

# เทอร์โมพลาสติกเสริมแรง

## REINFORCED THERMOPLASTICS

ผศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร์  
ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1. คุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมพลาสติกเสริมแรง

#### 1.1 บทนำ

เมื่อพิจารณาถึงการใช้งานของวัสดุที่ต้องรับแรง ผู้ ออกแบบมักจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของพลาสติกซึ่งมีทั้ง เทอร์โมเซต และ เทอร์โมพลาสติก ที่มาทดแทนการใช้วัสดุธรรมชาติ โดยเฉพาะพวกโลหะเทอร์โมพลาสติกมีข้อดีหลักๆ สามประการ คือ มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ใช้พลังงานน้อยกว่าในการผลิต และ

ค่าใช้จ่ายต่ำในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในสายงานฉีด อัตราร่วนความแข็งแรง (strength) ต่อน้ำหนัก และความแกร่ง (stiffness) ต่อน้ำหนักของวัสดุหลาย ชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 อัตราร่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักของเทอร์โมพลาสติกมีค่าสูงกว่าพวกอลูมิเนียม และเหล็กกล้า แต่อัตราร่วนของความแกร่งต่อน้ำหนัก มีค่าต่ำกว่า ก่อให้เกิดการโค้งงอเมื่อได้รับแรง ดังนั้นการ ออกแบบเทอร์โมพลาสติกจึงพิจารณาอิทธิพล ของความแกร่ง มากกว่าความแข็งแรง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุวิศวกรรมหลายแบบ

Material	Specific gravity (g cm <sup>-3</sup> )	Modulus (GN m <sup>-2</sup> )	Specific Modulus (MN m kg <sup>-1</sup> )	Strength (MN m <sup>-2</sup> )	Specific strength (kN m <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )
Aluminium	2.7	71	26	80	30
Brass (70Cu/30Zn)	8.5	100	12	550	65
Mild steel	7.86	210	27	460	59
Polyamide 66	1.14	3	2.6	80	70
Polycarbonate	1.24	2.3	1.9	60	48
Polyamide 66/30% glass	1.38	8	5.8	160	116

เมื่อค่าพลังงานสูงขึ้น พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ผลิต ต่อหน่วยก็เป็นข้อควรพิจารณาที่สำคัญ จากตารางที่ 1.2 จะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ผลิตเทอร์โมพลาสติก 1 ลูกบาศก์เมตร มักจะต่ำกว่าพลังงานที่ใช้ผลิตโลหะ

ส่วนที่สามที่นำมาเปรียบเทียบ คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นข้อดีของเทอร์โมพลาสติก ซึ่งสามารถผลิตได้เร็ว และ ทำซ้ำได้โดยสายงานฉีด ซึ่งใช้แรงงานน้อย และควบคุมได้โดย ไมโครโปรเซสเซอร์

ตารางที่ 1.2 ความต้องการพลังงานในการผลิตวัสดุต่างๆ

Material	Energy	
	(MJ kg <sup>-1</sup> )	(KJ m <sup>3</sup> /10)
Bottle glass	18	41
Low-density polyethylene	69	64
High-density polyethylene	70	67
Polypropylene	73	68
Polyvinyl chloride	53	69
Polystyrene	80	84
Polyurethane	130	100
Polypropylene/30% glass fibre	90	100
Polyester/30% glass fibre	90	150
Phenoplast	150	200
Steel	45	350
Aluminium	>200	>540
Brass	95	600

เทอร์โมพลาสติกมีความสำคัญเพิ่มขึ้นเมื่อมีการประดิษฐ์เทอร์โมพลาสติกเชิงวิศวกรรมใหม่ๆ ที่ทนความร้อนสูงขึ้น เช่น โพลีเอไมด์หลายชนิด โพลีซิลิโคน (Union Carbide) โพลีอีเทอร์ซิลิโคน (ICI) โพลีอีเทอร์ อีเทอร์ คีโตน (ICI) โพลีอีเทอร์ อิมิด (General Electric) และโพลีอิมิด (DuPont) ทุกตัวยกเว้นตัวสุดท้ายสามารถใช้ในงานฉีดได้ คุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้แสดงได้ในตารางที่ 1.3 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเหล่านี้เทียบได้กับอลูมิเนียม แม้แต่อุณหภูมิสูงถึง 200°ซ เป็นผลให้มีการใช้วัสดุมากขึ้นแทนโลหะที่ใช้กันอยู่ในหลายกรณีทำให้มีการปรับปรุงในการออกแบบชิ้นส่วน

