

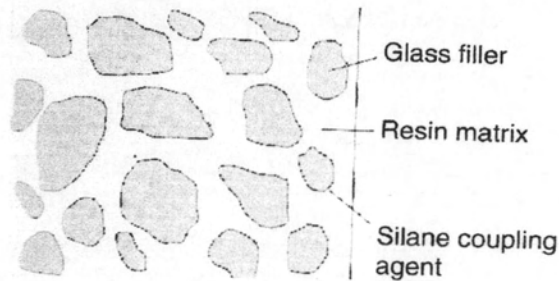
## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรม

#### เรซิน คอมโพสิต

เรซิน คอมโพสิต คือวัสดุทางทันตกรรมที่เกิดจากการผสมของวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป วัสดุเรซิน คอมโพสิตในทางทันตกรรมประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. สารประกอบเรซินอินทรีย์เมทริกซ์ (organic resin matrix)
2. สารประกอบอัดแทรกอนินทรีย์ (inorganic filler)
3. สารยึดควบคู่ (coupling agent)



รูปที่3 แสดงส่วนประกอบของวัสดุคอมโพสิต

(ที่มา : Noort RV. 2002. Introduction to dental materials.)

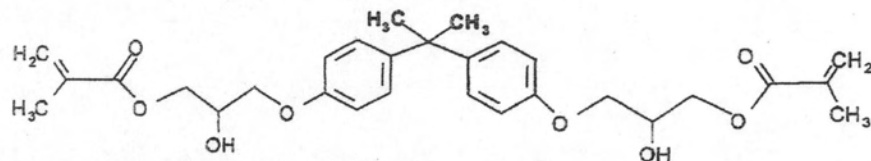
#### คุณสมบัติที่ดีของ เรซิน คอมโพสิต (Noort, 2002)

1. สามารถยึดกับผนังเนื้อฟันและเคลือบฟัน
2. มีพิษน้อย ไม่เป็นอันตรายต่อฟัน
3. มีความโปร่งแสง
4. มีความคงทนของสี
5. มีสีคล้ายสีฟันธรรมชาติ
6. สามารถใช้บูรณะฟันในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงามได้
7. กำลังความแข็งแรงและความแข็งผิวสูง
8. ละลายน้ำและดูดน้ำน้อย
9. สามารถขัดพื้นผิวเป็นเงามัน

องค์ประกอบของ เรซิน คอมโพสิต (Anusaviceและคณะ, 2003)

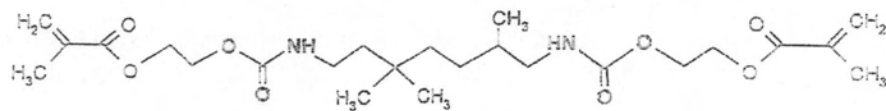
ส่วนอินทรีย์วัฏภาค (organic phase)

ประกอบไปด้วย โมโนเมอร์ชนิดต่างๆแต่ที่นิยม คือ บิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) และ ยูรีเทนไดเมทาคริเลต (urethane dimethacrylate, UDMA) เป็นโมเลกุลที่มีความหนืดสูงโดยมีกลุ่มฟังก์ชันเอสเทอร์ต่อท้ายพร้อมทำปฏิกิริยาและกลุ่มของสารโมเลกุลที่มีความหนืดต่ำและมีคุณสมบัติในการเพิ่มการเชื่อมโซ่กันของสายโพลีเมอร์ เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (Tri-ethylene glycol dimethacrylate, TEGDMA)



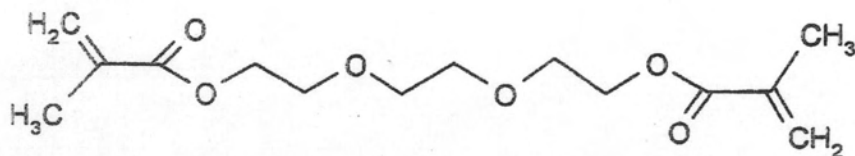
รูปที่ 4 โครงสร้างบิส-จีเอ็มเอ

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)



รูปที่ 5 โครงสร้างยูรีเทนไดเมทาคริเลต

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)



