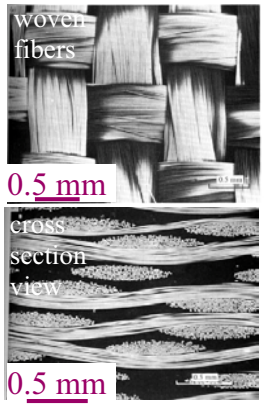
2109101
Engineering Materials

วัสดุผสม
Composite Materials

นิยามและประเภทของวัสดุผสม

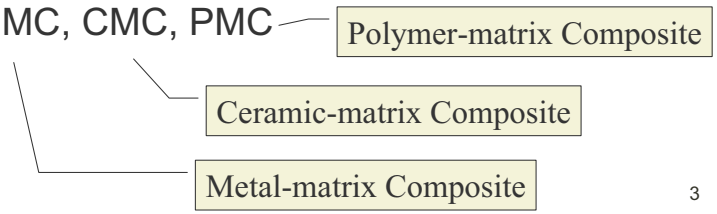
- วัสดุผสม
  - ประกอบขึ้นจากวัสดุหลายชนิด
  - มีสัดส่วนแน่นอน
  - คุณสมบัติขึ้นกับวัสดุตั้งต้น
  - ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี/หลอม/ละลาย
  - ผสมในระดับมหภาค หรือ จุลภาค
- ประกอบด้วย วัสดุพื้น (Matrix) และวัสดุเสริม (Dispersed Phase)



Reprinted with permission from D. Hull and T.W. Clyne, *An Introduction to Composite Materials*, 2nd ed., Cambridge University Press, New York, 1996, Fig. 3.6, p. 47.

นิยามและประเภทของวัสดุผสม

- วัสดุพื้น (เมทริกซ์)
  - เนื้อวัสดุมีความต่อเนื่อง
  - มีหน้าที่ถ่ายทอดแรงกระทำไปยังเฟสอื่น (วัสดุเสริม)
  - ปกป้องเฟสอื่น (วัสดุเสริม) จากสิ่งแวดล้อม
- ประเภท
  - MMC, CMC, PMC



นิยามและประเภทของวัสดุผสม

- วัสดุเสริม
  - เพิ่ม/เสริมคุณสมบัติให้แก่เมทริกซ์
  - MMC เพิ่ม ความแข็งแรง ความต้านทานการคืบ
  - CMC เพิ่ม ความแกร่ง (Toughness)
  - PMC เพิ่ม มอดุลัสความยืดหยุ่น ความแข็งแรง ความต้านทานการคืบ
- ประเภทของวัสดุผสมแบ่งตามลักษณะของวัสดุเสริม
  - Particle, Fiber, Structural
  - อนุภาค, เส้นใย, โครงสร้าง