ตัวอย่างเช่น การใช้โพลีอีเทอร์ ซิลิโคนสำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ วัสดุนี้สามารถนำมาเชื่อมบัดกรีได้โดยไม่โค้งงอ และการผลิตด้วยงานฉีดก็ทำได้เร็วและถูก

ถ้าหากเทอร์โมพลาสติกดีจริง ทำไมจึงแทนโลหะไม่ได้ทั้งหมด เหตุผลหลักข้อหนึ่งคือ ความทนทานต่ออุณหภูมิสูงมีน้อย หากจะต้องปรับปรุงเทอร์โมพลาสติก จะต้องปรับปรุงความแกร่ง ความเหนียว และความต้านทานต่อการคืบ (creep) ที่อุณหภูมิสูง จะต้องพิจารณาว่าจะปรับปรุงกันได้อย่างไร

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกทางวิศวกรรมที่ทนอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับอลูมิเนียม

Property	Unit	Polysulphone	Polyether sulphone	Polyether ether ketone	Polyether imide	Polyimide	Aluminium
Specific gravity	g cm <sup>-3</sup>	1.24	1.37	1.32	1.27	1.36	2.7
Tensile modulus	GN m <sup>-2</sup>	2.5	2.44	1.1	3.0	1.43	71
Tensile Strength at yield (20°c)	MN m <sup>-2</sup>	70	80	91	105	72-86	80
Flexural strength (20°c)	MN m <sup>-2</sup>	106	129	-	200	-	-
Notched Izod impact	J m <sup>-1</sup>	69	84	-	50	80	-
Charpy notched impact	kJ m <sup>-2</sup>	-	-	54	10.0	-	-
Rockwell hardness	Class	M69	M88	-	M109	-	B70
Glass transition temperature	°C	190	225	143	230	-	-
Melting point	°C	-	-	334	-	-	660
Heat deflection temperature (1.85 MN m <sup>-2</sup> )	°C	173	203	135-160	200	360	-
Vicat softening point (1kg)	°C	-	226	-	219	-	-
Upper service temperature	°C	171	180	260	170	315	100

## 1.2 วิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก

มีวิธีการหลายวิธีในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล

### 1.2.1 โครงสร้างของโมเลกุล

การปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์ จำเป็นต้องหมายถึงการพัฒนาวัสดุใหม่และ กระบวนการผลิต ซึ่งสามารถทำปริมาณมากได้ เป็นเรื่องที่ต้องเสี่ยงและ ค่าใช้จ่ายสูง และ ถ้าเทอร์โมพลาสติกใหม่ไม่มีความแตกต่างจากของเดิมมาก ก็จะทำให้เจาะตลาดได้ยาก

เราลองมาสำรวจดูโครงสร้างโมเลกุลต่างๆ ที่มีอิทธิพลกับความแกร่งและทนต่ออุณหภูมิสูงขึ้น รูปที่ 1.1 (ก) แสดงถึงการจัดเรียงโมเลกุลของโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โครงสร้างแบบ HDPE มีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำและไม่สามารถนำมาใช้ที่อุณหภูมิสูง จึงไม่สามารถนำมาใช้ในงานวิศวกรรมได้ โมเลกุลมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่น ซึ่งสามารถยืดออกและหมุนได้เป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย เป็นผลให้อุณหภูมิหลอมตัวต่ำ และให้ความแกร่งน้อย

วัสดุที่รับแรงได้ดีกว่าคือ โพลิสไตรีน ดังในรูป 1.1 (ข) การที่มีหมู่อะโรมาติกทำให้จำกัดการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้เป็นวัสดุที่แข็งมากกว่า โพลิสไตรีนมีความเปราะและไม่เหมาะที่จะใช้งานวิศวกรรม

