจากในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินที่เหมาะสมควรมีปริมาณตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งในที่นี้ หมายถึง ปริมาณสไตรีนและเมทิลเมทาคริเลตคิดเป็น 34 เปอร์เซ็นต์ (มีส่วนที่เป็นเนื้อพอลิเอสเทอร์ (Solid Content) 66 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเนื้อพอลิเอสเทอร์เราสามารถคำนวณได้จาก

เนื้อพอลิเอสเทอร์ = นน. ฟาทาลิกแอนไฮดรายด์ + นน. มาลิกแอนไฮดรายด์ + นน. พรอพิรีนไกลคอล - นน. น้ำที่ควบแน่นหลังจากเกิดปฏิกิริยาควบแน่นสมบูรณ์

3. ดังนั้นถ้ามีพอลิเอสเทอร์เรซิน 100 กรัม ในปริมาณนี้จะต้องประกอบด้วยเนื้อพอลิเอสเทอร์ 66 กรัม และปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาคริเลต 34 กรัม

4. จากที่ตั้งอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ไว้ในข้อ 1 ต้องมีสไตรีนคิดเป็น 88 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาคริเลตทั้งหมด ดังนั้นจะคำนวณได้ดังนี้

ปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาไครเลต 100 กรัม จะมีปริมาณสไตรีน 88 กรัม  
 ปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาไครเลต 34 กรัม จะมีปริมาณสไตรีน  $\frac{88 \times 34}{100}$  กรัม

เพราะฉะนั้นมีปริมาณสไตรีน 29.92 กรัม

ปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาไครเลต 100 กรัม จะมีปริมาณเมทิลเมทาไครเลต 12 กรัม

ปริมาณสไตรีนรวมกับเมทิลเมทาไครเลต 34 กรัม จะมีปริมาณเมทิลเมทาไครเลต  $\frac{12 \times 34}{100}$  กรัม

เพราะฉะนั้นมีปริมาณเมทิลเมทาไครเลต 4.08 กรัม

ดังนั้นถ้ามีพอลิเอสเตอร์เรซิน 100 กรัม จะมีสไตรีน 29.92 กรัม และเมทิลเมทาไครเลต 4.08 กรัม

5. ปริมาณสไตรีนและเมทิลเมทาไครเลตที่ใช้จริง จะต้องนำไปเทียบกับน้ำหนักของเนื้อพอลิเอสเตอร์ที่หาได้จริงในข้อ 2 ตัวอย่างเช่น

ถ้าเนื้อพอลิเอสเตอร์ = 650 กรัม

ดังนั้นสามารถหาปริมาณสไตรีนและเมทิลเมทาไครเลตได้ดังนี้

ถ้ามีเนื้อพอลิเอสเตอร์ 100 กรัม จะต้องใช้สไตรีน 29.92 กรัม

ถ้ามีเนื้อพอลิเอสเตอร์ 650 กรัม จะต้องใช้สไตรีน  $\frac{29.92 \times 650}{100} = 194.48$  กรัม

หมายเหตุ เนื่องจากในการทดสอบค่าความเป็นกรดได้มีการดูดพอลิเอสเตอร์ไปใช้ในการทดสอบ ดังนั้นน้ำหนักสไตรีนที่คำนวณได้ข้างต้นต้องนำไปลบออกจากจำนวนสไตรีนที่ใส่ลงไปในตอนทดสอบค่าความเป็นกรด

ตัวอย่างเช่น ทดสอบค่าความเป็นกรด 3 ครั้ง ใช้สไตรีนแต่ละครั้งดังนี้ 5.1, 5.3, 5.2 กรัม ดังนั้นปริมาณสไตรีนทั้งหมดเท่ากับ 15.6 กรัม

ฉะนั้นปริมาณสไตรีนที่เติมจริง  $194.48 - 15.6 = 178.88$  กรัม

หาปริมาณเมทิลเมทาโครเลต

มีเนื้อพอลิเอสเทอร์ 100 กรัม จะต้องใช้เมทิลเมทาโครเลต	4.08	กรัม
มีเนื้อพอลิเอสเทอร์ 650 กรัม จะต้องใช้เมทิลเมทาโครเลต	4.08X650	กรัม
	100	

