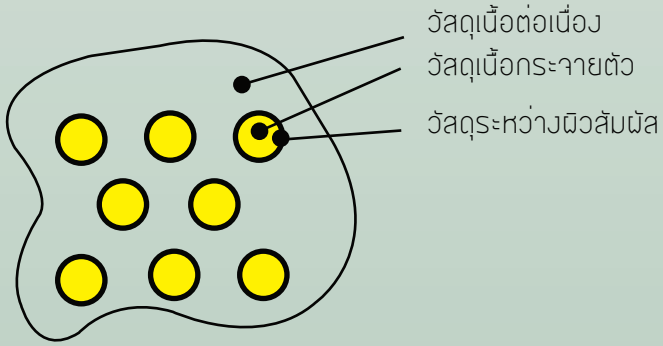
วัสดุคอมโพสิตหรือวัสดุผสม (Composite Materials)

ผศ.ดร.สินติพีร์ เอมมณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วัสดุคอมโพสิตคืออะไร

วัสดุคอมโพสิตคือวัสดุที่สร้างจากการนำเอาวัสดุมากกว่า 2 ชนิดหรือเฟส (phase) มาผสมรวมกันในระดับมหภาค (macroscopic scale) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำให้วัสดุที่ได้มามีสมบัติดีและมีประโยชน์มากกว่าวัสดุตั้งต้น ซึ่งการรวมตัวกันของวัสดุต่างๆ ในวัสดุคอมโพสิตยังสามารถแยกแยะออกจากกันด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตจึงจัดเป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous material) ตัวอย่างของภาพตัดของวัสดุคอมโพสิตแสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุเนื้อต่อเนื่อง (continuous phase) วัสดุเนื้อไม่ต่อเนื่อง(discontinuous or disperse phase) และวัสดุที่ผิวสัมผัส (interfacial phase) เพื่อช่วยประสานเนื้อของวัสดุต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเข้าด้วยกัน วัสดุหลากหลายประเภทเกิดจากการรวมกันของวัสดุมากกว่า 2 ชนิด แต่การรวมกันเกิดในระดับจุลภาค (microscopic scale) เช่นโลหะผสม (alloy) ซึ่งรวมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ (homogeneous) จึงไม่สามารถจำแนกออกจากกันด้วยตาเปล่า การรวมกันของวัสดุชนิดต่างๆ ในวัสดุคอมโพสิตจึงเปรียบเสมือนการออกแบบทางวิศวกรรมที่เกิดขึ้นในระดับของวัสดุเพื่อให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีที่สุดจากสมบัติของวัสดุตั้งต้น หรือมีสมบัติพิเศษที่เพิ่มขึ้นที่ไม่พบในวัสดุดั้งเดิมที่นำมาผสมกันเลย สมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ดีขึ้นจากการผสมของวัสดุตั้งต้น ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็งตึง ความต้านทานการผุกร่อน (corrosion resistance) ความต้านทานการสึกหรอ (wear resistance) ความต้านทานการล้า (fatigue) การตอบสนองต่ออุณหภูมิที่หลากหลาย (temperature dependent behavior) การนำหรือเป็นฉนวนความร้อน (thermal conductivity or insulation) การนำหรือเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical conductivity or insulation) การเป็นฉนวนเสียง (acoustic insulation) น้ำหนัก (weight) การหน่วงความสั่นสะเทือน (vibration damping) การซ่อมแซมตัวเองจากความเสียหาย (self healing) ความทนทานต่อการแตก (fracture toughness) การปรับเปลี่ยนรูปร่าง (shape morphing) การตรวจจับความเสียหายในเนื้อวัสดุ (health monitoring) และความสวยงาม เป็นต้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างของการรวมตัวของวัสดุสองชนิดในวัสดุคอมโพสิต