สาเหตุของการทำให้ทนอุณหภูมิสูงและความแกร่งเกี่ยวข้องกับความยากง่ายในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลในโพลิฟีนิลีนออกไซด์ (PPO) ดังในรูป 1.1 (ค) วงอะโร-

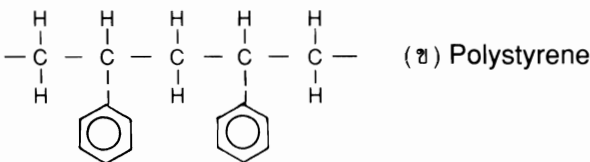
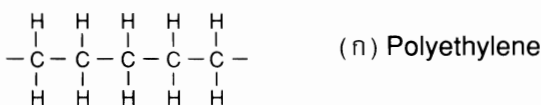
มาติกอยู่ในโครงสร้างสายโซ่ซึ่งทำให้เคลื่อนที่ได้จำกัดมาก แต่ข้อจำกัดมีมากเกินไป ทำให้ PPO เป็นวัสดุที่ใช้งานยาก แม้ว่าคุณสมบัติเชิงกลจะเหมาะสม โดยมากมักจะนำ PPO มาปรับปรุงโดยทำการเชื่อมต่อโมเลกุล (graft copolymerisation) กับโพลิสไตรีน (PS) เช่น Noryl ผลิตโดย General Electric Plastics)

รูปที่ 1.1 (ง) แสดงโครงสร้างโพลิเอมีตชนิดอะโรมาติกของ Kevlar 49 ซึ่งเป็นวัสดุใยถักอีกชนิดหนึ่ง มักจะนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก โดยมากวัสดุนี้จะ สลายตัวก่อนที่จะหลอมละลาย

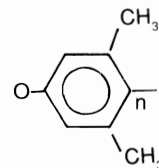
คุณลักษณะของการทนอุณหภูมิสูงและความแกร่งนี้ มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลทั้งหมด อาจจะทำได้อีกโดยการแทนพันธะคาร์บอน-คาร์บอน โดยพันธะที่แข็งแรงกว่า เช่น ซิลิกอน-ออกซิเจน จากนี้ก็นำไปสู่วัสดุเซรามิกส์ซึ่งนำมาใช้เสริมแรง

### 1.2.2. การเกิดโพลิเมอร์สหพันธ์ (Copolymerisation)

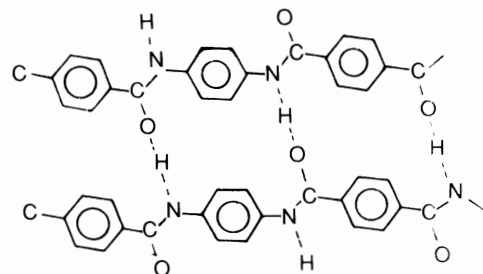
เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการออกแบบและการผลิตโพลิเมอร์ชนิดใหม่ จึงมีงานวิจัยทางการหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการผสม และทำโพลิเมอร์สหพันธ์ของวัสดุที่มีอยู่แล้วโดยทั่วไป การผสมไม่ค่อยมีประโยชน์มากเพราะส่วนผสมไม่เข้ากันได้ดี ทำให้เกิดผิวของแต่ละส่วนประกอบติดกันไม่ดี และให้คุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ในกระบวนการที่มีอัตราการเย็นสูง เช่น งานฉีด จะเกิดการแยกชั้นของส่วนผสม



