

## บทที่ 2

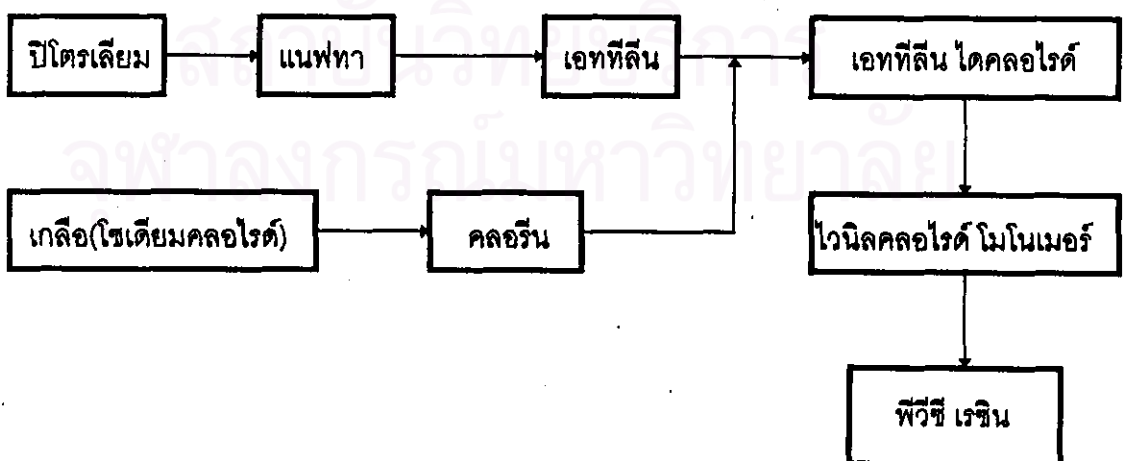
### ทฤษฎีพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัย

#### 2.1 โพลีไวนิลคลอไรด์ หรือ พีวีซี (Polyvinyl Chloride or PVC)

โพลีไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) เป็นพลาสติกที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กล่าวคือ เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ที่สามารถหลอมเหลวหรือผ่านแรงดันได้หลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิมจึงนำมาขึ้นรูปได้หลายครั้ง พีวีซีผลิตได้จากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ (Vinyl Chloride Monomer : VCM) โดยการที่ทำให้โมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเกิดปฏิกิริยาแบบรวมตัวเป็นสายโซ่ยาวๆ และมีน้ำหนักโมเลกุลเป็นหลายพันเท่าขึ้นไปของโมโนเมอร์ จึงได้คุณสมบัติต่างๆ แตกต่างไปจากของโมโนเมอร์เดิม

##### 2.1.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี จะเริ่มต้นจากการผลิตสาร VCM (Vinyl Chloride Monomer) ซึ่งได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอทิลีน (Ethylene) กับคลอรีน (Chlorine) ให้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพีวีซี หลังจากนั้นจึงนำไปผสมกับสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizers) สารคงสภาพ (Stabilizer) และสี ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพีวีซี ผลิตได้โดยกระบวนการหลอมอัดรีด หรือเครื่องขึ้นรูปอื่นๆ ตามขนาดและรูปแบบที่กำหนด

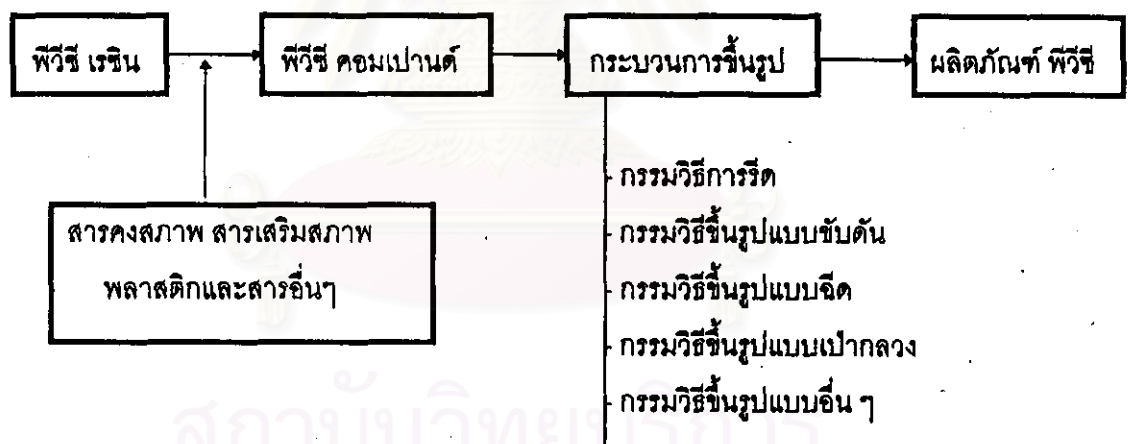


รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

### 2.1.2 กรรมวิธีการผลิตและการตกแต่งโพลีไวนิลคลอไรด์

โพลีไวนิลคลอไรด์ เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หลังจากนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นั่นคือ เมื่อพีวีซีได้รับความร้อนก็จะเกิดการอ่อนตัวลง และจะแข็งตัวขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เมื่อพีวีซีเย็นตัวลง ปริมาณความร้อนที่ทำให้พลาสติกพีวีซีเกิดการหลอมละลายได้นั้น จะขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตที่แตกต่างกันไป เพื่อผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป หรือกึ่งสำเร็จรูป กรรมวิธีการผลิตที่สำคัญใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซี คือ

1. การหลอมอัดรีด (Extrusion) เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความยาว และภาคตัดขวางที่มีรูปทรงที่คงที่แน่นอน
2. การฉีดเข้าแบบ (Injection Moulding) ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดแตกต่างกันมาก และมีความสลับซับซ้อน
3. การอัดรีดด้วยลูกกลิ้ง (Calendering) ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเรียบ
4. การเคลือบ (Coating) เป็นการเคลือบพลาสติกให้ติดกับวัสดุอื่น เช่น ผ้าใยสังเคราะห์ โลหะ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงกรรมวิธีการผลิต ผลิตภัณฑ์พีวีซี

### 2.1.3 การใช้สารเติมแต่งในกระบวนการผลิต

การนำเอาโพลีเมอร์มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปประเภทต่างๆ นั้น มักจะประสบกับปัญหาเรื่อง การเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนสี และมีแนวโน้มที่โพลีเมอร์จะเหนียวติดกับเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ สารเติมแต่งในโพลีเมอร์จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว เหล่านี้ให้ได้เป็นอย่างดี

สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะใช้เติมลงในโพลีเมอร์ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติและตกแต่งให้สวยงาม โพลีเมอร์ที่มีสารเติมแต่งผสมอยู่ เรียกว่า คอมเปานด์ (Compound) ส่วนกระบวนการผสมสารเติมแต่งเข้าไปในโพลีเมอร์ เรียกว่า คอมเปานด์ดิ้ง (Compounding) การที่เราใช้สารเติมแต่งลงในโพลีเมอร์เพื่อเหตุผลเฉพาะอย่าง ดังนี้