โดยปกติ สมบัติวัสดุของคอมโพสิตที่ได้รับการออกแบบให้ดีขึ้นเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และก็ไม่จำเป็นต้องเป็นเช่นนั้น เพราะสมบัติของวัสดุบางอย่างอาจเกิดในด้านที่ขัดแย้งกันเช่น การเป็นนำความร้อนได้ดีมักจะไม่เกิดขึ้นกับการเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดี หลักการโดยทั่วไปคือการสร้างวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติและคุณลักษณะที่จำเพาะกับการใช้งานด้านหนึ่งๆ แม้ว่าแนวโน้มการออกแบบวัสดุคอมโพสิตจะไปในทิศทางที่ทำให้วัสดุมีสมบัติที่มีความหลากหลายและทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกัน (multifunctional) มากยิ่งขึ้น

การแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิต

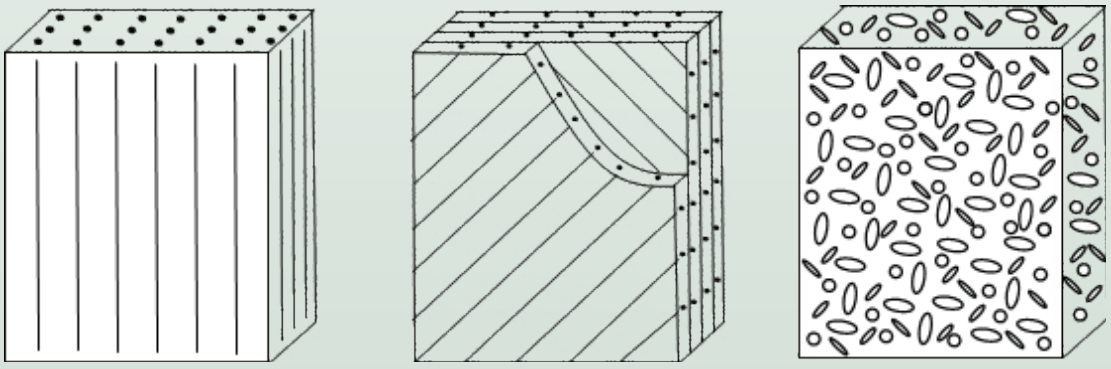
วัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งแยกได้ตามลักษณะทางกายภาพและรูปร่างของวัสดุที่นำมาผสมกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 1 ได้ดังนี้ [1]

1) วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced composite material หรือ fibrous composite) ซึ่งมีเส้นใย (fiber) เป็นวัสดุที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรง (reinforcement) และมีวัสดุพื้น (matrix) เป็นตัวประสานเส้นใยเข้าด้วยกัน ดังแสดงรูปที่ 2 (ก)

2) วัสดุคอมโพสิตแบบซ้อนกันเป็นชั้น หรือลามิเนต (laminated composite material) ประกอบไปด้วยการวางซ้อนกันของวัสดุหลายชนิดเป็นชั้นๆ ดังแสดงรูปที่ 2 (ข)

3) วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาค (particulate composite material) [illegible] ดังแสดงรูปที่ 2 (ค)

4) การผสมกันของวัสดุคอมโพสิตทั้งสามประเภทข้างต้น



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 วัสดุคอมโพสิตประเภทต่างๆ [2]

แม้ว่าจะมีการแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิตในข้างต้น แต่โดยทั่วไปการนำวัสดุมาผสมกันเป็นวัสดุคอมโพสิตจะมีแนวทางไปในทางคล้ายกัน และวัสดุตั้งต้นแต่ละชนิดมักจะมีสมบัติและความโดดเด่นที่แตกต่างกัน เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดทำหน้าที่ย่อยๆ แตกต่างกัน แต่ส่งเสริมซึ่งกันและกันเพื่อให้ได้สมบัติรวมของวัสดุคอมโพสิตตามต้องการ เช่น เส้นใยหรืออนุภาคหรือบางชั้นในลามิเนตจะมีความแข็งแรงของวัสดุมากกว่าวัสดุพื้นหรือชั้นอื่นๆ เพื่อทำหน้าที่รับภาระแรงที่มากระทำจากภายนอก โดยมีวัสดุพื้นหรือชั้นอื่นๆ เป็นตัวประสานให้วัสดุที่รับแรงทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ ในภาพรวมสมบัติของวัสดุคอมโพสิตจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุที่มาประกอบกัน ลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตของวัสดุที่นำมาประกอบกัน ความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของวัสดุเสริมแรง และสัดส่วนโดยปริมาณของวัสดุที่นำมาประกอบกันแต่ละชนิด

วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย

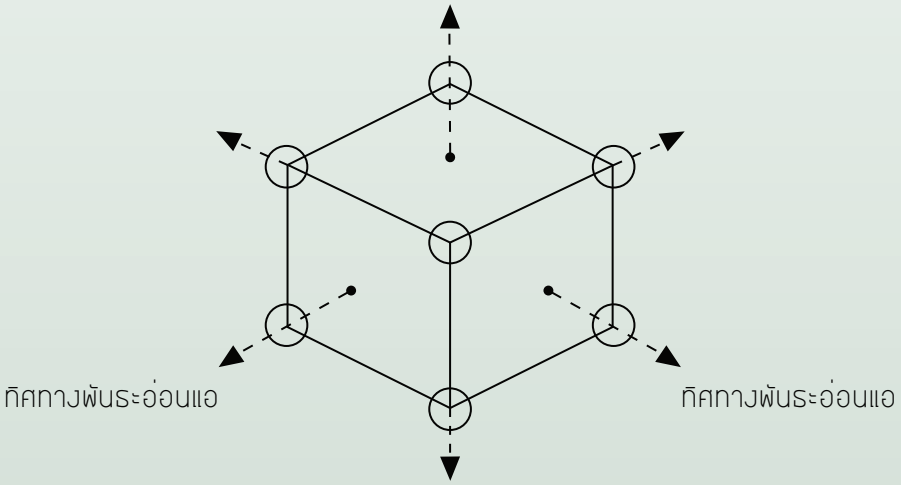
เส้นใย (fiber) เป็นวัสดุที่ผลิตให้เป็นรูปร่างทรงกระบอกโดยมีขนาดของหน้าตัดเล็กกว่าขนาดด้านความยาวมากๆ สมบัติที่โดดเด่นของเส้นใยคือมีความแข็งแรงและความแข็งตึงสูงกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีรูปร่างทรงตันและมีปริมาตรใหญ่กว่า ยกตัวอย่าง เช่น แผ่นแก้วปกติจะเกิดการแตกหักเมื่อได้รับความเค้นดึงขนาดประมาณ 20 MPa แต่เส้นใยแก้วที่ได้จากการผลิตในโรงงานจะมีความแข็งแรงรับแรงดึงอยู่ในช่วง 3,000-4,800 MPa และเส้นใยที่ผลิตในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมขนาดเป็นอย่างดีจะรับความเค้นดึงได้ถึง 7,000 MPa เหตุผลของเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่นั้นซ่อนอยู่ในหน่วยวัสดุพื้นฐาน (basic unit) ที่มีลักษณะทรงลูกบาศก์ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่สามารถพิจารณาได้ว่าที่มีมุมของหน่วยวัสดุพื้นฐานของวัสดุประกอบไปด้วยอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งอะตอมและโมเลกุลเหล่านี้เชื่อมต่อกันเป็นเนื้อวัสดุเดียวกันได้จากแรงของพันธะทางเคมี ความแข็งแรงของพันธะจะมีค่ามากที่สุดในบางทิศทางและมีค่าน้อยกว่าในทิศทางอื่นๆ หรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งคือค่าความแข็งแรงของหน่วยพื้นฐานของวัสดุเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (directional dependence) ดังนั้นค่าสมบัติของวัสดุที่มีค่าสูงในทิศทางหนึ่งๆ จะมาพร้อมกับค่าสมบัติของวัสดุที่มีค่าต่ำกว่าในทิศทางอื่นๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เสมอ สมบัติของวัสดุประเภทอื่นๆ ในหน่วยวัสดุพื้นฐาน เช่นค่าการนำไฟฟ้าหรือการนำความร้อนก็เป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับทิศทางด้วยเช่นกัน

ในขณะที่มีการผลิตวัสดุที่เป็นชิ้นขนาดใหญ่ หน่วยวัสดุพื้นฐานจะเรียงตัวกันในลักษณะสุ่มและไม่เป็นระเบียบในปริมาตร