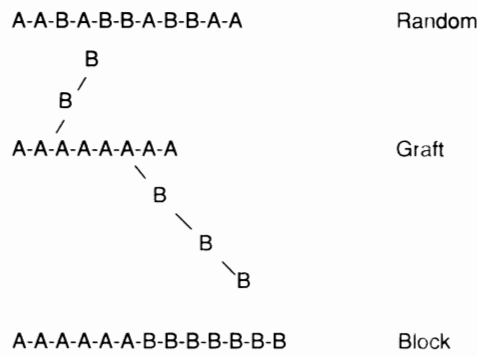
(ค) Polyphenylene Oxide



(ง) Kevlar



รูปที่ 1.1 โครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกบางชนิด



รูปที่ 1.2 โพลีเมอร์แบบ random, graft และ block

ถ้าผสมกันทางเคมี จะได้วัสดุดีกว่าการผสมทางเชิงกล วิธีนี้ช่วยให้เนื้อติดแน่นกันดีระหว่างโพลีเมอร์ที่ผสมกัน โดยทำให้เป็นโพลีเมอร์สหพันธ์แบบสุ่ม แบบกราฟท์หรือบล็อก การเกิดโพลีเมอร์สหพันธ์ทำได้โดยมีโพลีเมอร์เอกพันธ์ (homopolymer) สองชนิด คือ A และ B และเกิดโครงสร้างดังแสดง ในรูปที่ 1.2 พฤติกรรม ของโพลีเมอร์สหพันธ์ขึ้นกับชนิด ธรรมชาติ และความเข้มข้นของส่วนประกอบ ตัวอย่างที่รู้จักกันของโพลีเมอร์สหพันธ์คือ ABS ซึ่งมีอยู่หลายเกรด

การทำโพลีเมอร์สหพันธ์ของโพรพิลีนและเอทิลีน มักจะทำให้สัดส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้เกรดเทอร์โมพลาสติกที่แข็ง จนถึงเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ข้อแตกต่างที่สำคัญ ระหว่างโพลีเมอร์สหพันธ์กับ โพลีเมอร์เอกพันธ์ 2 ตัวนั้น คือ โพลีเมอร์สหพันธ์มีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีกว่า โดยสูญเสียความแข็งแรง และความแข็งเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิสูง

### 1.2.3 ความเป็นผลึก (Crystallinity)

อีกวิธีหนึ่งในการปรับปรุงความแข็งแรงและให้คุณสมบัติทางกายภาพที่อุณหภูมิสูงโดยการเพิ่มความเป็นผลึก การเรียงตัวเป็นระเบียบของโซ่โมเลกุลจะทำให้เกิดบริเวณที่เป็นผลึกซึ่งลดการเคลื่อนไหวของโซ่โมเลกุล เมื่อแรงระหว่างโมเลกุลสูงขึ้นจะทำให้จุดเดือดสูงขึ้นโพลีเอทิลีนมีอยู่หลายชนิดต่างกันที่ปริมาณของความเป็นผลึก การเติมหมู่ข้างเคียงทำให้ลดโอกาสที่จะเกิดผลึก โพลีเอทิลีนที่มีบริเวณผลึกสูงที่สุดได้แก่ HDPE ซึ่งใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า LDPE

### 1.2.4 การเชื่อมต่อ (Crosslinking)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกที่สุดในการปรับปรุงความแข็งแรง เส้น ยางวัลคาไนซ์ หรือ เทอร์โมเซต ซึ่งมีความแข็งแรงเนื่องจากการเชื่อมต่อโครงสร้างโมเลกุล เมื่อเร็ว ๆ นี้เทอร์โมพลาสติกหลายตัวสามารถแข่งกับเทอร์โมเซตในด้านการใช้งาน ที่อุณหภูมิสูง และเทอร์โมพลาสติกมีข้อดี คือ มีกรรมวิธีการผลิตเร็ว ง่าย และอาจนำกลับมาใช้อีก

### 1.2.5 การเสริมแรง

การเสริมแรงเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตด้วยใยเซรามิกส์ ใยโลหะ หรือใยโพลีเมอร์เป็นเรื่องที่สำคัญ อาจทำให้วัสดุประกอบที่ได้มีราคาถูกกว่าโพลีเมอร์เดิม เกรดที่เสริมแรงเป็นการประสานของความแข็งแรง และความแข็งแรงของเส้นใย เนื้อโพลีเมอร์จะช่วยป้องกันเส้นใยเหล่านี้ และถ่ายเทแรงให้เส้นใย วัสดุนี้จะผสมผสานคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยและเนื้อโพลีเมอร์ ทำให้สามารถปรับปรุงค่าความเหนียว ความแข็งแรง และความต้านทาน ต่อการคืบวัสดุ เหล่านี้สามารถเป็นคู่แข่งของโลหะใน อุตสาหกรรมรถยนต์ การบิน และเครื่องใช้ในบ้าน