1. เพื่อช่วยในการผลิต หรือขึ้นรูป
2. เพื่อป้องกันโพลีเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ
3. เพื่อให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น
4. เพื่อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะทำการผลิตได้

#### 2.1.4 ชนิดของสารเติมแต่ง

สารเติมแต่งที่ใช้ในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหน้าที่และส่วนประกอบทางเคมีของโพลีเมอร์นั้น ๆ สารเติมแต่งที่น่าสนใจ มีดังนี้

1. สารเสริม (Filler) เป็นสารที่ผสมในโพลีเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาตร ทำให้สามารถลดปริมาณโพลีเมอร์ลง และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของโพลีเมอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เส้นใย หรือโลหะ

สารเสริมจะถูกนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยการแทนที่ปริมาณโพลีเมอร์ที่แพงด้วยสารเสริมที่ราคาถูก การเลือกใช้สารเสริมควรจะต้องพิจารณาถึง

- การลดต้นทุน
- ควบคุมความหนาแน่น ความชื้น
- คุณสมบัติทางกายภาพ ความบริสุทธิ์ ขนาดอนุภาค และความเป็นผลึก
- กระจายตัวได้ดีโดยปราศจากการจับเป็นก้อน
- ความคงทนในระหว่างการผลิตและการใช้งาน
- ความชื้น ความขาว ความต้านทานเคมี ความหนายاب และความเป็นพิษ
- ผลต่อการไหล
- ราคา

เมื่อผสมสารเสริมในพลาสติกจะช่วยเพิ่มค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น และความแข็งตึงให้แก่พลาสติกไม่มากนักย่อย การเสริมแรงด้วยไฟเบอร์จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการยืดดึงได้ สารเสริมที่มีรูปร่างทรงกลมจะช่วยเพิ่มความแกร่งของพลาสติกที่อุณหภูมิสูงได้บ้าง แต่ไม่ดีเหมือน

สารเสริมแรงชนิดไฟเบอร์ แต่สารเสริมแรงที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นบาง ๆ หรือไมกาจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าวได้อย่างเด่นชัด

2. สารประสาน (Coupling Agent) เป็นสารเติมแต่งเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างโพลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง ทำให้เกิดการเปียกผิวระหว่างชั้น และมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดีขึ้น ได้แก่ ไททานเตตระไฮดรอกไซด์ อีโพรเมติกไฮโดรไซด์ สารประสานนี้มีประโยชน์สำหรับกรณีที่ใช้สารเติมแต่งในปริมาณมาก ๆ เช่น สารเสริมสภาพพลาสติกและสารชะลอการติดไฟ

ผิวของแก้วโดยปกติจะไม่จับยึดกับพลาสติก เพื่อให้การเสริมแรงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องให้แก้วยึดติดกับพลาสติกได้ดี ซึ่งจะทำให้ได้โดยการนำสารจับยึด (Coupling Agent) กับผิวของแก้ว สารช่วยจับยึดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นสารอนินทรีย์ ทำปฏิกิริยากับผิวของแก้ว และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ที่ปฏิกิริยาหรือเข้ากับเนื้อพลาสติกได้ดี

สารช่วยจับยึดระหว่าง silicates หรือ silica ประกอบด้วยสารกลุ่ม silanol (Si-OH) พลาสติกที่จะต้องเสริมแรงสามารถแยกแยะได้ดังนี้

- chrome complexes
- silanes
- titanates
- coupling agents อื่น ๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกใช้ Silanes ในงานลักษณะต่าง ๆ

Silane	พลาสติก
Vinyl - triethoxysilane	ใช้กับ Unsaturated Polyester, Polyolefins, PVC, PS, ABS, SAN, PMMA
Vinyl - tris (2-methoxy) silane	
- methacryloxypropyltrimethoxy silane	
- aminopropyltriethoxy	Epoxy, phenolic and melamine resins, PA, PUR, PP, PE, PMMA, PC
- glycidoxytriethoxy silane	Epoxy, phenolic and melamine resins, unsaturated polyester, PUR, PVC, PC, PS, ABS, SAN, PA, PP, PE, polysulfides
- mecratopropyltrimethoxy silane	Phenolic and epoxy resin, PVC, PS, EPDM, polysulfides, polysulfons

Chrome Complexes เป็นสารช่วยจับยึดตัวแรก ๆ ที่มีใช้ โดยมีชื่อทางการค้าว่า Volan ปัจจุบันถูกแทนที่ด้วย silanes เป็นส่วนใหญ่ ที่ใช้มากได้แก่ งานผลิตภัณฑ์ fiber glass ที่ใช้ Unsaturated Polyester

Silanes ในปัจจุบันใช้กันมากในงานเสริมแรงเทอร์โมพลาสติกด้วยใยแก้ว โดยการเคลือบใยแก้วด้วย silane ที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของ tetrafunctional molecules ซึ่งมีสูตรโดยทั่วไปว่า  $YR-Si(OR)_3$

Silanes ที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ไม่มีการดูดซับสารเคมีระหว่าง silane กับผิวของ alkaline filler (alkaline-earth carbonates, metallic oxides and hydroxides) นอกจากนั้น silane จะถูกทำลายโดยผิวของ alkaline ดังนั้นการใช้งานจึงห้ามใช้กับผิวของ filler ที่มีกลุ่ม OH อยู่ด้วย

Titanates ใช้เช่นเดียวกับ silanes tetanates เป็น tetrafunctional compound ซึ่งพัฒนาโดย Kenrich Petrochemical Inc. Bayonne, NJ, USA ผลการใช้คล้ายกับ silane แต่ใช้ร่วมกับ filler ที่มีกลุ่ม OH อยู่ด้วย แต่ปริมาณการใช้น้อยกว่า silane มาก

3. สารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยในการลดแรงเสียดทานระหว่างโพลิเมอร์หลอมกับเครื่องจักรและแม่แบบขณะขึ้นรูป ทำให้ขึ้นงานไม่ติดแม่แบบและแกะออกได้ง่าย สารหล่อลื่น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงยึดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย

- สารหล่อลื่นภายนอก (External lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับแม่แบบขณะขึ้นรูป ซึ่งสามารถนำไปสู่การลื่นหลุดออกจากเครื่องจักรได้ ในบางกรณี สารหล่อลื่นภายนอกบางครั้งก็ทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยขึ้นรูป

หน้าที่สำคัญของสารหล่อลื่น คือ

- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์เองในขณะหลอม
- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพลาสติกกับผิวของโลหะ
- เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องจักร
- ป้องกันการเกาะติดกันของเครื่องจักร

4. สารคงสภาพ (Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติก เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมสภาพในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และช่วยยืดอายุการใช้งาน สารคงสภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- สารคงตัวต่อความร้อน (Heat Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยป้องกันการสลายตัวด้วยความร้อนขณะโพลีเมอร์ขึ้นรูป หรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ตะกั่วสเตียเรต (lead Stearate) ไทเฟนิกโทโอโยเรีย ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกพีวีซี ซึ่งปกติจะถูกนำไปผลิตที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเชื่อมสภาพ สารคงตัวต่อความร้อนไม่ได้ป้องกันการเชื่อมสภาพด้วยความร้อนของพีวีซี แต่จะช่วยทำให้มันเชื่อมสภาพช้าลง และมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ช้าลงด้วย ในการใช้สารนี้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ควรพิจารณาในเรื่องของความเป็นพิษด้วย