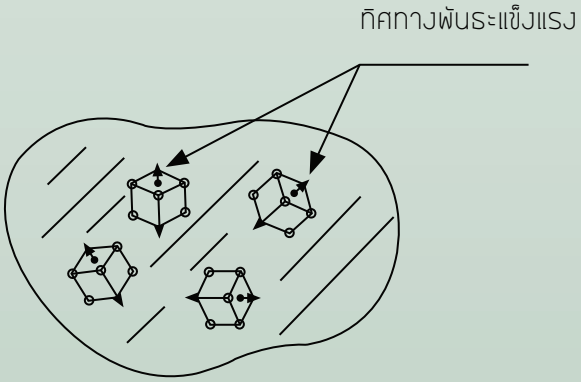
[illegible] ดังแสดงในรูปที่ 4 [illegible]

ทิศทางที่มีความอ่อนแอ และมีแนวโน้มจะมีค่าไปทางด้านอ่อนแอมากกว่าเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในการเรียงตัวในทิศทางที่มีความแข็งแรง การเฉลี่ยนี้ทำให้สมบัติของวัสดุที่ผลิตแบบชิ้นใหญ่มีค่าเท่ากันทุกทิศทางหรือเป็นสมบัติไอโซโทรปิก (isotropic)

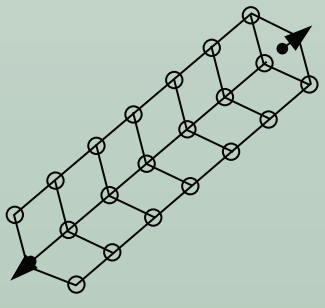
การผลิตเส้นใยจึงเป็นกระบวนการหนึ่งในการเรียงหน่วยของวัสดุให้ทิศที่มีความแข็งแรงและแข็งตึงสูงอยู่ในทิศทางตามความยาวของเส้นใย เพื่อให้เส้นใยมีสมบัติที่ดีในทิศทางตามความยาว และมีสมบัติที่อ่อนแอในทิศทางตามแนวขวางตามรูปที่ 5 ซึ่งทำให้สมบัติของเส้นใยมีค่าไม่เท่ากันทุกทิศทางหรือเป็นสมบัติแอนไอโซโทรปิก (anisotropic) โดยเฉพาะเส้นใยที่มีขนาดสั้นหรือวิสเกอร์ (whisker) นั้น (ยาว 10-100 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง) มีความแข็งแรงและความแข็งตึงสูงมากและอาจสูงใกล้เคียงกับความ แข็งแรงและแข็งตึงทางทฤษฎีหรือทางอุดมคติ (theoretical strength and theoretical stiffness) ถ้าผ่านกระบวนผลิตที่ควบคุมสภาวะอย่างดี



รูปที่ 3 หน่วยวัสดุพื้นฐาน [3]



รูปที่ 4 การเรียงตัวของหน่วยวัสดุพื้นฐานแบบสุ่มในวัสดุเป็นชิ้นขนาดใหญ่ [3]



รูปที่ 5 การเรียงตัวของหน่วยวัสดุพื้นฐานในทิศทางที่แข็งแรงตามแนวเส้นใย [3]

อย่างไรก็ดีการผลิตเส้นใยให้ยาวขึ้นจากการต่อหน่วยวัสดุพื้นฐานให้มากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงลดต่ำลง เนื่องจากความไม่สมบูรณ์และสิ่งเจือปนในวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้น เช่น การเคลื่อนของอะตอม (dislocation) หรือการขาดหายไปของอะตอมในเส้นใยกราไฟท์ (Graphite fiber) หรือการมีธาตุอื่นปนเปื้อนในเส้นใยอาระมิด (Aramid fiber) สาเหตุเหล่านี้ทำให้เส้นใยขนาดยาว หรือวัสดุที่มีปริมาตรขนาดใหญ่มีความแข็งแรง และสมบัติด้านอื่นๆ น้อยกว่าที่ควรมีในระดับหน่วยพื้นฐาน และถึงแม้ว่าเส้นใยสั้นหรือวิสเกอร์จะมีสมบัติที่ดี แต่เมื่อนำไปใช้งานจะไม่สามารถควบคุมทิศทางการวางตัวในวัสดุพื้นได้เนื่องจากขนาดที่สั้น จึงมีการวางตัวของเส้นใยเป็นแบบสุ่มและทำให้สมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเส้นใยสั้นมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิกหรือเหมือนกันทุกทิศทางในที่สุด