กลไกการเพิ่มความแข็งแรงขึ้นกับรูปร่างของวัสดุเสริมแรง ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นผงหรือเส้นใย วัสดุเสริมแรง ที่เป็นผงช่วยเพิ่มความคงทนต่ออุณหภูมิสูง ลดความเสียดทาน เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ เพิ่มความสามารถในการทำชิ้นงาน และลดความหดตัว ในบางครั้งผงที่เติมจะช่วยลดราคาด้วย

**ตารางที่ 1.4** คุณสมบัติของเส้นใยที่ใช้ในการเสริมแรงเทอร์โมพลาสติก

Fibre	Density (g cm <sup>-3</sup> )	Young's modulus (average value) (GN m <sup>-2</sup> )	Tensile strength (average value) (GN m <sup>-2</sup> )
E-glass	2.55	75	2.0
S-glass	2.49	75	5.5
Carbon	2.00	170-200	0.5-1.0
Boron	2.60	400-450	3.0-3.5
Chrysotile asbestos	2.50	160	2.0
Silicon carbide	3.15	220-300	4.0-10.0
Kevlar	1.45	130	3.0-3.6

การเสริมแรงด้วยเส้นใย ช่วยปรับปรุงข้อด้อยของเทอร์โมพลาสติกทางด้านความแกร่ง ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการคืบ

ตารางที่ 1.4 แสดงถึงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ใช้เสริมแรง E glass เป็นวัสดุที่ใช้มากและมีราคาถูก ส่วนใยโบรอน คาร์บอน และโพลีเอรามิด (Kevlar 49) มีความสำคัญเนื่องจากมีความแกร่งสูง ใยคาร์บอนใช้ได้กว้างเนื่องจากมีหลายแบบและควบคุมโครงสร้างได้ง่าย

เส้นใยที่กระจายในเนื้อโพลิเมอร์อาจมีความต่อเนื่องซึ่งจะทำให้แรงถ่ายเทไปยังเส้นใย โดยผ่านเนื้อโพลิเมอร์

หรือเส้นใยอาจจะสั้น ในกรณีเส้นใยสั้น เส้นใยจะต้องมีความยาวพอเพียงที่แรงจะถ่ายเทไปยังเส้นใยได้อย่างดี ความยาวของเส้นใยจะอยู่ในช่วง 0.125-0.5 มม. เทอร์โมพลาสติกผสมใยสั้นเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมากที่ใช้แทนโลหะในงานที่ต้องการความแข็งแรง และมีน้ำหนักเบา

ตารางที่ 1.5 แสดงถึงการปรับปรุงเนื้อโพลิเมอร์โดยการเสริมเส้นใย ที่มองเห็นได้ชัด คือ การเสริมแรงด้วยเส้นใยช่วยเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานของโพลิเมอร์ที่เป็นผลึกได้มาก แต่เพิ่มเพียงเล็กน้อยสำหรับโพลิเมอร์ที่ไร้ผลึก

**ตารางที่ 1.5** ประโยชน์ของการเสริมแรงด้วยพลาสติกที่เป็นผลึกและไร้ผลึกด้วย 30% น้ำหนัก/ของใยแก้วต่อน้ำหนักของพลาสติก

Plastics material	Heat distortion temperature at 1.81 MN M <sup>-2</sup> (°C)		distortion temperature MN m <sup>-2</sup>	Tensile strength at 23 °C (MN m <sup>-2</sup> )	
	Actual	Enhancement		Actual	Enhancement
Crystalline					
Nylon 66	248	+153	180	+100	
Polyether ether ketone	300	+145	175	+75	
Nylon 6	212	+137	160	+100	
Polypropylene	148	+83	86	+51	
Amorphous					
Polyether sulphone	216	+15	145	+55	
Noryl	145	+15	125	+59	
Polycarbonate	140	+10	120	+56	
ABS	100	+10	90	+40	