- สารกันออกซิเดชั่น (Antioxidant) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพลาสติก สารตัวนี้จะป้องกันโพลีเมอร์จากการถูกทำลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความร้อน, แสงและกระบวนการทางเคมี การเกิดออกซิเจนในโพลีเมอร์สามารถนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักโมเลกุล, การถูกตัดโซ่ความยาวให้สั้นลงจะนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักโมเลกุล, การเพิ่มขึ้นของค่าการหลอมและไหล, ลดความเหนียวในโพลีเมอร์ การเปลี่ยนสี

- สารคงตัวรังสีอุตราไวโอเลต (Ultraviolet light Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันการสลายตัวและเสื่อมสภาพของพลาสติก เนื่องจากรังสีอุตราไวโอเลต เช่น โทเทเนียมออกไซด์ เบนโซพิโนน เป็นต้น การดูดกลืนแสงอุตราไวโอเลต ทำให้พันธะภายในของโพลีเมอร์แตกออก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอนุภาคอิสระของเปอร์ออกไซด์ หรือการถ่ายเทพลังงานในโพลีเมอร์ ทำให้เกิดความไม่คงทนในโมเลกุลของโพลีเมอร์ การเชื่อมสภาพด้วยแสงอุตราไวโอเลตจะนำไปสู่การเปลี่ยนสีและการสูญเสียคุณสมบัติทางกล การใช้สารคงตัวต่อรังสีอุตราไวโอเลต จะทำให้อายุการใช้งาน

5. สารสี (Colorant) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติก ทำให้เกิดความสวยงามและช่วยดึงดูดความสนใจ โดยทำให้เกิดสี, ความทึบแสง, ความโปร่งแสง, ความเงาวาวตามต้องการ สารสีแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- สีย้อม (Dye) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติก ทำให้พลาสติกมีสีโปร่งใส สีย้อมจะให้สีที่สดใส สามารถเกิดพันธะกับสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ได้ แต่มีขีดจำกัดในเรื่องของความทนทาน, การเคลื่อนตัวและการละลาย, มีความต้านทานต่อสารเคมีไม่ดี และมีแนวโน้มที่จะเกิดการซึมผ่านไปที่ผิว

- สีมง (Pigment) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยงาม โดยเฉพาะการผสมสีดำหรือสีทึบในพลาสติกใช้แล้ว และนำกลับมาใช้ใหม่ สีมงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- สีมงอนินทรีย์ (Inorganic Pigments) ให้สีที่เข้มและติดทนทาน ไม่ละลาย ด้านทนต่อสารเคมีได้ดีและดูดซึมสารเสริมสภาพพลาสติกต่ำ เช่น  $\text{TiO}_2$  (Titanium dioxide) และ Carbon Black เป็นต้น

- สีมงอินทรีย์ (Organic Pigments) ให้สีที่สดใส, โปร่งใส, โปร่งแสง บางชนิดสีติดทนนาน, บางชนิดไม่ละลาย และบางชนิดก็เกิดการเคลื่อนตัว เช่น Insoluble Azo Pigment และ Dis Azo Pigment

คุณสมบัติของสีที่ต้องการในคอมเปานด์ คือ

1. ต้องมีความคงทนต่อความร้อนและแสงได้ดี
2. มีความต้านทานต่อสารเคมีและตัวทำละลาย
3. มีความต้านทานต่อการเกิดการเคลื่อนตัวไปที่ผิว
4. มีการกระจายตัวที่ดีและสม่ำเสมอ

6. สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การไหลของโพลิเมอร์ดีขึ้น และทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มีความยืดหยุ่นและนุ่ม สารเสริมสภาพพลาสติกที่เติมจะช่วยให้แรงดึงดูระหว่างโซ่โพลิเมอร์ลดลง เนื่องจากตัวมันจะเกิดพันธะกับโซ่โพลิเมอร์ ซึ่งจะช่วยให้โซ่โพลิเมอร์อยู่ห่างกันมากขึ้น ขบวนการเกิด Plasticization ไม่ใช่ขบวนการทางเคมี เพราะปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกทั้งหมดสามารถสกัดออกจากโพลิเมอร์ได้ สารเสริมสภาพพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- สารเสริมสภาพพลาสติกภายใน (Internal Plasticizer) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่เป็นโมโนเมอร์ เมื่อเติมลงในโมโนเมอร์หลักขณะผลิตทำให้ได้โพลิเมอร์ หรือพลาสติกที่มีโมโนเมอร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโคโพลิเมอร์ เช่น ไวนิลอะซิเตตในพีวีซี สารเสริมสภาพพลาสติกชนิดนี้จะไม่เคลื่อนที่หรือย้ายที่อยู่มาที่ผิว ทำให้มีสภาพเสริมคงที่

- สารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (External Plasticizer) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่ผสมลงในโพลิเมอร์พร้อมกับสารเติมแต่งอื่นในการขึ้นรูปพลาสติก เช่น ไดออกทิลฟทาเลต สารเสริมสภาพพลาสติกชนิดนี้มักเคลื่อนที่มาที่ผิวผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเยิ้มมันที่ผิวและพลาสติกเปราะได้ง่าย

คุณสมบัติของสารเสริมสภาพของพลาสติกที่ต้องการ มีดังต่อไปนี้

1. เข้ากันได้ดีกับโพลิเมอร์
2. มี Plasticizing Capacity สูง
3. ทนความร้อนได้เพียงพอ
4. จะต้องมีสีอ่อนที่สุด
5. ระเหยยาก
6. ทำให้เกิดความอ่อนตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ
7. มีความต้านทานต่อการถูกสกัดได้ดี

## 8. มีความต้านทานต่อการเกิด Migration

7. สารปรับปรุง (Modifier) สารนี้บางชนิดเมื่อเติมลงในโพลีเมอร์แล้วจะมีผลต่อคุณสมบัติของพลาสติก ปริมาณที่เติมจะอยู่ระหว่าง 0.5 - 50 % โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีเมอร์และคุณสมบัติที่ต้องการเติม Modifier จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความเหนียว การคงรูปร่างเมื่อโดนความร้อน Modifier ที่ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความคงทนต่อแรงกระแทก เรียกว่า สารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact Modifier) ใส่เพื่อช่วยเพิ่มความเหนียว การเลือกใช้สารปรับปรุงแรงกระแทกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นต้องสัมพันธ์กับความทนทานหรือความเหนียว
2. ควรเข้ากันได้ดีกับสารต่าง ๆ
3. ความคงทนต่อความร้อน
4. คุณสมบัติที่มีต่อกระบวนการผลิต