รูปที่ 6 โครงสร้างไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)

### ส่วนอนินทรีย์วิทยา (Inorganic phase)

เป็นวัสดุอัดแทรกที่อยู่ในสภาพเฉื่อย (inert filler) ผสมในโพลีเมอร์ร้อยละ 60-80 ทำให้มีคุณสมบัติทางกล ช่วยเสริมกำลังความแข็งแรงผิวของคอมโพสิตให้สูงขึ้นและลดการขยายตัว เช่น ควอตซ์ แก้ว อะลูมิเนียมซิลิเกต คอลลอยดอลซิลิกา การเพิ่มวัสดุอัดแทรกในเมทริกซ์ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ลดการหดตัวของ เรซิน คอมโพสิตหลังเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ลดการหดตัวของ เรซิน คอมโพสิต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ลดการดูดซึมน้ำ ลดการติดสีของ เรซิน คอมโพสิตและมีคุณสมบัติที่บ่งชี้

### การแบ่งประเภทของ เรซิน คอมโพสิต

#### ตารางที่ 1. การแบ่งประเภทของคอมโพสิตและการใช้งาน

Class of composite	Particle size	Clinical use
Traditional (large particle)	1-50 $\mu\text{m}$ glass	High-stress areas
Hybrid (large particle)	(1) 1-20 $\mu\text{m}$ glass (2) 0.04 $\mu\text{m}$ silica	High-stress areas requiring improved polishability (Classes I, II, III, IV)
Hybrid (midfiller)	(1) 0.1-10 $\mu\text{m}$ glass (2) 0.04 $\mu\text{m}$ silica	High stress areas requiring improved polishability (Classes III, IV)
Hybrid (minifiller/SPF)	(1) 0.1-2 $\mu\text{m}$ glass (2) 0.04 $\mu\text{m}$ silica	Moderate stress areas requiring optimal polishability (Classes III, IV)
Packable hybrid	Midfiller/minifiller hybrid, but with lower filler fraction	Situations in which improved condensability is needed (Classes I, II)
Flowable hybrid	Midfiller hybrid, but with finer particle size distribution	Situations in which improved flow is needed and/or where access is difficult (Class II)
Homogeneous microfill	0.04 $\mu\text{m}$ silica	Low-stress and subgingival areas that require a high luster and polish
Heterogeneous microfill	(1) 0.04 $\mu\text{m}$ silica (2) Prepolymerized resin particles containing 0.04 $\mu\text{m}$ silica	Low-stress and subgingival areas where reduced shrinkage is essential

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)

## ตารางที่ 2. แสดงคุณสมบัติ เรซิน คอมโพสิต

Characteristic/ property	Unfilled acrylic	Traditional	Hybrid (small- particle)	Hybrid (all- purpose)	Microfilled	Flowable hybrid	Packable hybrid	Enamel	Dentin
Size ( $\mu\text{m}$ )	—	8–12	0.5–3	0.4–1.0	0.04–0.4	0.6–1.0	Fibrous	—	—
Inorganic filler (vol%)	0	60–70	65–77	60–65	20–59	30–55	48–67	—	—
Inorganic filler (wt%)	0	70–80	80–90	75–80	35–67	40–60	65–81	—	—
Compressive strength (MPa)	70	250–300	350–400	300–350	250–350	—	—	384	297
Tensile strength (MPa)	24	50–65	75–90	40–50	30–50	—	40–45	10	52
Elastic modulus (GPa)	2.4	8–15	15–20	11–15	3–6	4–8	3–13	84	18
Thermal expansion coefficient (ppm/ $^{\circ}\text{C}$ )	92.8	25–35	19–26	30–40	50–60	—	—	—	—
Water sorption ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	1.7	0.5–0.7	0.5–0.6	0.5–0.7	1.4–1.7	—	—	—	—
Knoop hardness (KHN)	15	55	50–60	50–60	25–35	—	—	350–430	68
Curing shrinkage (vol%)	8–10	—	2–3	2–3	2–3	3–5	2–3	—	—
Radiopacity (mm Al)	0.1	2–3	2–3	2–4	0.5–2	1–4	2–3	2	1