เพราะฉะนั้นต้องใช้เมทิลเมทาโครเลต 26.529 กรัม

ดังนั้น X ที่คำนวณได้ คือ 194.48 กรัม

Y ที่คำนวณได้ คือ 26.52 กรัม

## 2. การทดสอบคุณสมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิมิตัว

ในการติดตามความก้าวหน้าของปฏิกิริยาสามารถกระทำได้อย่างง่ายดายโดยนำไปหาค่าความเป็นกรดและวัดความหนืดของพอลิเอสเทอร์เรซิน การเตรียมตัวอย่างพอลิเอสเทอร์เรซินในการทดสอบทำได้โดย ดูดพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากหม้อกวนปฏิกิริยาประมาณ 10 กรัม ทุก ๆ 45 นาที จากนั้นนำมาละลายในสไตรีนมอโนเมอร์เพื่อให้พอลิเอสเทอร์เรซินมีเนื้อพอลิเอสเทอร์ (Solid Content) 66 เปอร์เซ็นต์ คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งสารละลายพอลิเอสเทอร์เรซินที่เตรียมได้ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำไปหาค่าความเป็นกรดและวัดความหนืดดังต่อไปนี้

### 2.1 การหาความเป็นกรด (Acid Value)

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา ซึ่งมีวิธีดังต่อไปนี้ซึ่งสารละลายพอลิเอสเทอร์เรซินประมาณ 2 กรัมบนที่ก้นน้ำหนักสารละลายที่ชั่งได้ เติมพอลิโซลเวนท์ (Polysolvent) 50 มิลลิลิตรคนให้เข้ากันนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอลใช้พอลิอินดิเคเตอร์เป็นตัวชี้บ่งจุดยุติ โดยจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีม่วง ค่าความเป็นกรดคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{\text{ปริมาตร KOH ที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้น KOH} \times 56.1}{\text{น้ำหนักพอลิเอสเทอร์}}$$

ค่าความเป็นกรดที่ได้นี้คือค่าความเป็นกรดของพอลิเอสเทอร์เรซินที่มีเนื้อพอลิเอสเทอร์

66 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความเป็นกรดที่ใช้ในการทดสอบเป็นค่าความเป็นกรดที่มีเนื้อพอลิเอสเทอร์ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น

$$\text{ค่าความเป็นกรดที่ใช้ทดสอบ} = \frac{\text{ค่าความเป็นกรดที่ 66 เปอร์เซ็นต์}}{0.66}$$

หมายเหตุ พอลิโซลเวนต์ (Polysolvent) คือ สารละลายที่ประกอบด้วยทอลูอีน 7 ส่วนและเมทานอล 3 ส่วน

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักสารละลายพอลิเอสเทอร์เรซินที่ใช้ 2.050 กรัม

ความเข้มข้นของ KOH 0.110 นอร์มอล

ปริมาตรของ KOH ที่ใช้ในการไทเทรต 12.480 มิลลิลิตร

$$\text{ดังนั้นค่าความเป็นกรด} = \frac{12.480 \times 0.110 \times 56.1}{2.050}$$

$$= 37.568$$

$$\text{ดังนั้นค่าความเป็นกรดที่ใช้ทดสอบ} = \frac{37.568}{0.66}$$

$$= 56.921$$

## 2.2 การหาค่าความหนืด (Viscometer)

เป็นการติดตามความก้าวหน้าของปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่ง โดยใช้วิธี Bubble Viscometer ในการทดลองนี้เลือกใช้มาตรฐานของ Gardner Viscometer Comparator ซึ่งทำได้โดยนำสารละลายพอลิเอสเทอร์ใส่ Gardner Sampletube จนถึงขีดกลางที่ใช้บอกระดับ ปิดจุกให้สนิทแล้วคว่ำหลอดลง เทียบเวลาที่ฟองอากาศใช้ในการเคลื่อนที่กับ Gardner Standard Tube ซึ่งเวลาที่ใช้เป็นมาตรฐาน 7-9 วินาที

### 3.3การผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fibre Reinforced Plastic,GRP)

พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ แผ่นใยแก้ว และ พอลิเอสเตอร์เรซินหรือเรียกอีกอย่างว่าเมตริกซ์ในส่วนของเมตริกซ์เราต้องทำการหาเวลาที่ใช้ในการสุกตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน(Cure time) เพื่อที่จะได้รู้ถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว ดังนั้นในการผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาเวลาที่ใช้ในการสุกตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน และการผลิตชิ้นงานพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยใช้เทคนิคการทำมือ (Hand Lay-Up Technique) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 การหาเวลาที่ใช้ในการสุกตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน (Cure Time)