8. สารช่วยขึ้นรูป (Process Aid) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งทำให้ง่ายขึ้น เช่น การใช้สารไอโซบิวทริกไดโนล เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยในการขึ้นรูปแผ่นอะคริลิกหรือกระจกเทียม สารช่วยขึ้นรูปนี้เป็นสารที่ทำให้เกิดการลื่นไหล ในการที่จะป้องกันไม่ให้โพลีเมอร์เหนียวติดกับเครื่องจักร เป็นตัวป้องกันมิให้ฟิล์มแต่ละชั้นเกาะติดกันภายใต้ความดัน และช่วยปรับปรุงความหนืดของโพลีเมอร์ ทำให้เกิดการหลอมและไหลได้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิต และเพิ่มความสามารถในการหลอมให้ดีขึ้น

9. สารชะลอการติดไฟ (Flame Retardant) โพลีเมอร์ไม่สามารถป้องกันไฟได้ แต่เป็นไปได้ที่จะทำให้ยากต่อการติดไฟ และลดอัตราการลุกไหม้ได้ โดยการใช้สารชะลอการติดไฟ สารชะลอการติดไฟ เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในโพลีเมอร์ เพื่อลดหรือชะลอการติดไฟของผลิตภัณฑ์ โดยจะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนให้ก๊าซ หรือสารที่ไม่ติดไฟ เช่น ฟลวงไตรออกไซด์ และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

สารชะลอการติดไฟ มีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. ปกคลุมส่วนที่ติดไฟได้
2. โดยการสลายตัวให้ก๊าซที่ไม่ติดไฟในปริมาณสูง ๆ เพื่อเจือจางปริมาณออกซิเจน
3. ทำให้เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิการติดไฟ
4. เมื่อเกิดปฏิกิริยาสลายตัว ต้องให้สารที่ติดไฟได้น้อย
5. ห้ามเกิดอนุภาคอิสระในกระบวนการออกซิเดชัน ในเปลวไฟและยับยั้งการติดไฟ



### 2.1.5 การจำแนกชนิดของพีวีซี

โดยทั่วไป เราสามารถจำแนกชนิดของพลาสติกพีวีซี ออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ พีวีซี ชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) และพีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC) ซึ่งการจำแนกเช่นนี้จะพิจารณาในแง่ขององค์ประกอบ นั่นคือ ปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ที่เติมลงในสารประกอบพีวีซีเป็นหลัก โดยอาจสรุปได้ดังนี้

Flexible PVC ได้แก่ สารประกอบพีวีซีที่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกลงไป ในปริมาณที่มากกว่า 30 phr (Parts per Hundred Resin) ขึ้นไป

Rigid PVC ได้แก่ สารประกอบพีวีซีที่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกลงไป ในปริมาณ ตั้งแต่ 0 phr ไปจนถึง 30 phr

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในแง่ของคุณสมบัติแล้ว พบว่า พลาสติกพีวีซีทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถสรุปถึงคุณสมบัตินี้ของพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ได้ดังนี้

#### พีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC)

1. ต้านทานต่อการกัดกร่อน, สารเคมี, น้ำมัน และอากาศ
2. ผลิดง่าย
3. น้ำหนักเบา (1/5 เท่าของเหล็ก หรือ 1/10 เท่าของตะกั่ว)
4. ะลอกการติดไฟ และไม่ติดไฟด้วยตนเอง
5. เป็นตัวฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
6. ทาสีง่ายและพิมพ์สีต่างๆ ได้มากมาย
7. สามารถเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความใส กึ่งทึบ หรือทึบได้ ตามแต่การนำไปใช้งาน

#### พีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC)

1. ทนทานต่อสภาวะอากาศ
2. ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน
3. นิ่มและหักงอได้ง่าย
4. ทนทานต่อการฉีกขาด
5. มีความยืดหยุ่นที่ดีเยี่ยม
6. มีความใสดีและเป็นมันวาว

## 2.2 โยแก้ว (Fiber Glass)

คำจำกัดความโดยทั่วไปของแก้ว คือ เป็นผลิตภัณฑ์ของสารอนินทรีย์ที่ได้จากการหลอม และเมื่อทำให้เย็นตัวลงจะกลับแข็ง และไม่มีสมบัติการเรียงตัวเป็นผลึกของอะตอมสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของโยแก้ว ควบคุมโดยส่วนประกอบของโยแก้ว และขบวนการดึงเส้นโย สมบัติหลาย ๆ อย่างของโยแก้วที่เหมาะสมที่จะทำเป็นสารเสริมแรง ได้แก่

- โยแก้วมีความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง (Tensile Strength) ต่อน้ำหนักสูง
- โยแก้วมีความยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ (Perfect Elasticity) ตามกฎของฮุกส์ (Hook 's Law) มีการยืดตัวเป็นสัดส่วนเท่ากับแรงที่ให้ และสามารถหดกลับสู่สภาพเดิมหลังจากเอาแรงกระทำออกแล้ว โยแก้วมีการยืดตัวสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนขาด
- โยแก้วมีคุณสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสม (Attractive Thermal Properties) โยแก้วจะไม่ไหม้จะคงความแข็งแรงอยู่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส (700 องศาฟาเรนไฮต์) และจะคงความแข็งแรงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส (1000 องศาฟาเรนไฮต์) โยแก้วมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และมีค่าการนำความร้อนสูง
- โยแก้วมีความต้านทานความชื้นเป็นเลิศ (Excellent Moisture Resistance) ไม่ดูดซึมความร้อน, ไม่บวมตัว, ไม่ยืดตัวหรือแตกออก หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากสัมผัสกับความชื้น
- โยแก้วมีความคงรูปดีมาก จะไม่หดตัวหรือยืดออก (ภายใต้ความแข็งแรงของมัน)
- โยแก้วมีความต้านทานต่อการผุกร่อนเป็นเลิศ จะไม่ผุเปื่อย, ขึ้นราหรือเสื่อมสภาพลง และยังต้านทานต่อสารละลายอินทรีย์ทั้งหมด ส่วนมากต้านทานต่อกรดและด่าง
- โยแก้วมีคุณสมบัติต้านทานไฟฟ้าเป็นเยี่ยม มีค่าความแข็งแรงไดอิเล็กตริก (Dielectric Strength) สูง และมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ต่ำ
- โยแก้วมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยเสริมแรงชนิดอื่น ข้อเสียของการเสริมแรงด้วยเส้นโยแก้ว คือ จะเพิ่มความเปราะ

### 2.2.1 รูปแบบของเส้นโยแก้ว

เส้นโยแก้ว มีรูปลักษณะที่นำไปใช้งานหลายแบบ ได้แก่

- แบบ Chopped Strand Mat เส้นโยแก้วมีการเรียงตัวแบบกระจัดกระจาย เรียงกันเป็นผืน เส้นโยแต่ละเส้นมีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ผืนเส้นโยสามารถจะทำให้หนาได้หลาย

ขนาด มีหน่วยเป็น  $g/m^2$  คือ ยิ่งมีน้ำหนักต่อพื้นที่มากก็จะยิ่งหนา ซึ่งสามารถเลือกใช้ตามความต้องการของงานแต่ละประเภท