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)

## ตารางที่ 3. แสดงประเภทของคอมโพสิตและขนาดวัสดุอุดแทรก

Categories	Sub-categories	Filler size range ( $\mu\text{m}$ )	Average filler size ( $\mu\text{m}$ )
Microfilled*		0.04–0.007	0.04
Hybrids	Small particles	0.04–10.00	1.00–5.00
	Conventional	0.04–5.00	0.70–0.90
	Flowable	0.04–3.00	0.50–0.90
	Packable**	0.04–3.00	0.60–1.00
	Micro-hybrids	0.04–2.00	0.40–0.50

(ที่มา : Dhuru BV., 2003. Contemporary Dental Materials.)

## ตารางที่ 4. แสดงคุณสมบัติทางกลของ เรซิน คอมโพสิต

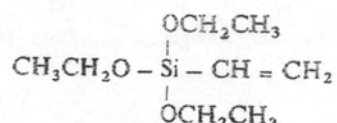
Property	Flowable composites	Microfill composites	Hybrid composites	Dental amalgam	Human enamel	Human dentine
Elastic Modulus (GPa)	3–6	5–13	3–19	20–28	80–85	18–20
Tensile Strength (MPa)	75–115	26–33	90–135	48–69	10	52
Compressive Strength (MPa)	210–300	230–290	250–290	300–500	400	297
Vickers Hardness	40–60	25–53	60–80	150–180*	344	165

\* Knoop Hardness

(ที่มา : Dhuru BV., 2003. Contemporary Dental Materials.)

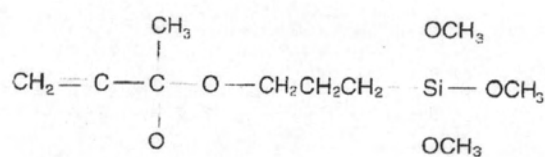
### สารยึดควบคู่ (coupling agent)

เนื่องจากวัสดุอุดแทรกไม่เกาะหรือติดกับโพลีเมอร์ จึงต้องใช้สารช่วยยึดระหว่างวัสดุอุดแทรกกับโพลีเมอร์ สารยึดควบคู่ที่นิยมใช้ เช่น ไวนิลไตรโทกซีไซเลน (vinyl triethoxysilane) และสารยึดควบคู่ที่ดัดแปลงเพื่อให้ยึดกับฟัน ได้แก่ แกมมาเมทาคริลอกซิลโพรพิลไตรเมโทกซีไซเลน (gamma-methacryloxypropyltrimethoxy silane)

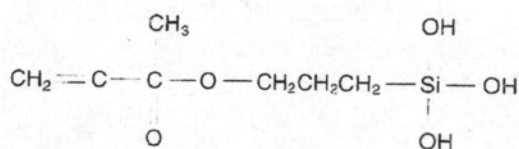


รูปที่ 7 โครงสร้างไวนิลไตรโทกซีไซเลน  
(ที่มา: เจน ร.2533:ทันตวัสดุศาสตร์.)

### γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane

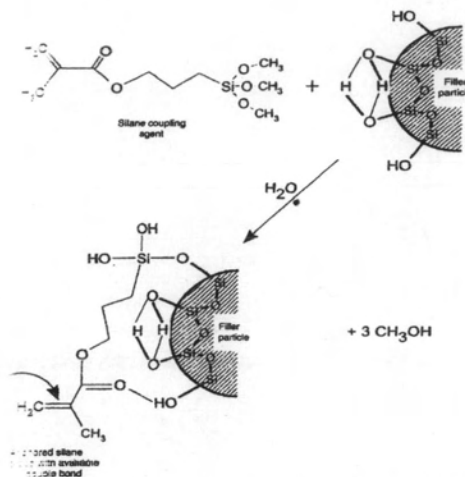


Acid activated



รูปที่ 8 โครงสร้างเมทาคริลอกซิลโพรพิลไตรเมโทกซีไซเลน

(ที่มา : Noort RV. 2002.Introduction to dental materials.)