ปัจจัยของวัสดุเสริมที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสม

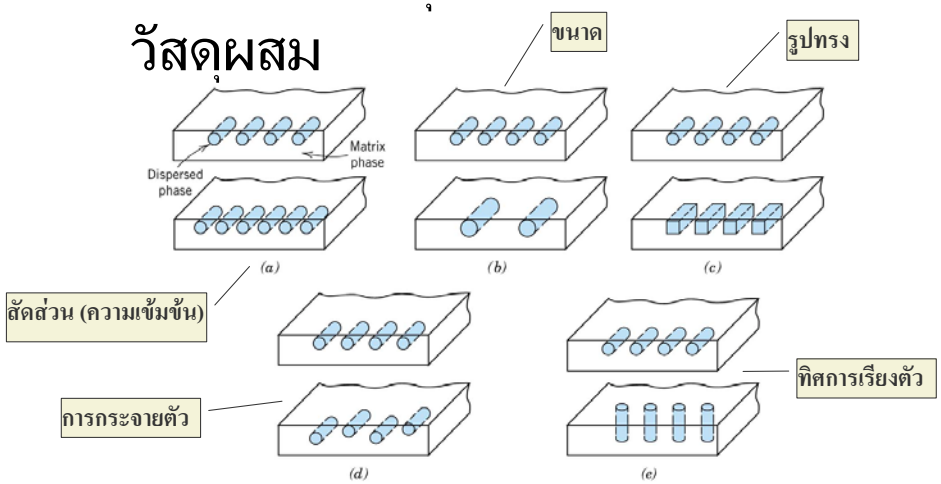
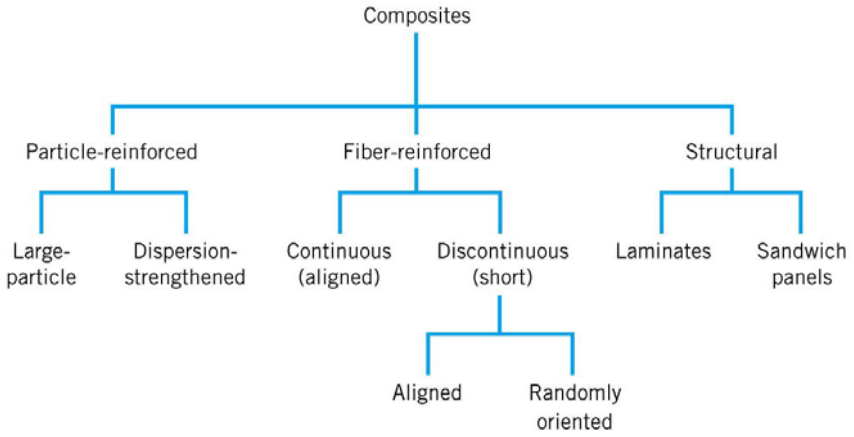


FIGURE 16.1 Schematic representations of the various geometrical and spatial characteristics of particles of the dispersed phase that may influence the properties of composites: (*a*) concentration, (*b*) size, (*c*) shape, (*d*) distribution, and (*e*) orientation. (From Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, *Engineering Materials and Their Applications*, 4th edition. Copyright © 1990 by John Wiley & Sons, Inc. Adapted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

ประเภทของวัสดุผสม



วัสดุผสมชนิดเสริมด้วยอนุภาค (1)

- แบ่งเป็น ๒ ประเภทใหญ่
  1. **วัสดุผสมเม็ดผง หรือ อนุภาคขนาดใหญ่ (Large-particle Composites)**
     เฟสอนุภาคแข็งและมีมอดุลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อพื้น เพิ่มสมบัติทางกลของเนื้อพื้นโดยการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของทั้งสองเฟส
  2. **วัสดุผสมเสริมแรงด้วยอนุภาคละเอียด (Dispersion-strengthening Composites)**
     ขนาดอนุภาค 0.01-0.1μm เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อพื้น ส่งผลต่อความต้านทานการแปรรูปถาวรของเนื้อพื้นโดยตรง

วัสดุผสมชนิดเสริมด้วยอนุภาค (2)

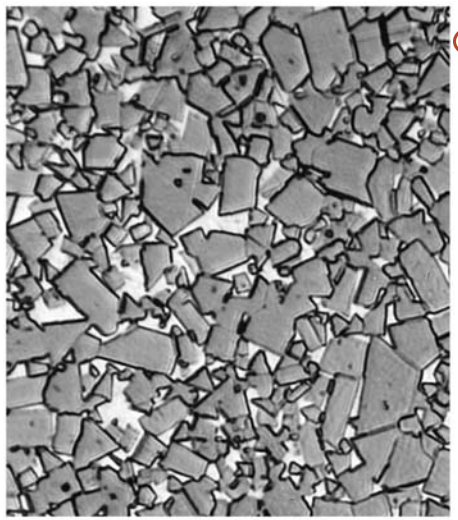


FIGURE 16.4 Photomicrograph of a WC–Co cemented carbide. Light areas are the cobalt matrix; dark regions, the particles of tungsten carbide. 100×. (Courtesy of Carboloy Systems Department, General Electric Company.)