- แบบ Woven Roving มีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นใยแก้ว (Roving) ทอเป็นผืน กลุ่มเส้นใยแก้ว เกิดจากการรวมตัวของเส้นใยแก้วที่มีลักษณะเป็นเส้นใยต่อเนื่อง (Continuous Filament) จำนวนมาก

- แบบ Fiberglass Roving เป็นมัดของ Strand ใช้ในงาน Spray-up Fabrication Process ซึ่งเส้นใยจะถูกตัดโดย Air-power Gun เส้นใยแก้วที่ถูกตัดแล้วจะเคลื่อนที่ไปยัง Mold พร้อมกับปลอ่ยเรซิน และตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ออกมาพร้อมกันตามอัตราส่วน ตัวอย่างการขึ้นรูปแบบนี้ เช่น อ่างอาบน้ำ ที่กันอาบน้ำ

นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิต Sheet Molding Compound (SMC) กลุ่มของเส้นใยแก้ว จะถูกตัดให้อยู่บนฐานที่เป็นโพลีเอสเตอร์เรซิน และอัดลงไปแม่แบบ ซึ่ง Sheet จะถูกอัดและขึ้นรูปตามแบบ ใช้ในการทำชิ้นส่วนยานยนต์

กลุ่มของเส้นใยแก้ว ที่เป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องใช้ในงานพวกท่อ แทงค์ โดยการนำกลุ่มของเส้นใยแก้วนี้ผ่านลงไปอ่างเรซินเหลว แล้วนำไปม้วนบนแกนหรือดึงผ่านแม่แบบที่ร้อนขึ้นรูป

- แบบ Chopped-Strand Products เป็นเส้นใยที่ถูกตัดให้เป็นเส้นสั้นๆ ซึ่งมีความยาวตั้งแต่ 3.2 ถึง 12.7 มิลลิเมตร

- แบบ Milled Fibers เป็นเส้นใยที่ตัดเป็นเส้นสั้นๆ ขนาดความยาวตั้งแต่ 0.79 ถึง 6.4 มิลลิเมตร มีความเหนียวมาก แต่ความแข็งแรงต่ำลง

- แบบ Fiberglass Paper เป็น Chopped Strand Mat ขนาดความยาว 25 ถึง 50 มิลลิเมตร ทำเป็นแผ่นบางๆ ใช้ทำกระเบื้องมุงหลังคา

- แบบ Textile Yarns เป็นการนำเส้นใยเส้นเล็ก มาบิดเป็นเกลียว 1 รอบต่อนิ้ว โดยใช้เส้นใยแก้ว 2 กลุ่มขึ้นไป

## 2.2.2 เกรดของเส้นใยแก้ว

เส้นใยแก้ว เป็นวัสดุที่เสริมความแข็งแรง ทำให้มีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น ซึ่งมีหลายเกรดแตกต่างกันไป ได้แก่

- E-Glass เป็น Electrical Grade พิจารณาตาม Chemical Position จะเป็น Calcium Alumino-Borosilicate Material ซึ่งมีปริมาณ Alkali Oxide ต่ำ เป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไป เพราะมีราคาถูกที่สุด และให้ความแข็งแรงสูงด้วย ส่วนมากใช้ทำเรือ ชิ้นส่วนรถยนต์ ภาชนะใช้งานต่างๆ

- C-Glass หรือที่เรียกว่า "อัลคาไลน์กลาส" (Alkaline Glass) ใช้สำหรับงานทำถังบรรจุสารเคมีโดยเฉพาะ นอกจากนั้นยังใช้ใยแก้วชนิดนี้ทำแผ่นลอนโปร่งใส โดยที่ค่าดัชนีหักเหของแสงของใยแก้วชนิดนี้มีค่าใกล้เคียงกับอะคริลิครีซิน (Acrylic Resin) ซึ่งโปร่งแสงมาก

- S-Glass (High Strength) พิจารณาตาม Chemical Composition จะเป็น Magnesium Alumino-Silicate Glass ซึ่งเป็นแก้วที่ไม่มี Boron Oxide ใยแก้วชนิดนี้ มีความแข็งแรงมากที่สุดในจำนวนชนิดของใยแก้วที่นำมาใช้เสริมแรงทั้งหมด และถูกนำมาใช้เป็นถังที่ทนความกดดันสูงได้ (Pressurized Tank)

- ECR-Glass เป็นแก้วที่พัฒนาจาก E-Glass ให้มีความต้านทานทางเคมี (Chemical Resistance) สูง ใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีควบคู่กับความต้านทานทางเคมีที่ดี

- A-Glass เป็นแก้วที่มี Alkali สูง มีส่วนประกอบของ soda-Lime-Silica ใช้ในงานที่ต้องการการเสริมควบคู่กับการมีความต้านทานทางเคมีสูง

นอกจากนี้ยังมีเส้นใยแก้วชนิดอื่นๆ อีกเช่น R-Glass (High Strength, High Modulus), Lead Glass (สำหรับป้องกันรังสี) D-Glass (มีค่า Dielectric Constant ต่ำ และเป็น Dielectric grade ใช้เป็นวัสดุฉนวนไฟฟ้าเท่านั้น), M-Glass (High Modulus ใช้กับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงมาก ๆ) และ Lithium-Oxide-Based Glass (ใช้สำหรับ X-ray Transparency)

เส้นใยแก้วมีความแตกต่างกันที่ความหนาแน่น, Refractive Index และความทนต่อสารเคมี คุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้วชนิดต่างๆ แสดงไว้ในตาราง ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดง คุณสมบัติของใยแก้วชนิดต่างๆ

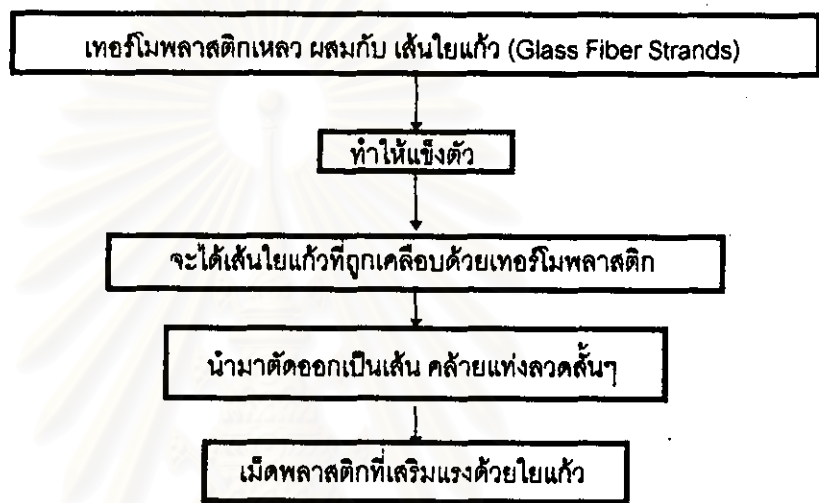
คุณสมบัติ	E-Glass	A-Glass	A-Glass with Boron addition	R-Glass	S-Glass	M-Glass
ความหนาแน่น (g/m <sup>3</sup> )	2.54	2.48	2.5	2.5	2.49	2.89
ความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยว (N/mm <sup>2</sup> )	3500	2450	2900	4750	4900	3500
Modulus of Elasticity (N/mm <sup>2</sup> )	73000	45000	60000	83000	87000	124000