### รูปที่ 9 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของแกมมาเมทาคริลอกลีล

โพรฟิลไทรมเมทอกซีไซเลนกับวัสดุอัดแทรกซิลิกาและแก้ว

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา เรซิน คอมโพสิต ให้มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ดีขึ้น ทำให้มีความทนทานต่อการใช้งานในช่องปาก เพิ่มความแข็งแรง ลดการดูดซึมน้ำของวัสดุ และลดการหดตัวของวัสดุ โดยใช้นาโนเทคโนโลยีซึ่งเป็นการบรรจุฟิลเลอร์ที่มีขนาดเล็กมากๆ และทำให้มีการเชื่อมติดทางเคมีกับ เรซิน เมทริกซ์โดยการใช้ ออร์แกนโน ซิลเลน (Organo-silanes) อนุภาคของซิลิกาจะถูกเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมยึดติดด้วยสารไซเลนควบคู่เช่น เอ็มพีเอส (MPS, 3-trimethoxysilylpropyl methacrylate) , ออกทิลไตรเมทท็อกซีไซเลน (octyltrimethoxysilane)

การกระตุ้นปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของเรซิน คอมโพสิตมี 2 วิธี

(Anusavice และคณะ, 2003)

#### 1. การกระตุ้นโดยปฏิกิริยาทางเคมี (Chemically activated resins)

องค์ประกอบในการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วย สารตั้งต้นให้เกิดปฏิกิริยา เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ และตัวกระตุ้นปฏิกิริยา เช่น อะโรมาติก เทอร์เทียร์ เอมีน โดยเอมีนจะทำปฏิกิริยากับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ได้อนุมูลอิสระ เพื่อทำให้ตัวเริ่มปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน



## 2. การกระตุ้นปฏิกิริยาโดยการฉายแสง (Light activated resins)

ประกอบไปด้วยส่วนของโฟโตเซนซิไทเซอร์ เช่น แคมโฟควิโนน (Camphorquinone) และ อะริฟาติก เทอร์เทียรี เอมีน (Aliphatic tertiary amine) เกิดปฏิกิริยาเมื่อฉายแสง แสงที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยามี 2 ชนิด

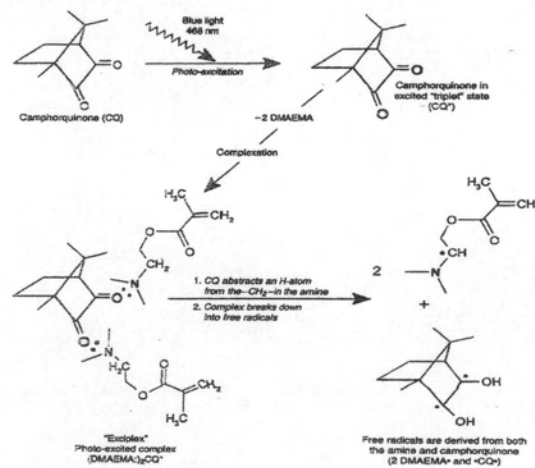
- รังสีอัลตราไวโอเล็ต ความยาวคลื่น 340-380 นาโนเมตร ปัจจุบันไม่นิยมใช้เพราะรังสีเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ
- แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร

ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงในเครื่องฉายแสง (Anusaviceและคณะ, 2003)

- แอล อี ดี (Light-emitting diodes) ให้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดความยาวคลื่น 440-480 นาโนเมตร
- ควอตซ์ ทังสเทน ฮาโลเจน (Quartz-tungsten-halogen) ให้ทั้งแสงอัลตราไวโอเล็ต และแสงสีขาว ขนาดความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร
- พลาสมา อาร์ค (Plasma arc curing) ใช้ก๊าซ ซีนอน (xenon gas) ให้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร
- อาร์กอน เลเซอร์ (Arcon laser) ให้แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

### วิธีการบ่ม

ระยะฉายแสง 2-3 มิลลิเมตรห่างจากคอมโพสิตเป็นเวลา 40 วินาที เมื่อคอมโพสิตหนา 2.0 มิลลิเมตร (noort, 2002; Anusavice,2003)



### รูปที่ 10 แสดงการเกิดปฏิกิริยาโดยการฉายแสง

(ที่มา : Anusavice et al., 2003. Phillips' Science Dental Materials.)