ทำเครื่องมือตัดเหล็กกล้าที่แข็งพิเศษ

%Vol particle ~ 90% or more!

วัสดุผสมชนิดเสริมด้วยอนุภาค (3)

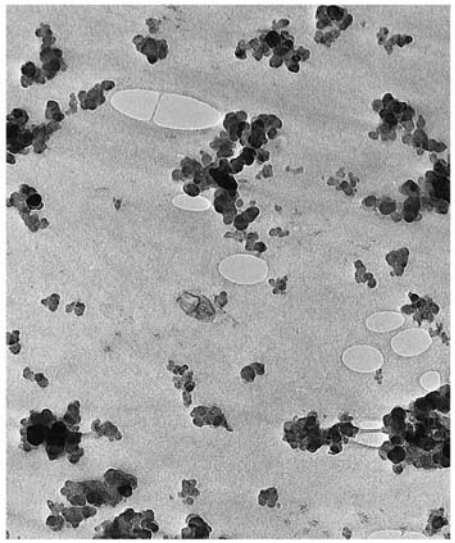


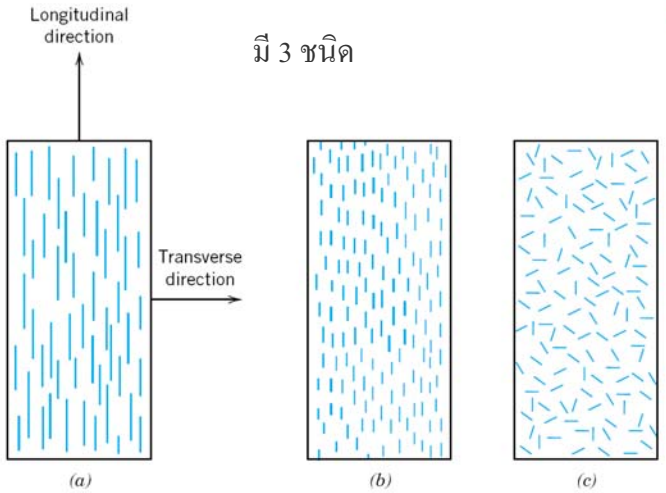
FIGURE 16.5 Electron micrograph showing the spherical reinforcing carbon black particles in a synthetic rubber tire tread compound. The areas resembling water marks are tiny air pockets in the rubber. 80,000×. (Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Company.)

ผงถ่าน 20-50 nm เพิ่มความต้านแรงดึง ความแกร่ง ความต้านทานการฉีกขาดและการเสียดสีให้ยาง

เงื่อนไข- ผงถ่านต้องกระจายตัวสม่ำเสมอและมีการยึดเหนี่ยวกับยางอย่างแข็งแรง

%Vol particle ~ 15-30%

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (1)



มี 3 ชนิด

FIGURE 16.8 Schematic representations of (*a*) continuous and aligned, (*b*) discontinuous and aligned, and (*c*) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (2)

- วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยต่อเนื่องแนวเดียว (Continuous and Aligned Fiber Composites)
  - ใช้เส้นใยที่มีมอดุลัสของยังก์และความต้านแรงดึงสูงกว่าเนื้อพื้น
  - สมบัติการต้านแรงดึงในทิศขนานเส้นใยจะสูงกว่าทิศตั้งฉากมาก (มีความเป็นแอนไอโซโทรปิกสูง)

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (3)

- วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ต่อเนื่องและเรียงแนวเดียว (Discontinuous and Aligned Fiber Composites)
  - เส้นใยแก้วหั่นสั้น (Chopped Glass Fiber) มีการใช้งานมากที่สุด
  - สมบัติการต้านแรงดึงในทิศขนานเส้นใยจะสูงกว่าทิศตั้งฉากมาก แต่สมบัติจะด้อยกว่าในชนิดเส้นใยต่อเนื่อง

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (4)

- วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ต่อเนื่องและเรียงแบบอิสระ (Discontinuous and Randomly Oriented Fiber Composites)
  - สมบัติความต้านแรงดึงเท่ากันทุกทิศทาง (เป็นไอโซโทรปิก) แต่ประสิทธิภาพการเสริมแรงเป็น 1 ใน 5 ของชนิดที่เส้นใยเรียงแนวเดียว

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (5)

- เส้นใยที่ใช้
  - แบ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลางและสมบัติทางกล
    - วิสเกอร์ (Whisker) เป็นผลึกเดี่ยวเส้นเล็ก ๆ มี length-to-diameter ratio สูงมาก แข็งแรงมากเนื่องจากมีตำหนิน้อย แต่ราคาสูง และไม่สะดวกในการนำมาผสมในวัสดุผสม
      ตัวอย่าง- แกรไฟต์ SiC Si_3N_4 Al_2O_3
    - เส้นใย (Fiber)
    - เส้นลวด (Wire)

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (6)

- เส้นใยที่ใช้
  - แบ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลางและสมบัติทางกล
    - วิสเกอร์ (Whisker)
    - เส้นใย (Fiber) ทำจากวัสดุหลายผลึกหรืออสัณฐาน มักเป็นพอลิเมอร์หรือเซรามิก
      ตัวอย่าง- เส้นใยอะรามิด เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน โบรอน ซิลิคอนคาร์ไบด์ ฯลฯ
    - เส้นลวด (Wire) มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด
      ตัวอย่าง- เหล็กกล้า โมลิบดินัม ทังสเตน

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (7)

- เฟสเนื้อพื้นที่ใช้
  - มีทั้งพอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิก
    - มักเป็นพอลิเมอร์และโลหะ- ต้องการเนื้อพื้นที่เหนียว
    - เซรามิก ใช้เมื่อต้องการสมบัติด้านความแข็ง ความต้านทานการคืบ หรือด้านอื่น ๆ ที่เป็นสมบัติเด่นของเซรามิกนั้น ๆ โดยเสริมเส้นใย (มักเป็นเซรามิกเช่นกัน) เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความแกร่ง (ทนต่อการแตกหัก)

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (8)

Table 16.4 Characteristics of Several Fiber-Reinforcement Materials

Material	Specific Gravity	Tensile Strength [GPa (10^3 psi)]	Specific Strength (GPa)	Modulus of Elasticity [GPa (10^6 psi)]	Specific Modulus (GPa)
		Whiskers			
Graphite	2.2	20 (3)	9.1	700 (100)	318
Silicon nitride	3.2	5–7 (0.75–1.0)	1.56–2.2	350–380 (50–55)	109–118
Aluminum oxide	4.0	10–20 (1–3)	2.5–5.0	700–1500 (100–220)	175–375
Silicon carbide	3.2	20 (3)	6.25	480 (70)	150
		Fibers			
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon[a]	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-Glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1
Boron	2.57	3.6 (0.52)	1.40	400 (60)	156
Silicon carbide	3.0	3.9 (0.57)	1.30	400 (60)	133
UHMWPE (Spectra 900)	0.97	2.6 (0.38)	2.68	117 (17)	121

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (9)

- PMC (Polymer-matrix Composites)
  - GFRP=Glass Fiber-reinforced Polymer
  - CFRP= Carbon Fiber-reinforced Polymer
  - Kevlar, Nomex (ชื่อการค้า) เป็นวัสดุผสมเนื้อพื้นพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิด
  - เฟสเนื้อพื้น ได้แก่ พลาสติกประเภทเรซิน ที่ใช้มาก คือ พอลิเอสเทอร์ ไวนิลเอสเทอร์ ข้อดี คือ ขึ้นรูปได้ง่าย

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (10)

- MMC (Metal-matrix Composites)
  - Continuous-fiber reinforced MMC เช่น
    - Al-B fiber
    - 6061, 2024 + SiC fiber, B fiber
  - Discontinuous-fiber/ Particulate reinforced MMC
    - Al + SiC fiber, Alumina fiber
- มีราคาสูงกว่าพวก PMC จึงยังใช้งานไม่กว้างขวางเท่า