### 2.2.3 เส้นใยแก้วในเทอร์โมพลาสติก

กระบวนการผลิตพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว มีอยู่ 2 วิธี คือ

- วิธีที่ 1

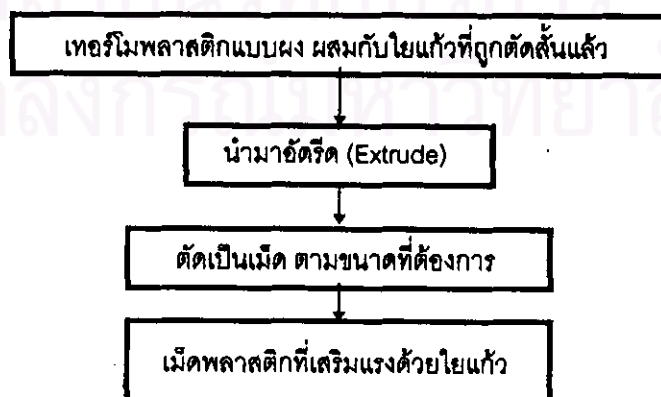
เทอร์โมพลาสติกเหลว จะถูกผสมเข้ากับเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Strands) จากนั้นจะทำให้แข็งตัว และตัดออกเป็นเม็ดลักษณะคล้ายๆ แท่งหลอดตัด ดังนั้น ความยาวของเส้น (strands) จะเท่ากับ ความยาวของเม็ด และทิศทางการเรียงตัวจะเป็นไปในทิศทางตามยาว



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว วิธีที่ 1

- วิธีที่ 2

เทอร์โมพลาสติกแบบผง (Powder) จะถูกผสม (blend) เข้ากับใยแก้วที่ตัดสั้นไว้แล้ว หลังจากนั้นนำมาอัดรีด (extrude) และตัดเป็นเม็ด



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว วิธีที่ 2

ในยุโรป พลาสติกที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้วนี้ จะขายในลักษณะเม็ดที่พร้อมจะทำการผลิตได้เลย จะมีอยู่น้อยมากที่เป็นการป้อนพลาสติกและใยแก้ว แยกกันตรงส่วนฮอปเปอร์ (Hopper) จะพบบ้างในประเทศสหรัฐอเมริกา

เทอร์โมพลาสติกกับเทอร์โมเซตติง ชนิดเสริมแรงที่ใส่กันอยู่ทั่วไป จะใช้แก้วประเภท "E-Glass" ที่ไม่มีสารพวกอัลคาไลน์ เมื่อเทียบกับชนิด A ที่มีอัลคาไลน์ เพราะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี ถึงแม้จะอยู่ในที่เปียกชื้น โดยที่พลาสติกผสมใยแก้วชนิด E จะมีความเปราะน้อยกว่า เนื่องจากความยาวของเส้นใยไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อผลิตเป็นเม็ด

ใยแก้วเส้นสั้นจะกระจายตัวได้ดีในเนื้อพลาสติก และสามารถนำออกจากกรูเข้า (Sprue) ได้ง่าย ในระหว่างการขึ้นรูปด้วยการฉีด ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับแม่พิมพ์แบบ Single gating และ Multi-gating ยิ่งไปกว่านั้นเม็ดพลาสติกที่เสริมแรงด้วยใยแก้วชนิดสั้น จะมีราคาถูกกว่าเมื่อใช้ใยแก้วชนิดยาว แต่ข้อด้อยเมื่อเทียบกับการใช้ใยแก้วชนิดยาว ก็มีหลายประการ ได้แก่

- ความแข็งแรงของวัสดุต่อแรงกระแทก (Impact Strength) มีค่าสูงไม่เท่ากับเมื่อใช้ใยแก้วชนิดยาว

- อุณหภูมิที่ทนต่อการเปลี่ยนรูปทรงภายใต้ความร้อน จะต่ำกว่าประมาณ 5-6 องศาเซลเซียส

- ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดัด (Flexural Strength) และโมดูลัสแรงดัด (Flexural Modulus) ก็มีค่าต่ำกว่า

โดยทั่วไปการเสริมแรงด้วยใยแก้ว 30 % จะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง (Tensile Strength) เพิ่มขึ้น 2 เท่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เพิ่มขึ้น 3 เท่า และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงเส้น รวมทั้งค่าการหดตัวจะลดลงเหลือ 1 ใน 3 แต่ขณะเดียวกัน ความแข็งแรงของวัสดุที่มีรอยบากภายใต้แรงกระแทก (Notched Impact Strength) จะลดลงและทิศทางการหดตัวในการฉีดขึ้นรูปก็จะเปลี่ยนไป

#### 2.2.4 ผลของการเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Reinforcing Action of Fiber Glass)

การเสริมแรงด้วยใยแก้ว จะมีผลมาจากคุณสมบัติต่อไปนี้

- อัตราส่วน ความยาว / เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยจะต้องมาก
- เส้นใยควรจะเรียงตัวในแนวยาว
- ต้องมีการจับยึดระหว่างใยแก้วกับเนื้อพลาสติกอย่างเหมาะสม (ขนาดและสารช่วยจับ

ยึด)

- การอบผิวของใยแก้วให้ทั่วถึง ทำได้โดยการ blending อย่างยิ่งยวด ซึ่งอาจทำให้เส้นใยสั้นลง และได้คุณสมบัติของเส้นใยสั้นลงในที่สุด

การเสริมแรงด้วยใยแก้ว จะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุและค่าความแข็งกระด้าง (Strength and Stiffness) เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณใยแก้วที่เติมลงไปจนกระทั่งมีค่าสูงสุด และจะลดต่ำลงเมื่อเติมใยแก้วมากเกินไป ทำให้การจับยึดระหว่างใยแก้วกับเนื้อพลาสติกเกิดช่องว่างขึ้น ดังนั้นจึงควรใส่ในปริมาณที่ยอมรับได้

การเสริมแรงด้วยใยแก้วของเทอร์โมพลาสติก ประกอบด้วยคุณสมบัติที่ดีของพลาสติกกับ Inorganic Glass ซึ่งคุณสมบัติอาจเข้าใกล้คุณสมบัติของโลหะมาก ใยแก้วอบโลหะอลูมิเนียม จะช่วยให้เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

### 2.2.5 คุณสมบัติที่ดีขึ้นเนื่องจากการเสริมแรงด้วยใยแก้ว (20% ถึง 40 %)

- เพิ่มความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง (Tensile Strength), ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด (Compressive Strength) และความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดัด (Flexural Strength) เช่นเดียวกับโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

- การเพิ่มขึ้นของความแข็งกระด้าง (Stiffness) ของวัสดุและค่าโมดูลัสแรงดัด (Flexural Modulus) ซึ่งมีความสำคัญในการใช้งานทางวิศวกรรม