## การนำเส้นใยมาใช้ในทางอุตสาหกรรม

1. เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยเป็นสารอินทรีย์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 ไมโครเมตร ใช้ในการเสริมเนื้อสารต่างๆ เช่นพลาสติก กระเบื้อง หรือโลหะ ทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงและทนความร้อนสูง
2. เส้นใยอะรามิด (aramid fiber) เป็นเส้นใยประเภทอลิเอไมด์ (Ali-amide) หรือไนลอน (Nylon) ทนความร้อนสูงและมีความแข็งแรงสูง สามารถคงรูปได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 370 องศาเซลเซียส
3. เส้นใยโพลีเอทิลีน (polyethylene fiber) เป็นเส้นใยที่หลอมเหลวง่าย มีโครงสร้างแบบสายยาวหรือแบบกิ่งมีความเหนียว แข็งแรง น้ำหนักเบา สีขาวและราคาถูกกว่าเส้นใยอะรามิดแต่ทนต่ออุณหภูมิที่ใช้งานต่ำกว่า
4. เส้นใยแก้ว (glass fiber) เป็นวัสดุเสริมแรงที่ใช้งานแพร่หลายที่สุดและราคาถูกกว่าเส้นใยเสริมแรงประเภทอื่นๆ ประวัติการใช้เส้นใยแก้วในทางอุตสาหกรรมต่างๆยาวนานกว่า 50 ปี (เริ่มใช้เส้นใยแก้วประมาณ ค.ศ. 1950) คุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้วคือ การดึงเส้นใยจากแก้วที่หลอมผ่านช่องเล็กๆ เส้นใยที่ผลิตจะผ่านกระบวนการปรับผิว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการยึดติด เส้นใยแก้วมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ร่วมกับสารประกอบออกไซด์อื่นๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ เส้นใยแก้วที่ใช้ในวัสดุ เรซิน คอมโพสิตมีหลายชนิด ได้แก่ เส้นใยแก้วที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี (E-glass) เส้นใยแก้วที่มีคุณสมบัติความแข็งแรงสูง (S-glass) และเส้นใยแก้วที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อปฏิกิริยากับสารเคมีได้ดี (R-glass)
5. เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fiber) เป็นสารสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความทนทานกว่าเหล็กถึง 5 เท่า เคฟลาร์ทนความร้อนและแรงเสียดทานได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส โดยไม่ละลาย เคฟลาร์จึงถูกนำมาใช้ทำเสื้อกันกระสุน ใช้ในการทำอุปกรณ์กีฬา รวมไปถึงการทำโครงสร้างเครื่องบิน นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ทดแทนเหล็กในการทำแผ่นเหล็กครอบล้อรถ ใช้ในชุดกันไฟและใช้ทดแทนเส้นใยต่างๆ

## การนำเส้นใยมาใช้ในทางทันตกรรม

Noort (2002) กล่าวว่า การเสริมเส้นใยในวัสดุทำฐานฟันปลอมและวัสดุ เรซิน คอมโพสิต สามารถเพิ่มความแข็งแรงและปรับปรุงคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น การนำเส้นใยคาร์บอนมาเสริมในเรซิน คอมโพสิตมีข้อเสียคือมีขั้นตอนการผลิตยุ่งยากและมีสีดำไม่สวยงาม เส้นใยอะรามิดไม่มี