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (11)

- กระบวนการผลิต
  - การดึงยืดขึ้นรูป (Pultrusion)
    - ผลิตชิ้นส่วนยาว มีรูปทรงภาคตัดขวางคงที่
    - ดึง/ขึงเส้นใย (แก้ว คาร์บอน อะรามิด) ก่อน แล้วห่อหุ้มด้วยเรซิน

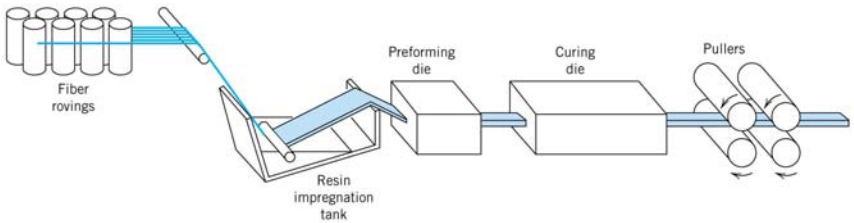


Figure 16.12 Schematic diagram showing the pultrusion process.

วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (12)

- กระบวนการผลิต
  - การพันเส้นใย (Filament Winding)
    - ควบคุมรูปแบบการพัน เส้นใยเรียงตัวสม่ำเสมอ

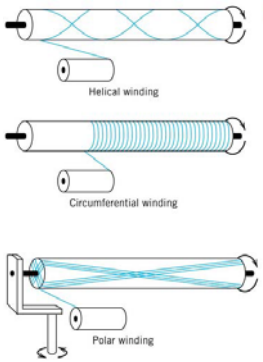


FIGURE 16.14 Schematic representations of helical, circumferential, and polar filament winding techniques. [From N. L. Hancox, (Editor), *Fibre Composite Hybrid Materials*, The Macmillan Company, New York, 1981.]

วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง (1)

- Laminar Composites วัสดุผสมลามินา
  -- ประกอบด้วยชั้นของแผ่นเสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีทิศทางต่าง ๆ กัน
  -- ไม้อัด สกี

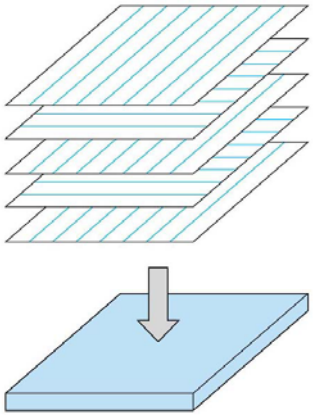
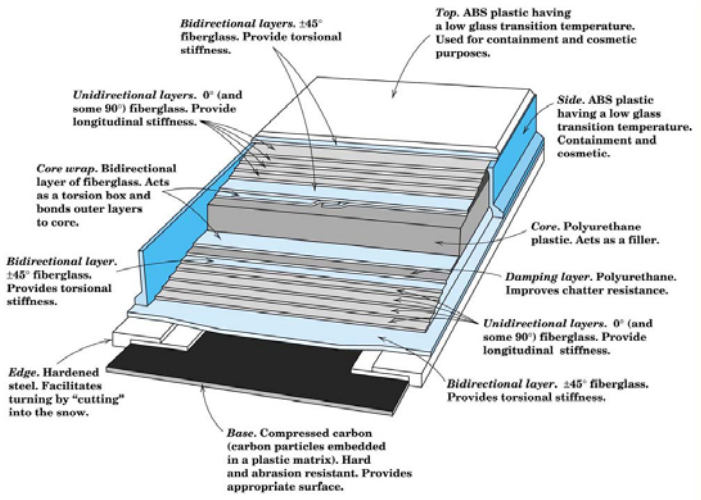


FIGURE 16.16 The stacking of successive oriented, fiber-reinforced layers for a laminar composite.

วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง (2)

- Laminar Composites วัสดุผสมลามินา



แผ่นสกีรุ่นใหม่ เป็นวัสดุผสมที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีส่วนประกอบหลายส่วน

ในรูปได้ระบุถึงฟังก์ชันและชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นส่วนประกอบแต่ละส่วน

วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง (3)

- Sandwich panels แผงประกบแบบแซนด์วิช
  -- ความหนาแน่นต่ำ, แกนกลางเป็นโครงสร้างรังผึ้ง
  -- ข้อดี: เบา, ความต้านการโก่งสูง

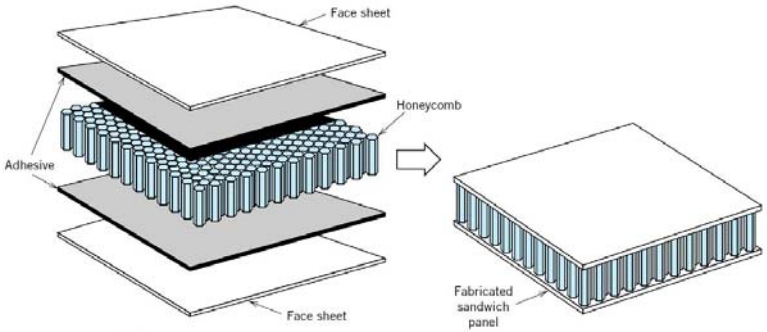
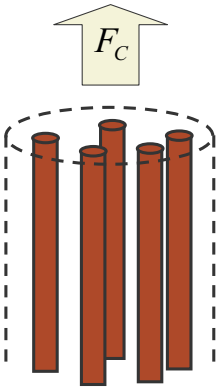


FIGURE 16.17 Schematic diagram showing the construction of a honeycomb core sandwich panel. (Reprinted with permission from *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, *Composites*, ASM International, Metals Park, OH, 1987.)

ตัวอย่างการคำนวณ

- การรับแรงของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยต่อเนื่อง ที่รับแรงตามแนวยาว (แนวเส้นใย)



$$F_C = F_m + F_f$$

$$\sigma_C A_C = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f$$

$$\left(V_m = \frac{A_m}{A_C}, V_f = \frac{A_f}{A_C}\right)$$

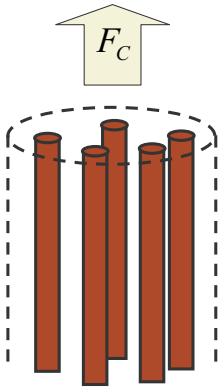
$$\sigma_C = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f$$

$$E_C = E_m V_m + E_f V_f$$

$$\varepsilon_C = \varepsilon_m = \varepsilon_f$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- การรับแรงของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยต่อเนื่อง ที่รับแรงตามแนวยาว (แนวเส้นใย)



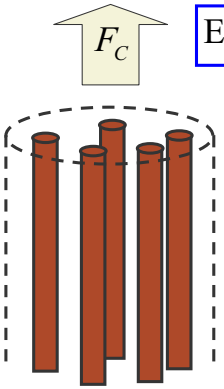
$$\varepsilon_m = \varepsilon_f$$

$$\frac{\sigma_m}{E_m} = \frac{\sigma_f}{E_f} \Rightarrow \frac{\sigma_f}{\sigma_m} = \frac{E_f}{E_m}$$

$$\Rightarrow \frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f V_f}{E_m V_m}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- การรับแรงของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยต่อเนื่อง ที่รับแรงตามแนวยาว (แนวเส้นใย)



Ex : $V_f = 40\%, E_f = 69\ \text{GPa}, E_m = 3.4\ \text{GPa}$

$$E_C = E_m V_m + E_f V_f$$
$$= (3.4)(0.6) + (96)(0.4)$$
$$= 30\ \text{GPa}$$

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f V_f}{E_m V_m} = \frac{13.5}{1}$$