ตารางที่ 1.6 คุณสมบัติของ PEEK

Property	PEEK	PEEK +20% w/w glass	PEEK +20%w/w carbon
Specific gravity (g cm <sup>3</sup> )	1.3	1.37	1.4
Tensile modulus at 150 °c (GN m <sup>-2</sup> )	1.1		
Tensile strength at yield at 25 ° C (MN m <sup>-2</sup> )	100	149	165
Flexural strength (MN m <sup>-2</sup> )			260
Notched Izod impact strength (kJ m <sup>-2</sup> )	54	7.6	0.048
Heat deflection temperaturc at 1.81 MN m <sup>-2</sup> ( °C)	135-160	286	300
Continuous service temperature ( °C)	250	-	-

การเสริมแรงเส้นใยเป็นวิธีเชิงกลมากกว่าเชิงเคมี เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานทางวิศวกรรม วิธีนี้ทำได้อีกกว่า การออกแบบเทอร์โมพลาสติกใหม่โดยวิธีทางเคมี

## 2. เทอร์โมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย

เริ่มแรกการเสริมแรงด้วยเส้นใย มีวัตถุประสงค์ ที่จะปรับปรุงความแข็งแรง (strength) ความแกร่ง (stiffness) และความต้านทานการคืบ (creep) ของเนื้อโพลิเมอร์ จึงน่า สนใจที่จะวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียในการเสริมแรง

### 2.1 Strength และ Flexural Modulus

โดยปกติพลาสติกไม่แข็งแรงเท่ากับโลหะ เมื่อดูจาก ความแข็งแรงต่อหน่วยปริมาตรปกติเมื่อเสริมแรงด้วย เส้นใยในเนื้อโพลิเมอร์แล้ว จะเพิ่มความแข็งแรงและอุณหภูมิ การโก่งตัว (heat deflection temperature)(ดูตารางที่ 1.6)

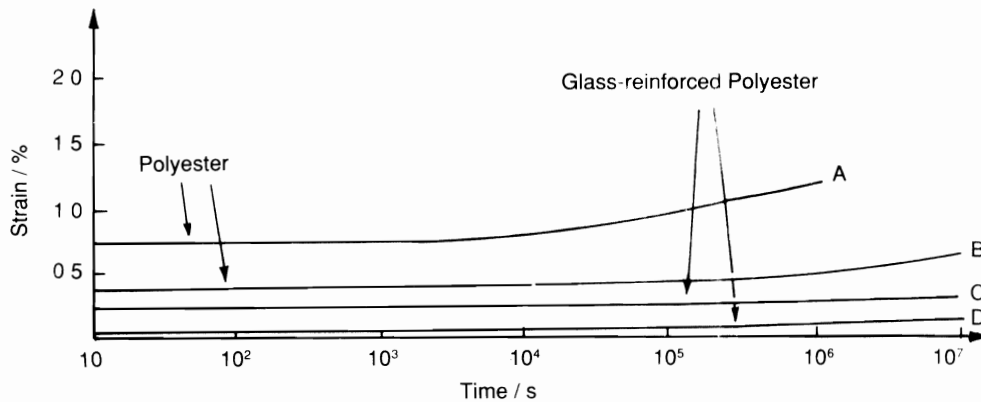
ค่า Flexural modulus ของพลาสติกมีค่าต่ำกว่าวัสดุก่อสร้างทั่วไป แต่เมื่อเสริมเส้นใยและ coupling agents ที่เหมาะสมก็จะมีคุณสมบัติไม่ต่างกันมาก

### 2.2 ความต้านทานต่อการคืบ และ อุณหภูมิ

รูปที่ 1.5 แสดงถึงอิทธิพลของการเสริมแรง ด้วยเส้นใย ที่มีต่อการคืบของวัสดุ จะเห็นได้ชัดว่า การเสริมแรงช่วยลดการคืบและสามารถใช้วัสดุ ประกอบในงานที่อุณหภูมิสูง