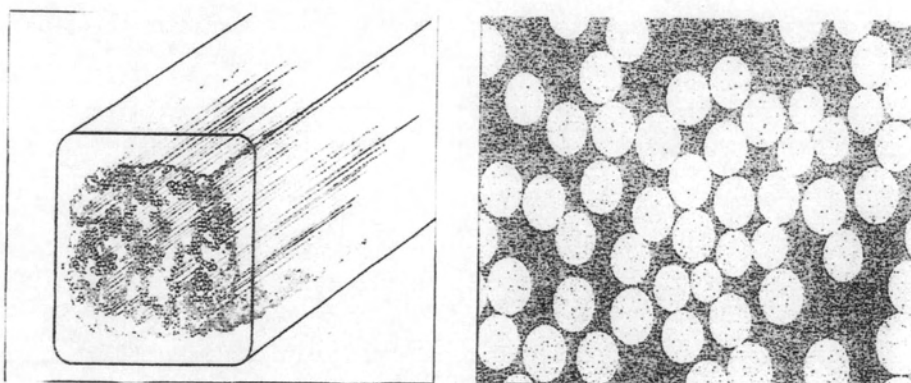


การเชื่อมกันระหว่างเส้นใยกับเรซิน เมทริกซ์ ส่วนเส้นใยแก้วนิยมใช้เนื่องจากมีสีขาวหรือเหลืองอ่อน และ ผิวของเส้นใยแก้วมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสามารถเตรียมผิวเพื่อการยึดกับเรซินได้ นิยมฝังเส้นใยแก้วในลักษณะเป็นเส้นสั้นๆทำให้มีความสวยงามสีเหมือนฟันธรรมชาติ สามารถใช้บูรณะฟันในบริเวณที่ต้องการความสวยงามได้ เช่นเดียวกับเส้นใยโพลีเอทิลีนนิยมใช้เนื่องจากมีสีเหมือนฟัน, มีความหนาแน่นน้อย ผิวเส้นใยสามารถเตรียมผิวเพื่อการยึดกับเรซินได้ (Grant, Greener 1976; Noort, 2002)

ในทางทันตกรรมเส้นใยที่นิยมใช้ ได้แก่เส้นใยแก้ว เส้นใยโพลีเอทิลีนและเส้นใยคาร์บอนนำไปเสริมใน เรซิน คอมโพสิต ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวได้หลายแบบเช่น

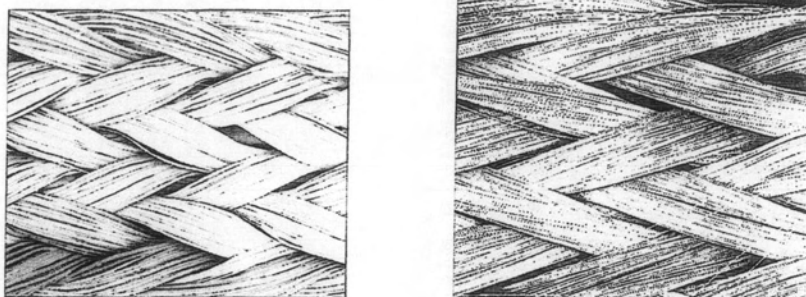
1. การเรียงตัวของเส้นใยไปในทิศทางเดียว (unidirectional fibers)
2. การเรียงตัวของเส้นใยทิศทางตามยาว (long continuous fibers)
3. การเรียงตัวของเส้นใยทิศทางขนาน (parallel fibers)

ซึ่งชนิด การเรียงตัวของเส้นใยทิศทางตามยาวและการเรียงตัวของเส้นใย เส้นใยทิศทางขนาน เป็นที่รู้จักในลักษณะแบบถักเปีย (braided) และ ถักสาน (woven)

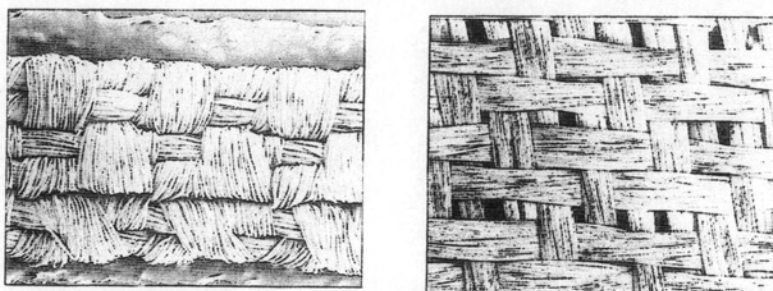


**รูปที่ 11** แสดงลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยไปในทิศทางเดียว

(ที่มา : Freilich et al., 2000. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry.)



รูปที่12 แสดงลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยทิศทางตามยาวแบบถักเปีย (braided)  
(ที่มา : Freilich et al., 2000. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry.)