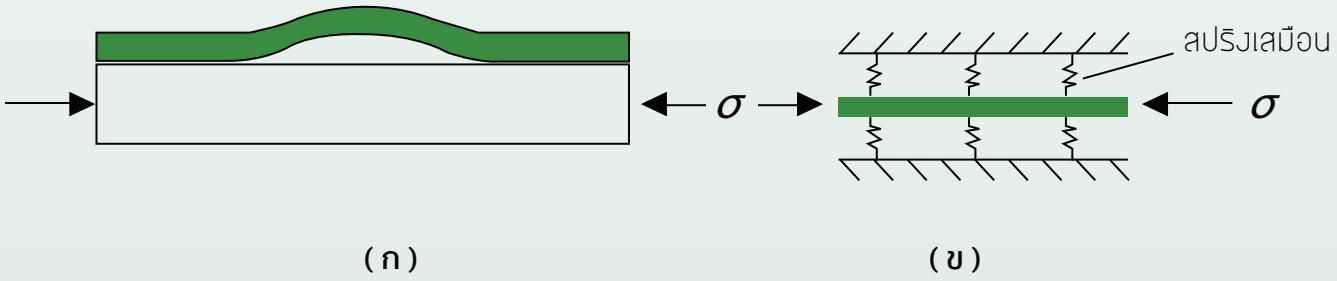
เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว เส้นใยที่มีขนาดยาวจะสามารถควบคุมทิศทางการวางตัวของเส้นใยได้และนำมาปรับเปลี่ยนรูปแบบโดยการนำมารวมกันเป็นกลุ่มเส้นใย (tow) สาน (weave) หรือถักทอ (braid) ให้เป็นผืนหรือรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ทำให้ได้รับความนิยมในการนำมาเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต หากแต่การนำเส้นใยมาใช้งานทางวิศวกรรม จำเป็นต้องมีการทดสอบเส้นใยจำนวนมากเนื่องจาก ความแข็งแรงของเส้นใยมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของวัสดุอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น ข้อมูลของสมบัติของเส้นใยที่นำมาใช้ในการออกแบบต้องเป็นข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์การกระจายตัวทางสถิติมาเป็นอย่างดี

ตัวอย่างของความแข็งแรงและความแข็งตึงของเส้นใยแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยวัสดุในตารางนี้ได้รวมเอาสมบัติของโลหะชนิดต่างๆ ในลักษณะของเส้นลวดเช่น อลูมิเนียม ไทเทเนียม และเหล็กมาเปรียบเทียบด้วย นอกจากนี้ตารางที่ 1 ยังแสดงค่าความแข็งแรงและความแข็งตึงต่อหน่วยความหนาแน่นของวัสดุนั้นๆ เพื่อบ่งชี้ถึงสมรรถนะของวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักเมื่อมีปริมาตรเท่ากัน และเป็นค่าที่มีผลโดยตรงการประยุกต์ใช้เพื่อลดหนักของชิ้นส่วนของวัสดุได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบเส้นลวดโลหะกับเส้นใยที่ใช้กับวัสดุคอมโพสิตอาจไม่สามารถบ่งบอกถึงความได้เปรียบเสียเปรียบระหว่างวัสดุอย่างแท้จริงได้ เนื่องจากเส้นใยยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีในขณะที่เส้นลวดโลหะอยู่ในลักษณะของโครงสร้างที่พร้อมนำไปใช้งานแล้ว