### 2.3 ความแข็งของผิว

เทอร์โมพลาสติกมีความแข็งของผิวนาน้อยกว่า โลหะและแก้ว PMMA มีความแข็งของผิวนานที่สุด ซึ่งเทียบได้กับอลูมิเนียม การเสริมแรงเส้นใยในเทอร์โม พลาสติกจะลดความแข็งของผิวนาน การปรับปรุงทำได้โดย ลดรูพรุน และใช้ใยแก้วแทนที่จะเป็นใยคาร์บอนหรือโบรอน การเคลือบวัสดุซิลิโคน หรือ โพลียูรีเทนก็ช่วยเพิ่มความแข็งของวัสดุได้



รูปที่ 1.5 Creep behaviour of reinforced unreinforced grades of polyesters at 20 °C. Tensile stress: for the unreinforced grades, (A) 20 MN m<sup>-2</sup>, (B) 10 MN m<sup>-2</sup>, for grades, (C) 20 MN m<sup>-2</sup>, (D) 10 MN m<sup>-2</sup>.

## 2.4 ความทนทานต่อสภาวะอากาศ

อะคริลิกและเทอร์โมพลาสติกทางวิศวกรรมใหม่ๆ เช่น polyetherimide (PEI) มีความทนทานต่อแสงยูวีและสภาวะอากาศในเขตร้อน แต่พวกสไตรีนและโพลีพรพิลีนที่ไม่ได้ปรับปรุงจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว โดยความเหนียวลดลงเมื่อถูกแสงแดดเพียงสองสามเดือน การเสริมเส้นใยไม่ช่วยป้องกันได้ แต่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยเติมพวก UV stabilisers

## 2.5 การไหม้ไฟ (Flammability)

พลาสติกทุกชนิดที่เป็นโพลิเมอร์พวกไฮโดรคาร์บอนจะไหม้ไฟ การย่อยสลายทางเคมีทำให้เกิดก๊าซที่ไวไฟและมักทำให้เกิดควันดำ ปัจจุบันมีเกรดชนิดที่ผสมสารป้องกันการไหม้ไฟ โดยมากสารเติมแต่งเหล่านี้จะช่วยเพิ่ม อุณหภูมิในการติดไฟ แต่เมื่อติดไฟแล้วอาจเพิ่มก๊าซหรือ ควันพิษเมื่อเร็ว ๆ นี้มีการใช้ PEEK หุ้มสายไฟเนื่องจากทนไฟได้ดีกว่าพวก PVC

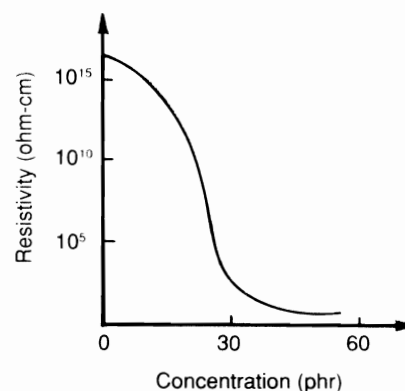
## 2.6 การขยายตัวทางความร้อนและการหดตัวในแม่แบบ

การขยายตัวทางความร้อนของพลาสติกต่างจากโลหะประมาณตั้งแต่ 5 ถึง 10 เท่า ปัญหานี้เกิดขึ้นเมื่อวัสดุเย็นตัวลงในแบบของงานฉีด ในการออกแบบจะต้องเผื่อการหดตัวไว้พวกวัสดุที่เป็นผลึก (crystalline) จะมีการหดตัวในแม่

แบบประมาณ 1-4% และหดตัวไม่สม่ำเสมอวัสดุพวกที่ไร้ผลึก (amorphous) หดน้อยกว่า 0.5-1.0% และมีการหดตัวสม่ำเสมอ

## 2.7 ประจุไฟฟ้าสถิต

โพลิเมอร์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เสวและจะเกิดไฟฟ้าสถิตที่ผิวหน้า โดยสังเกตได้จากพรมที่ทำจากเส้นใยประดิษฐ์ อาจจะมีการเติมสารลดประจุไฟฟ้าสถิต โดยที่สารเติมแต่งนี้จะดูหน้าเป็นฟิล์มบางๆ อยู่บนผิวของโพลิเมอร์ซึ่งเป็นสื่อหน้าไฟฟ้าได้