- เพิ่มความแข็งแรงของวัสดุที่จุดแตกหัก (Tensile Stress at Break) ในกรณีของพลาสติกเปราะและเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุที่มีรอยบากภายใต้แรงกระแทก (Notched Impact Strength) ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งถ้าเป็นพลาสติกที่ไม่เสริมแรง ค่านี้จะลดลงไม่มาก

- ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้นเมื่อความร้อนลดลง และการหดตัวลดลง มีความคงขนาดดีมากขึ้น

- ความต้านทาน Cold Flow เพิ่มขึ้น และลดการคืบ (Small bend-creep Modulus)

- อุณหภูมิที่ทนต่อการเปลี่ยนรูปทรงภายใต้ความร้อน (Heat Deflection Temperature)

สูงขึ้น

- ลดเสียง หึ่งๆ ที่มีความสั่น

- กำหนดค่าความยืดหยุ่น (Flexibility) ได้

- ประหยัดวัสดุเนื่องจากแข็งแรงขึ้น บางชิ้นส่วนอาจลดขนาดหรือทำให้บางลงได้

## 2.2.6 ข้อเสียของการเสริมแรงด้วยใยแก้ว

- ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก (Impact Strength) จะลดลงเล็กน้อย เพราะเทอร์โมพลาสติกตามธรรมชาติ ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทกจะสูง
- ผิวของผลิตภัณฑ์สำเร็จจะหยากกว่าพลาสติกที่ไม่ได้เสริมแรง
- มีการเสียดสีกับเครื่องจักรสูง

## 2.2.7 หลักสำคัญ 4 ประการในการนำใยแก้วมาทำการเสริมแรง

1. สมบัติทางกายภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของใยแก้วที่ใช้เสริมแรงและการจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุผสม
2. ความทนทานต่อสารเคมี ไฟฟ้า และความร้อนขึ้นอยู่กับเรซินที่ใช้
3. การเลือกวัสดุและการออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นสิ่งสำคัญในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
4. ราคาของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ การเลือกวัสดุและกระบวนการผลิต

## 2.2.8 การประยุกต์การเสริมแรงโดยการใช้เส้นใยแก้วในเทอร์โมพลาสติก (Fiber Glass Reinforcement in Thermoplastic)

### โพลีไวนิลคลอไรด์ หรือ พีวีซี (Polyvinyl Chloride or PVC)

มีการใช้พีวีซีอย่างกว้างขวาง เช่นเดียวกับโพลีเอททิลีน การเปลี่ยนสารคงสภาพ, สารหล่อลื่น และสารเพิ่มเนื้อ สามารถที่จะทำได้ซึ่งงานที่แตกต่างกันอย่างมากมาย การเพิ่มสารเพิ่มเนื้อในพีวีซีมีสาเหตุ เพื่อลดต้นทุนเป็นหลัก ไม่ได้ต้องการที่จะเพิ่มคุณสมบัติทางกล สำหรับสารเสริมแรงที่ใช้ในพวกพีวีซีมักจะเป็นพวกแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ก็มีบ้างที่ใช้ใยแก้ว

### Styrene-Acrylonitrile Copolymers (SAN)

การเติมใยแก้วลงใน SAN จะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) สูงขึ้นมากและแนวโน้มในการแตกลดลง (เมื่อเทียบกับ SAN ที่ไม่มีการใยแก้ว) นอกจากนี้ยังทำให้ความยืดหยุ่นที่จุดแตกหัก (Elongation at Break) ลดลงด้วย

### Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymers (ABS)

ABS ที่มีการเติมใยแก้ว จะมีความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดัด (Flexural Strength) สูงขึ้น 3 เท่า และความยืดหยุ่น (Elasticity) สูงขึ้นมาก ปัจจุบันมี ABS เกรดพิเศษที่มีการเติมใยแก้วสำหรับงานเป่าขึ้นรูป และโฟม ABS ขายในตลาดแล้ว นอกจากนี้ในญี่ปุ่นยังมีการใช้ Chalk 30 %



เติมลงใน ABS สำหรับใช้ในการผลิตเป็นชิ้นส่วนของหุ่นยนต์ โดยการเติม Chalk จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของ ABS โดยที่ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก (Impact Strength) ไม่ลดลงมากนัก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.3 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bear, M., Longmeadow, and Joseph (1972) กล่าวว่า การปรับปรุงขบวนการในการเตรียมวัสดุผสมจากใยแก้วและเทอร์โมพลาสติก คือ การผสม Thermoplastic resin matrix ที่มีปริมาณเส้นใยแก้ว 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีขนาดความยาวของเส้นใย  $1/32$  ถึง  $3/4$  นิ้ว ขนาดที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ  $1/8$  ถึง  $1/4$  นิ้ว โดยที่เส้นใยถูกเตรียมใน collimated array และ encapsulated ในเทอร์โมพลาสติก

Lee, B. (1988) กล่าวว่า สารที่มีคุณสมบัติต้านทานการละลายและต้านทานกรดไขมัน จะถูกฟอร์มมาจากเทอร์โมพลาสติกผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) และ Chlorinated Polyethylene (CPE), Polyolefin (PO) และ graft copolymer of a polyolefin (PO-G) เทอร์โมพลาสติกผสม (thermoplastic polyblend) ที่มี PO และ PO-G (PO/PO-G) ในสภาวะ first continuous single phase, PVC และ CPE ใน dispersed phase ที่ 2 และ 3 ในงานวิจัยนี้ใช้ PO และ PO-G ปริมาณโดยน้ำหนักเท่ากัน คือ 40 ส่วนโดยน้ำหนัก เมื่อโพลีไวนิลคลอไรด์ถูกใช้ในปริมาณ 40 ถึง 70 ส่วน เทอร์โมพลาสติกผสมที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polyblend) ของ PVC/CPE/PO/PO-G จะมีค่าอุณหภูมิที่ทนต่อการเปลี่ยนรูปทรงด้วยความร้อนอย่างต่ำเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้ใช้ใยแก้วที่มีขนาดความยาวอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ถึง 20 ไมครอน ซึ่งจะให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่มีรอยบากเนื่องจากแรงกระแทกดีเยี่ยม

Rahrig, D. B. et al., (1989) กล่าวว่า Vinyl chloride (VC) resin, poly(vinyl chloride) (PVC) และ chlorinated poly(vinyl chloride) (CPVC) ที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีการเคลือบด้วยสารช่วยจับยึดอิมิโนไซเลน (aminosilane coupling agent) และ film former อุณหภูมิในขบวนการการผลิตของวีซีเรซินที่มีการเติมสารคงสภาพเพื่อลดการเปลี่ยนรูปไปกับความร้อน จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารช่วยจับยึดอิมิโนไซเลน และวีซีเรซิน มีการจับพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนในไฮโมโพลีเมอร์ และ film former จะเร่งปฏิกิริยา thermal dehydrohalogenation ของไฮโมโพลีเมอร์วีซี ระหว่างพื้นผิวระหว่างเรซินและเส้นใย ก่อให้เกิด allylic Cl moieties ในลูกโซ่ของไฮโมโพลีเมอร์ เส้นใยที่มีสารช่วยจับยึดอิมิโนไซเลน และ film former ที่มี allylic Cl moieties ในวีซีเรซิน จะมีปฏิกิริยาต่อกันเป็นลูกโซ่ด้วยพันธะโควาเลนต์กับอิมิโนไซเลน ผลการทดลองเมื่อใช้เส้นใยแก้ว 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ความแข็งแรงของวัสดุที่ไม่มีรอยบากภายใต้แรงกระแทก มี