##### 3.3.1.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับทำให้สุกตัว

1. พอลิเอสเตอร์เรซินที่เตรียมได้ในข้อ 3.2.3
2. โคบอลต์แนฟทีเนต (1เปอร์เซ็นต์)
3. เมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์

##### 3.3.1.2 วิธีและขั้นตอนการทำการทดลอง

ชั่งน้ำหนักเรซิน 50 กรัม เติม 1 เปอร์เซ็นต์โคบอลต์แนฟทีเนตลงไป 1เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเรซินเท่ากับ 0.5 กรัม กวนให้เข้ากัน จากนั้นปรับอุณหภูมิของเรซินเป็น 20 องศาเซลเซียส โดยนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อได้เรซินที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เติมเมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเรซินเท่ากับ 1 กรัม กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ บันทึกค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เวลาในการเปลี่ยนเป็นเจล (Gel Time) หมายถึง เวลาที่เกิดเจลนับตั้งแต่เริ่มกวนสารหลังจากเติมเมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์จนกระทั่งเกิดเจล

เวลาการสุกตัว (cure time) หมายถึง เวลาตั้งแต่เริ่มต้นกวนเรซินหลังจากเติมเมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์ จนกระทั่งเรซินให้ค่าความร้อนสูงสุดคายออกมา

ความร้อนสูงสุดที่คายออกมา (peak exotherm) หมายถึง ความร้อนสูงสุดที่เรซินคายออกมาในระหว่างการแข็งตัว

### 3.3.2 การผลิตชิ้นงานพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยใช้เทคนิคการทำมือ (Hand Lay-Up Technique)

#### 3.3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. พู่กัน
2. ลูกกลิ้ง
3. ลูกกลิ้งร่อง
4. แม่แบบ แม่แบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีน 2 แผ่น
5. แท่งแก้ว
6. บีกเกอร์
7. เข็มฉีดยา

#### 3.3.2.2 สารเคมี

1. แผ่นใยแก้ว
2. 1 เบอร์เซนต์โคบอลต์แนฟทีเนต
3. เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์
4. พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดที่เตรียมได้

#### 3.3.2.3 การเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินที่ใช้ในการทำพลาสติกชนิดเสริมแรง

ซึ่งนำหนักแผ่นใยแก้ว บันทึกไว้ จากนั้นชั่งน้ำหนักเรซินเป็น 2 เท่าของน้ำหนักแผ่นใยแก้วและเพิ่มเรซินอีกประมาณ 3 กรัม เพื่อเป็นส่วนสำรองเติม 1 เบอร์เซนต์โคบอลต์แนฟทีเนตและเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ลงในเรซินเท่ากับ 1 เบอร์เซนต์ของน้ำหนักเรซินทั้งหมดที่ซึ่งมา คนเบา ๆ ให้เข้ากันแล้วทำการขึ้นรูปทันที

#### 3.3.2.4 การขึ้นรูปแผ่นใยแก้วเสริมแรงโดยเทคนิคการทำมือ

นำแผ่นพลาสติกแม่แบบมาทำความสะอาดโดยเช็ดด้วยอะซิโตน (acetone) แล้วนำแผ่นใยแก้วที่เตรียมไว้มาวางบนแม่แบบใช้พู่กันจุ่มเรซินเคลือบลงบนแผ่นใยแก้วให้ทั่วทั้งแผ่นใช้ลูกกลิ้งแบบร่องกลิ้งบนแผ่นใยแก้ว เพื่อไล่ฟองอากาศและเกลี่ยเรซินบนแผ่นใยแก้วให้ทั่ว นำแม่แบบอีกชิ้นมาทาบบนแผ่นใยแก้วที่ถูกเคลือบด้วยเรซินแล้วใช้ลูกกลิ้งเรียบไล่อากาศออกจากแม่แบบให้หมดโดยใช้สายตาพิจารณาดูฟองอากาศอย่างละเอียด ตั้งแม่แบบทิ้งไว้รอจนแห้งสนิทแล้วแกะแม่แบบออก