รูปที่13 แสดงลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยทิศทางขนานแบบ ถักสาน (woven)  
(ที่มา : Freilich et al., 2000. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry.)

ตารางที่ 5. แสดงคุณสมบัติทางกล (Mechanical) และ ทางกายภาพ (physical) ของคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ

	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus of elasticity (GPa)	Elongation (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
E-glass	3,400	72	4.9	2.62
S-glass	4,500	85	5.7	2.50
Carbon/graphite	2,400-3,300	230-390	0.6-1.4	1.70-1.90
Aramid (Kevlar)	3,600-4,100	62-130	2.8-4.0	1.44
Polyethylene (Spectra 900)	2,600	117	3.5	0.97

(ที่มา : Freilich et al., 2000. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry.)

**ตารางที่ 6. แสดงชื่อทางการค้าและประเภท ของ คอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ใช้ใน  
ทางทันตกรรม**

Product	Company	Fiber type	Fiber architecture
<b>Pre-impregnated, dental laboratory products</b>			
FibreKor	Jeneric/Pentron	Glass	Unidirectional
Vectris pontic	Ivoclar	Glass	Unidirectional
Vectris frame and single	Ivoclar	Glass	Mesh
<b>Pre-impregnated, chairside products</b>			
Splint-It	Jeneric/Pentron	Glass	Unidirectional
Splint-It	Jeneric/Pentron	Glass	Weave
Splint-It	Jeneric/Pentron	Polyethylene	Weave
<b>Impregnation required, chairside products</b>			
Connect	Kerr	Polyethylene	Braid
DVA Fibers	Dental Ventures	Polyethylene	Unidirectional
Fiber Splint	Inter Dental Distributors	Glass	Weave
Fibreflex	Biocomp	Kevlar	Unidirectional
GlasSpan	GlasSpan	Glass	Braid
Ribbon	Ribbon	Polyethylene	Leno Weave
<b>Pre-impregnated prefabricated posts</b>			
C-Post	Bisco	Carbon	Unidirectional
FibreKor	Jeneric/Pentron	Glass	Unidirectional

(ที่มา : Freilich et al., 2000. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry.)

การนำ เรซิน คอมโพสิต ที่เสริมด้วยเส้นใยไปใช้งานทางทันตกรรม เช่น

1. ทำฝือกฟันในงานปริทันต์ (periodontal splints)
2. วัสดุอุดฟัน
3. เดือยและแกนฟัน
4. งานฟันปลอมชนิดติดแน่น (fixed prostheses)

การพิจารณาคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงดัดขวางหรือการตัดโค้งงอเป็นสิ่งสำคัญ โดยชิ้นงานจะต้องถูกทดสอบคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงดัดขวางก่อนที่จะนำมาใช้ได้ทางทันตกรรม (Freilich et al., 2000)

ตารางที่ 7. แสดงคุณสมบัติความแข็งแรงดัดขวางของคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ

Clinical applications	Product	Company	Flexure modulus (GPa)	Flexure strength (MPa)	
				Elastic limit	Ultimate
Laboratory-fabricated prostheses	FibreKor	Jeneric/Pentron	28.3	471	539
	Vectris Pontic	Ivoclar	28.9	516	614
Laboratory- or chairside-fabricated prostheses	Connect	Kerr	8.3	50	222
	GlasSpan	GiasSpan	13.9	266	321
	Ribbon	Ribbon	3.9	56	206
	Splint-It				
	Woven	Jeneric/Pentron	9.2	170	220
Posts	Unidirectional	Jeneric/Pentron	26.3	469	617
	FibreKor	Jeneric/Pentron	25.0	—	920
	C-Post	Bisco	18.0	—	1,600

เส้นใยแก้วในประเทศไทยที่ใช้ในงานวิจัย (ข้อมูลจากบริษัท เซ็น โทเบน ประเทศไทย) เป็นเส้นใยแก้วเสริมกำลังชนิด E Glass คือ เส้นใยแก้วซึ่งมีปริมาณสารองค์ประกอบในเส้นใยที่มีคุณสมบัติเป็นด่างต่ำๆ