รูปที่ 1.6 อิทธิพลของสารเติมต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ในระบบยางปกติผสมคาร์บอนแบล็ก

## 2.8 ราคา

ข้อดีอย่างหนึ่งคือ เทอร์โมพลาสติกเสริมแรงใยแก้ว มีราคาถูกกว่าเนื้อเทอร์โมพลาสติกก้วนๆ นอกจากนี้ วัสดุเสริมแรงมีความแข็งแรงกว่าจึงใช้เนื้อบางได้ ทำให้ ลดค่าใช้จ่ายลงได้

## 2.9 ข้อดีอื่นๆ

เส้นใยแก้วช่วยปรับปรุงความแข็งแรงต่อความล้า (fatigue) ความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมและเคมี จึงทำให้เกรดที่เสริมใยแล้วใช้ในแผ่นได้กระป๋องรถ เครื่องใช้ไฟฟ้า และการประยุกต์อื่นๆ ที่ต้องการความทนทานต่อเคมีภัณฑ์

ข้อเสียของเทอร์โมพลาสติกเสริมแรง คือ

## 2.10 ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก (Impact strength)

การเสริมแรงเส้นใย มักจะทำให้ค่าความแข็งแรง ต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบลดลง โดยเฉพาะ การใช้เส้นใยที่เปราะ ดังนั้นการใช้เส้นใยให้เหมาะกับ เทอร์โมพลาสติกจึงสำคัญมาก

## 2.11 การตกแตงผิวหน้าและความโปร่งแสง

ผิวของเกรดที่ผสมเส้นใยจะมีความเงามันน้อยกว่า เกรดธรรมดา โดยเฉพาะกรณีผสมสีดำมากขึ้นเพื่อไม่ให้มองเห็นเส้นใยที่อยู่ใต้ผิว เกรดผสมเส้นใยจะมีลักษณะผิวทึบหรือโปร่งใสสม่ำเสมอ ความโปร่งใสจะเกิดขึ้นได้เมื่อเส้นใยมีความยาวน้อยกว่าคลื่นแสง ซึ่งกรณีความแข็งแรง จะ

เพิ่มน้อยมาก หรือเมื่อเส้นใยมีดัชนีหักเหกับผิวเคลือบ และเนื้อเทอร์โมพลาสติก

## 2.12 คุณสมบัติการไหล

ความหนืดของเกรดที่ผสมเส้นใย มักจะสูงกว่า ความหนืดของเนื้อพลาสติกที่ไม่ได้ผสม ที่อัตราการฉีดร้อนต่ำๆ อิทธิพลนี้จะมีค่าสูงสุด แต่จะไม่สำคัญมากที่สุดในการฉีด ของอัตราการฉีดในงานอัดและงานฉีด แม้ว่าจะใช้แรงดัน สูง ใน barrel เส้นใยจะช่วยลด melt elasticity ซึ่งจะช่วย การพองตัวที่หัว die และลดความบิดเบี้ยววัสดุที่ออกมา

## 2.13 กรรมวิธีการผลิต

ปัญหาหลักในการผลิตเกรดเส้นใยเสริมแรงคือ การสึกหรอจากเส้นใยหรือผงที่เติมเช่น คิวตซ์ โดยเฉพาะไป ทำให้ผิวของเครื่องฉีดหรือเครื่องฉีดสีกรอ ด้วยเหตุผลนี้จึง ต้องทำให้สกรูและกระบอกมีความแข็งแรงสูงขึ้น อิทธิพลของกรรมวิธีการผลิตที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลจึงต้องมีการศึกษา ในแต่ละระบบ

## เอกสารอ้างอิงและอ่านประกอบ

1. Clegg, D.W. and Collyer, A.A. (1986). *Mechanical Properties of Reinforced Thermoplastics*. Elsevier, London.
2. Morley, J.G. (1987). *High Performance Fibre Composites*. Academic Press, London.
3. Lubin, G. (1982). *Handbook of Composites*. Van Nostrand Reinhold, New York.