เส้นใยที่ผลิตมาได้ดีสามารถรับแรงดึงในแนวในแนวความยาวเส้นใยได้มาก ดังนั้นการใช้งานเส้นใยจึงจำเป็นต้องวางแนวเส้นใยให้อยู่ในแนวเดียวกับแรงที่มากระทำและทิศทางของเส้นใยต้องไม่เปลี่ยนไปในขณะที่รับแรง เพื่อให้แรงจากภายนอกกระจายเข้าสู่เส้นใยได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ลักษณะของการรวมตัวของเส้นใยอยู่ด้วยกันก็มีผลต่อการถ่ายทอดแรงจากภายนอกและความสะดวกในการใช้งานเส้นใยด้วย รูปที่ 6 แสดงกลไกพื้นฐานในการถ่ายทอดแรงดึง F จากภายนอกเข้าสู่เส้นใยที่มีวัสดุพื้นที่มีความอ่อนตัวและแข็งแรงน้อยกว่าอยู่ล้อมรอบ โดยรูปที่ 6 (ก) เป็นรูปชิ้นส่วนปริมาตรตัวแทน (representative volume element) ของเส้นใยหนึ่งเส้นที่มีวัสดุพื้นหุ้มอยู่รอบ วัสดุพื้นทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงที่มากระทำจากภายนอกเข้าสู่เส้นใยผ่านทางความเค้นเฉือน τ ระหว่างผิวสัมผัสด้านนอกของเส้นใยกับวัสดุพื้น ดังแสดงในภาพตัดของชิ้นส่วนปริมาตรตัวแทนในรูป 6 ความเค้นเฉือนนี้เหนี่ยวนำให้เกิดความเค้นดึง (ข) σ ภายในเส้นใย ความเค้นเฉือนจะมีค่าสูงมาก ณ ตำแหน่งใกล้กับบริเวณที่มีแรงภายนอกมากระทำในขณะที่ความเค้นดึงในหน้าตัดของเส้นใยมีค่าน้อยที่ตอนปลาย ของเส้นใย แต่

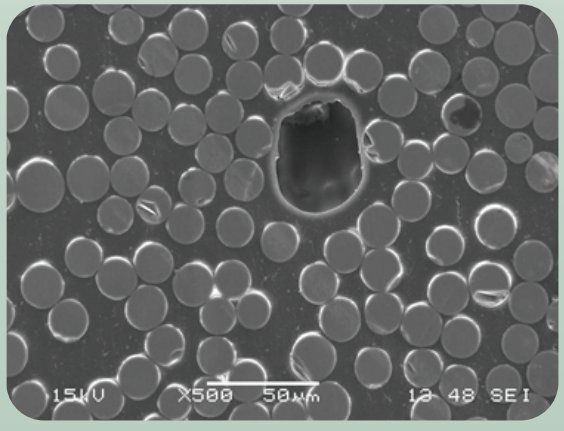
ตารางที่ 1 สมบัติของเส้นใยและเส้นลวดโลหะ [4]

วัสดุ	ความหนาแน่น Weight density ρ (kN/m3)	ความแข็งแรงดึง Tensile strength σ_1^F (GPa)	$\frac{\sigma_1^F}{\rho}$ (km)	ความแข็งแรงตึงดึง Tensile stiffness E_1 (GPa)	$\frac{E_1}{\rho}$ (Mm)
อลูมิเนียม	26.3	0.62	24	73	2.8
ไทเทเนียม	46.1	1.9	41	115	2.5
เหล็ก	76.6	4.1	54	207	2.7
เส้นใยแก้วชนิด E	25.0	3.4	136	72	2.9
เส้นใยแก้วชนิด S	24.4	4.8	197	86	3.5
เส้นใยคาร์บอน	13.8	1.7	123	190	14
เส้นใยเบอรีลเลียม	18.2	1.7	93	300	16
เส้นใยโบรอน	25.2	3.4	137	400	16
เส้นใยกราไฟท์	13.8	1.7	123	250	18