### 3.4 การหาคุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว

คุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้วจะมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสไตรีนเมอโนเมอร์และเมทธิเมททาโครเลตมอโนเมอร์ ซึ่งการหาคุณสมบัติของพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้วนั้น ทำได้โดยการพิจารณาด้วยสายตาของผู้ทดสอบ โดยเน้นถึงการพิจารณาปริมาณเส้นใยแก้วที่มองเห็น และความใสของแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

**ส่วนที่ 1** หาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว ( chopped strand mat ) โดยใช้วิธี  
เบคเกอร์ไลน์ ( beckeline test )

**ตอนที่ 1** เลือกคู่สารเคมีที่เหมาะสมในการหาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว

**ครั้งที่ 1** เมื่อใช้น้ำเป็นสารเคมีหลัก.

น้ำมีค่าดัชนีหักเหของแสง ( $n_D^{20}$ ) เท่ากับ 1.33

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อนำน้ำผสมกับสารเคมีต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ค่าดัชนีหักเหของแสง ( $n_D^{20}$ )	ผลเมื่อผสมกับน้ำ
อะนิซอลดีไฮด์ ( Anisaldehyde )	1.571	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
เบนซิล โบรไมด์ ( Benzyl Bromide )	1.575	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
2 - โบรโม เบนซอลดีไฮด์ ( 2 - Bromo benzaldehyde )	1.596	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
คาร์บอนไดซัลไฟด์ ( Carbondisulfide )	1.627	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
3 - คลอโรอะนิลีน ( 3 - chloroaniline )	1.571	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
ออโท - คลอโรฟีนอล ( o - chlorophenol )	1.575	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

## ครั้งที่ 2 เมื่อใช้เอทานอลเป็นสารเคมีหลัก

เอทานอลมีค่าดัชนีหักเหของแสง ( $n_D^{20}$ ) เท่ากับ 1.359

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อนำเอทานอลผสมกับสารเคมีต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ค่าดัชนีหักเหของแสง ( $n_D^{20}$ )	ผลเมื่อผสมกับน้ำ
อะนิซอลดีไฮด์ ( Anisaldehyde )	1.571	ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ให้สารละลาย เป็นสีเหลือง
เบนซิล โบรไมด์ ( Benzyl Bromide )	1.575	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
2 - โบรโม เบนซอลดีไฮด์ ( 2 - Bromo benzaldehyde )	1.596	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
คาร์บอนไดซัลไฟด์ ( Carbondisulfide )	1.627	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
3 - คลอโรอะนิลีน ( 3 - chloroaniline )	1.571	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
ออโท - คลอโรฟีนอล ( o - chlorophenol )	1.575	แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

**ตอนที่ 2** หาอัตราส่วนปริมาตรที่เหมาะสมของกลุ่มสารเคมีที่ทำให้ไม่เห็นใยแก้วในสารละลาย  
 ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการสังเกตแผ่นใยแก้วในสารละลายของแต่ละอัตราส่วนปริมาตรระหว่าง  
 อะนิซอลดีไฮด์ : เอทานอล

อัตราส่วนปริมาตรระหว่าง อะนิซอลดีไฮด์ : เอทานอล	ผลจากการสังเกต
5 : 0.490	เห็นใยแก้วมาก
* 5 : 0.518	เห็นใยแก้วน้อยมาก
* 5 : 0.665	เห็นใยแก้วน้อยมาก
* 5 : 0.724	เห็นใยแก้วน้อยมาก
5 : 0.798	เห็นใยแก้วมาก

หมายเหตุ \* คือ อัตราส่วนที่นำไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการนำแต่ละอัตราส่วนปริมาตรที่เหมาะสมไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงโดยใช้ แอบเบรีแฟรกโตรมิเตอร์ ( Abbe refractrometer )

อัตราส่วนปริมาตร ระหว่าง อะนิซอลดีไฮด์ : เอทานอล	ค่าดัชนีหักเห			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
5 : 0.518	1.547	1.547	1.549	1.548
5 : 0.665	1.543	1.543	1.543	1.543
5 : 0.5724	1.543	1.540	1.541	1.541
			เฉลี่ย	1.544

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของค่าดัชนีหักเหของแสงของ พอลิเอสเตอร์เรซิน ในแต่ละอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของ สไตรีน และ เมทิลเมทาคริเลต

อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ ระหว่าง สไตรีน : เมทิลเมทาคริเลต	ค่าดัชนีหักเหของแสง			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
72 : 28	1.526	1.528	1.528	1.528
77 : 23	1.530	1.528	1.529	1.529
81 : 19	1.530	1.532	1.531	1.531
82 : 18	1.533	1.533	1.533	1.533
84 : 16	1.533	1.534	1.534	1.534
87 : 13	1.537	1.539	1.536	1.536
88 : 12	1.537	1.539	1.538	1.538
89 : 11	1.535	1.535	1.535	1.535
91 : 9	1.535	1.535	1.535	1.535
92 : 8	1.537	1.537	1.537	1.537
100 : 0	1.541	1.541	1.542	1.541

ตารางที่ 4.6 แสดงผลจากการสังเกตลักษณะของแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ขึ้นรูปโดยใช้ พอลิเอสเตอร์เรซิน ในแต่ละอัตราส่วนของ สไตรีน และ เมทิลเมททาไครเลท

อัตราส่วนระหว่าง สไตรีน เมทิลเมททาไครเลท ( % )	ลักษณะที่ปรากฏจากพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว
72 : 28	*
77 : 23	*
81 : 19	*
82 : 18	*
84 : 16	*
87 : 13	เห็นใยแก้วชัดเจน และส่วนที่เป็นเรซินใส
88 : 12	เห็นใยแก้วน้อยมาก ชิ้นงานมีลักษณะใส
89 : 11	เห็นใยแก้วมากขึ้น และส่วนที่เรซินเริ่มขุ่น
91 : 9	เห็นใยแก้วชัดเจน และส่วนที่เป็นเรซินขุ่น
92 : 8	เห็นใยแก้วชัดเจน และส่วนที่เป็นเรซินขุ่น
100 : 0	เห็นใยแก้วชัดเจน และส่วนที่เป็นเรซินขุ่น

หมายเหตุ \* เป็นสูตรพอลิเอสเตอร์เรซินที่มีค่าดัชนีหักเหต่างจากค่าดัชนีหักเหของแผ่นใยแก้วมาก จึงไม่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกเสริมใยแก้ว

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 หาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว โดยวิธีเบคเกอร์ไลน์ (Beckeline Test)

จากผลการทดลองสารเคมีคู่ที่ใช้ในการหาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว คือ

เอธานอล (Ethanol) ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของแสง = 1.359

อะนิซอลดีไฮด์ (Anisaldehyde) ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของแสง = 1.571

จากการทดลองหาโดยใช้เบคเกอร์ไลน์ ปรากฏว่า แผ่นใยแก้วมีค่าดัชนีหักเห = 1.544

#### 5.2 สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินให้มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว

จากผลการทดลองสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซิน 11 ครั้ง แล้วนำเรซินที่สังเคราะห์ได้นำไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงปรากฏว่า

ค่าดัชนีหักเหของแสงของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้ไม่สามารถทำให้เท่ากับค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว คือ 1.544 เพราะในการทดลองสังเคราะห์ครั้งสุดท้ายใช้สไตรีนเพียงอย่างเดียว แต่ผลการทดลองปรากฏว่าวัดค่าดัชนีของแสงของเรซินได้เพียง 1.541 เท่านั้น

#### 5.3 การผลิตพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยใยแก้ว และการทดสอบคุณสมบัติความใสของแผ่น

พลาสติกเส้นใยเสริมแรงด้วยวิธีพิจารณาด้วยสายตา

จากผลการทดลองนำเรซินที่มีอัตราส่วน 87 : 13 , 88 : 12 , 89 : 11 , 91 : 9 , 92 : 8 และ 100 : 0 มาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกเส้นใยเสริมแรง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. แผ่นพลาสติกเส้นใยเสริมแรงเมื่อนำมาพิจารณาในแต่ละอัตราส่วน ปรากฏว่าอัตราส่วน 88 : 12 เป็นเรซินที่ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเห็นเส้นใยแก้วน้อยมาก และอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้สามารถสรุปได้ คือ อัตราส่วน 88 : 12 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่อยู่ระหว่าง 87 : 13 และ 89 : 11 ซึ่งผลจากการพิจารณาปรากฏว่าทั้ง 2 อัตราส่วนเริ่มมองเห็นเส้นใยแก้วมากขึ้นทั้ง 2 อัตราส่วน ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราส่วน 91 : 9 และ 92 : 18 ร่วมด้วยก็จะสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วน 88 : 12 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ได้แผ่นพลาสติกเสริมใยแก้วได้มีความใสดีที่สุด