ค่าประมาณ 2 พุด.ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึงมีค่าน้อย 12,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

Magistro, A. J., et al (1989) กล่าวว่า สารช่วยจับยึดประเภท multisilane ที่ถูกฟอร์มจากปฏิกิริยาของคอมเปานด์ที่มี triazine กับ aminoalkyl-alkoxysilane หรือ alkyl-aminoalkyl-alkoxysilane ใน anhydrous หรือ aqueous liquid สารเคลือบ (size) ที่มี multisilane จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเสริมแรงของ organic synthetic resinous material และโดยเฉพาะโพลีไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็ง (Rigid PVC) จะเกิดแรงยึดเหนี่ยว (cohesive bonding) ที่ผิวของใยแก้ว ใยแก้วที่ถูกเคลือบด้วย basic film former และ multisilane จะเกิดพันธะโควาเลนกับเรซินไวนิลคลอไรด์

Kinson, P. L., et al., (1991) กล่าวว่า พีวีซีเรซินที่มีการผสมเรซินพีวีซี 60 ถึง 85 ส่วน และอัลฟาแซน ("alpha-SAN") โคโพลิเมอร์ของอัลฟาเมทิลสไตรีน (alpha-methyl styrene or "AMS") สไตรีน (styrene or "S") และอโคโลไนไตร์ (acrylonitrile or "AN") ไม่มากกว่า 40 ส่วน และสารเติมแต่งน้อยกว่า 20 ส่วนโดยน้ำหนัก สามารถใส่สารปรับปรุงแรงกระแทกลงไปได้ ในการผสมใยแก้วที่มีการเคลือบด้วยสารช่วยจับยึดและ film former จะมีการเปลี่ยนรูปทางความร้อน (thermoformed) ที่อุณหภูมิสูงขึ้นของกระบวนการผลิต ทำให้วัสดุผสมที่มีการเสริมแรง พีวีซีเกิดพันธะโควาเลนกับเส้นใยแก้ว วัสดุผสมที่มีการเสริมแรงจะมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนรูปด้วยความร้อน (Heat Distortion Temperature) สูงขึ้น

Vyakarnam, M. N., et al., (1997) ได้ศึกษากระบวนการผลิตวัสดุผสมที่มีเส้นใยแก้วแบบไม่ต่อเนื่อง (Aligned Discontinuous-fiber Composites) ซึ่งถูกจัดเรียงตัวเส้นใย โดยการใช้สนามไฟฟ้า จากการทดลองใช้เส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลจากการจัดเรียงเส้นใยแก้วชนิด Polyester-sized ทำให้ค่าโมดูลัส (Stiffness) เพิ่มขึ้นจาก 61 เปอร์เซ็นต์ ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 58 เปอร์เซ็นต์ ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ผลจากความยาวของเส้นใย พบว่า ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้น ผลกระทบของความยาวเส้นใยมีความรุนแรงอย่างมากต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงดึง คือเพิ่มขึ้นประมาณ 300 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก 3 มิลลิเมตร เป็น 25 มิลลิเมตร เพราะว่าวัสดุผสมที่มีความยาวเส้นใยที่สั้นกว่าจะมีความหนาแน่นของเส้นใยมากกว่าเสมือนกับมีความเข้มข้นของความเค้นกระทำอยู่ (Stress Concentrations) ส่งผลให้วัสดุผสมเกิดการแตกหักที่ความเค้นต่ำ (Low Stresses)

Kim, H. C., et al (1997) ได้ศึกษาผลกระทบของเส้นใยแก้วแบบยาวที่มีต่อความต้านทานการเกิดครีพ (Creep Resistance) พบว่า ที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้เส้นใยแก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ชนิดสั้น และยาวเสริมแรงพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Poly - Propylene : PP) พบว่า เส้นใยแก้วที่มีขนาดยาว มีความต้านทานการเกิดครีพได้ดีกว่า และมีอัตราการเกิดครีพน้อย และที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้เส้นใยแก้วชนิดยาว 30%, 40% และ 50% เสริมแรงพลาสติกโพลิโพรพิลีน พบว่าปริมาณของเส้นใยแก้วที่เพิ่มมากขึ้น ช่วยปรับปรุงความต้านทานการเกิดครีพ เนื่องจากทำให้ค่าโมดูลัสมากกว่า และการเสียรูปของเรซินถูกจำกัด ในการทดลองใช้เส้นใยแก้วชนิดยาว 50 เปอร์เซ็นต์เสริมแรงโพลิโพรพิลีน (PPs) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 210,000 และ 150,000 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุผสมที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่ามีความต้านทานการเกิดครีพน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่า เนื่องจากมีอิสระในการเคลื่อนที่ของอะตอม และจากการทดลองใช้เส้นใยแก้วชนิดยาว 50 เปอร์เซ็นต์เสริมแรง PA 66 ที่ความดัน 51.7 MPa พบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบอย่างมากต่อความต้านทานการเกิดครีพ อุณหภูมิสูง การเกิดครีพจะเพิ่มขึ้น

เบญญา เชิดหิรัญกร และ กัลยา ตั้งจรรูวัฒนชัย (2538) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของ Unsaturated Polyester Resin ที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบ Woven roving และ Chopped strands Mat พบว่า เมื่อจำนวนชั้นของเส้นใยแก้วมากขึ้น ทำให้สามารถทนต่อแรงดึงและแรงกระแทกได้มากขึ้น และเส้นใยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า สามารถรับแรงดึงและแรงกระแทกได้เพิ่มมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากมีพื้นที่ผิว ทำให้มีพื้นที่ที่จะรับแรงได้มากขึ้น และถ้าใช้เส้นใยแก้วแบบ Woven Roving จะทนแรงดึงได้มากกว่าการใช้เส้นใยแก้วแบบ Chopped Strands Mat เนื่องจากเส้นใยแก้วแบบ Woven Roving เป็นเส้นใยแบบยาวต่อเนื่อง และมีการเรียงตัวเป็นกลุ่มหนา แต่จากการทดสอบแรงกระแทก การใช้เส้นใยแบบ Woven Roving จะทนต่อแรงกระแทกได้น้อยกว่าเส้นใยแบบ Chopped Strands Mat เนื่องจากเส้นใยแบบ Woven Roving เป็นกลุ่มแน่น ทำให้เรซินแทรกตัวเข้าไประหว่างเรซินได้น้อย ดังนั้น การเกาะยึดระหว่างเรซิน และเส้นใยแก้วไม่ดีนัก เมื่อรับแรงกระแทกจึงเกิดการแยกตัวระหว่างเรซิน และเส้นใยแก้วง่ายกว่าแบบ Chopped Strands Mat