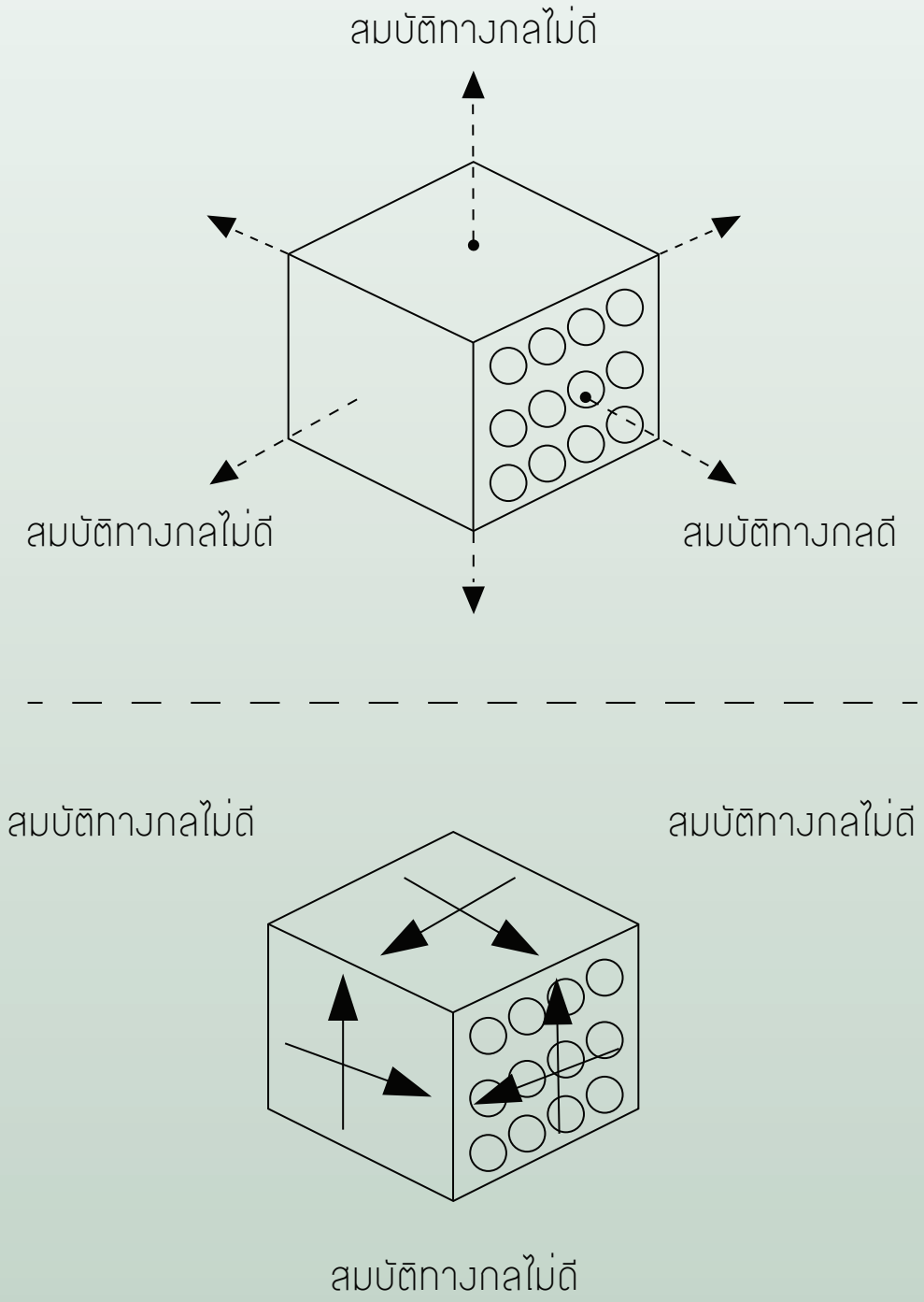


รูปที่ 7 การเกิดการโก่งเดาะในเส้นใยและกลไกการทำงานของวัสดุพื้น

นอกจากวัสดุพื้นทำหน้าที่ในการถ่ายทอดแรงดึงหรือแรงกดจากในภายนอกสู่เส้นใยภายใน และป้องกันการเกิดการโก่งเดาะของเส้นใยแล้ว วัสดุพื้นยังทำให้การเรียงตัวของเส้นใยมีความเสถียร อยู่ในแนวขนานกันสม่ำเสมอ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางอย่างเป็นนัยสำคัญภายใต้แรงภายนอกที่มากระทำหลากหลายประเภท รูปที่ 8 เป็นตัวอย่างภาพตัดขวางในแนวตั้งฉากเส้นใยของวัสดุคอมโพสิตที่มีวัสดุพื้นเป็นอีพ็อกซี่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยพื้นที่สีเทาอ่อนรูปวงกลมเป็นหน้าตัดของเส้นใยแก้ว สีเทาเข้มที่ล้อมรอบเส้นใยแสดงถึงวัสดุพื้นอีพ็อกซี่ และพื้นที่เงาสีดำที่มีรูปร่างไม่ปกติแสดงถึงช่องว่างของอากาศที่แทรกตัวอยู่ในวัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต รูปที่ 8 ยังแสดงให้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วมีขนาดเล็กมากประมาณ 15 ไมครอน และกระจายตัวอยู่เกือบทุกที่ในหน้าตัดของวัสดุคอมโพสิต ยกเว้นในบางบริเวณที่มีเนื้อของอีพ็อกซีอยู่รวมกันมากและไม่มีเส้นใย ณ ตำแหน่งนั้น (resin rich region) ซึ่งสมบัติของวัสดุคอมโพสิตจะมีค่าลดต่ำลงถ้ามีบริเวณที่มีวัสดุพื้นอยู่ในเนื้อวัสดุมาก และเมื่อมีการถ่ายทอดแรงดึงหรือกดในแนวตั้งฉากกับเส้นใยหรือขวางเส้นใย เส้นสนามแรงจะผ่านเข้าสู่เส้นใยหนึ่งไปยังอีกเส้นใยหนึ่งทางผิวสัมผัสระหว่างเส้นใย และจะไม่ผ่านเข้าเส้นใยเลยตรงตำแหน่งที่เส้นใยไม่ต่อถึงกันหรือมีแต่เนื้อของวัสดุพื้นอย่างเดียว นอกจากนี้ความแข็งแรงของวัสดุเชื่อมประสานก็มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการส่งถ่ายแรงระหว่างเส้นใยและวัสดุพื้น ดังนั้นในเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ววัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวจะมีสมบัติทางกลที่ดีในทิศทางตามแนวเส้นใย และมีสมบัติทางกลที่ด้อยกว่ามากในทิศทางตามแนวตั้งฉากกับเส้นใยหรือแนวขวางเส้นใย (transverse direction) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 (ก) นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวก็มีสมบัติทางกลในการต้านแรงเฉือนในรูปที่ 9 (ข) ที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับสมบัติทางกลในทิศทางตามแนวเส้นใยด้วยเนื่องจากเส้นใยไม่ได้ทำหน้าที่ในการรับแรงที่มากระทำจากภายนอกโดยตรง ซึ่งในกรณีเหล่านี้ความแข็งแรงของวัสดุพื้นและการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและวัสดุพื้นจะเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิต และเป็นเหตุผลให้การใช้วัสดุคอมโพสิตที่มีเส้นใยยาวมีการวางซ้อนกันหลายๆชั้นเป็นลามิเนต ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) เพื่อให้เส้นใยในชั้นต่างๆ มีการวางตัวตามทิศทางของแรงที่มากระทำอย่างเหมาะสมและทำให้สมบัติของวัสดุคอมโพสิตในภาพรวมเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ดีแม้ว่าสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจะมีค่าต่ำในทิศทางที่ไม่ใช่แนวตามยาวของเส้นใย ค่าความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength) หรือค่าความแข็งแรงต่อความหนาแน่น และค่าความแข็งตึงจำเพาะ (specific stiffness) หรือค่าความแข็งตึงต่อความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยยาวก็ยังมีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous material) ส่วนใหญ่ จึงทำให้สามารถลดน้ำหนักของโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ผลิตจากวัสดุคอมโพสิตได้



รูปที่ 8 ภาพตัดขวางของวัสดุคอมโพสิตอีพ็อกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว



รูปที่ 9 สมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตเมื่อได้รับแรงในทิศทางต่างๆ

แหล่งที่มา :

[1] Jones, R.M. Mechanics of Composite Materials, 2nd Edition. Ann Arbor, MI: Taylor & Francis, 1999.

[2] Kokcharov, I. and Burov, Adrey. Structural Integrity Analysis. Amazon Digital Services LLC, 2013

[3] Hyer, M.W. Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials Updated Edition. DES tech Publications, Inc., 2009.

[4] Dietz, A.G.H. Composite Materials, Edgar Marburg Lecture, American Society for Testing and Materials, 1965.