เนื่องจากเรซินสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน 72 : 18 , 77 : 23 , 81 : 19 , 82 : 18 และ 84 : 16 เมื่อนำไปวัดค่าดัชนีหักเหของแสงปรากฏว่าค่าที่ได้ห่างจากค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้วมาก จึงไม่นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกเสริมแรง

### วิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 หาค่าดัชนีหักเหของแสงของแผ่นใยแก้ว โดยใช้วิธีเบคเกอไลน์ (Beckeline Ttest)

ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง

1. สารเคมีที่เลือกไว้ คือ อะนิซอลดีไฮด์ ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อนำผสมกับเอทานอล แล้วได้สารละลายสีเหลือง ทำให้การมองเห็นผิดพลาดได้

2. เนื่องจากในการทดลองใช้สายตาในการพิจารณา ดังนั้นจึงผิดพลาดได้

ตอนที่ 2 สังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซิน ให้ได้ค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับของใยแก้ว

1. ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินแต่ละครั้งจะหยุดปฏิกิริยาในช่วงที่พอลิเอสเตอร์มีค่าความเป็นกรด 46-48 ดังนั้นในแต่ละครั้งของการสังเคราะห์จะมีค่าความเป็นกรดแตกต่างกันบ้าง ซึ่งจะทำให้มีผลกระทบต่อค่าดัชนีหักเหของแสงของเรซินที่สังเคราะห์ได้

2. ในการทำพลาสติกชนิดเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ซึ่งใช้เทคนิคทำมือ (Hand Lay-up Technique) ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานออกมาไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากผู้ทำขาดความชำนาญ

3. ในการทดสอบคุณภาพโดยพิจารณาทางความใส นั้นไม่มีเครื่องมือตรวจวัดโดยเฉพาะ ต้องใช้ความสามารถในการสังเกต ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองยังมีหลายปัจจัย ซึ่งมีผลต่อความใสของแผ่นพลาสติกเส้นใยเสริมแรง คือ

1. ตัวเชื่อมใย (binder) ที่ใช้ในการทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็นแผ่น เช่น กาวอัด
2. ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ชิ้นงานเกิดสีขึ้นเล็กน้อย
3. ชนิดของเส้นใยเสริมแรง

### เอกสารอ้างอิง

1. Parky, B., Lamb, F., and Clifton, B. V. " Polyester." Vol. 2., Chapel River Press, London, 1967
2. Lawrence, J.R. " Polyester Resin." Guinn Co., Inc., New York, 1960
3. Motomiya, S. " Unsaturated Polyester Resin." Thai-Unesco Sub-Regional Seminar, 3, 1983, pp. 289-301
4. Brydson, J.A. " plastics Materials." 3 rd ed, Whitefriars Pres, London, 1975, pp. 541-577.
5. Saunders, K.J. " Organic Polymer Chemistry " Chapman and Hall London, Toronto, 1973, pp. 203-245
6. Patton, T.C. " Alkyd Resin Technology." John Wiley & Sons, New York, 1962, pp. 1-92.
7. Billmeyer, F.W. JR. " Textbook of Polymer Science." 2 nd ed, John Wiley & Sons, Newyork, 1977, pp.84-89.
8. Storey, R.F., and Smith, D.L. " Improved Room-Temperature Cure of Unsaturated Polyester Resin." Modern Plastics, February 1986, 15(2) : 40-44
9. Brinkman, W.H., Damen, L.W.J., and Maira, S. " Accelerators for PeroXide Curing of Polyesters." Modern Plasics, October 1968, 45(10) : 167-172
10. Schwartz, S.S., and Goodman, S.H. " Plastics Materials and Process." Van Nostrand Reinhold, New York, 1982 pp. 325-339
11. Cuadrado, T.R., BorraJo, and Williams, R.J.J. " On the Curing Kinetics of Unsaturated Polyester with Styrene." J. App. Polym. Sci., 1959, (35) : 219-233.
12. นายสมศักดิ์ จรรยาอดิศัย และ นายสันติภาพ กীরติธรรากุล " การเตรียมอัลคิดีเรซินและการปรับปรุงการใช้คะตาลีสต์ในการสุกตัว " โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2529