#### องค์ประกอบ

SiO <sub>2</sub>	52-62 %
สารประกอบออกซิเจนที่เป็นด่าง (Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O) <2%	
สารประกอบออกซิเจนที่เป็นด่างรุนแรง	16-30%
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-10%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11-16%
TiO <sub>2</sub>	0-3%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-1%
F <sub>2</sub>	0-2%

#### ปฏิกิริยาทางเคมีที่เสี่ยงอันตราย

เส้นใยแก้วที่เสริมกำลังมีความคงที่และไม่เคยก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เสี่ยงอันตราย

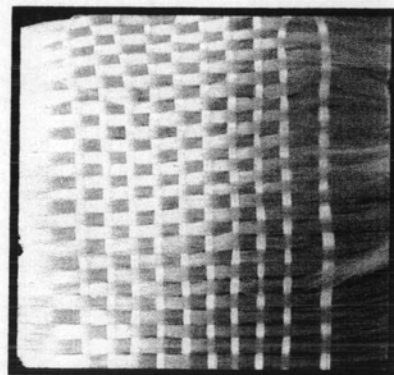
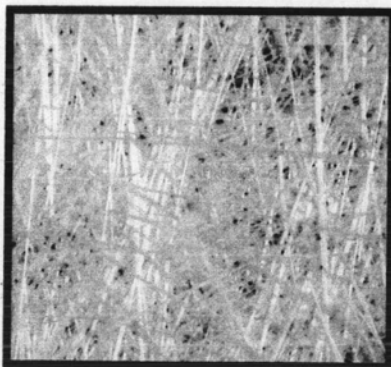
### คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยแก้ว

ลักษณะทางกายภาพ	:	เป็นของแข็ง
รูปร่าง	:	ต่อเนื่องกันหรือตัดขาดจากกัน หรือผืนเส้นใยที่สร้างขึ้นจากเส้นใยเล็กๆที่ขนานกันอย่างต่อเนื่อง ผูกติดแน่นเข้าด้วยกัน
สี	:	ขาวหรือขาวค่อนข้างเหลือง
กลิ่น	:	ไม่มีกลิ่น

### อุณหภูมิที่กำหนดไว้ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเส้นใยแก้ว

จุดอ่อนตัว	:	ประมาณ 850 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	:	1200 ถึง 1250 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสลายตัว	:	สารเหนียวและสิ่งยึดเส้นใยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิติดไฟที่ต่ำสุด	:	ไม่มี
คุณสมบัติซึ่งทำให้ระเบิด	:	ไม่มี
ความหนาแน่นแก้ว	:	2.6 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความสามารถในการถูกละลายได้: มีความสามารถในการถูกละลายในน้ำได้ต่ำมาก กาวและตัวยึดเส้นใยสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้เป็นบางส่วนและอาจทั้งหมด

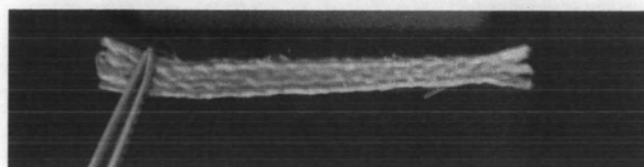


รูปที่ 14 แสดงเส้นใยแก้วในประเทศไทยที่ใช้ในการทดลอง

เส้นใยแก้วสำเร็จรูปอินเทอลิก (interlig glass fiber)

(ข้อมูลจากบริษัท เจ อี บี มินเลนเนียม)

เป็นเส้นใยแก้วที่สานกันแบบถักเปียและถูกเคลือบด้วยเรซิน คอมโพสิตใส ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยแสง บรรจุในซองมีความยาว 8.5 เซนติเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร กว้าง 2 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยประมาณ 0.055 ถึง 0.065 กรัม



รูปที่ 15 แสดงเส้นใยแก้วยี่ห้ออินเทอลิก

การนำไปใช้งาน

- เผือกฟันในงานปริทันต์ (periodontal splints)
- เสริมเส้นใยในชิ้นงานสะพานฟันชั่วคราวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลดีขึ้น
- เสริมในเครื่องมือจัดฟัน ทำให้มีความแข็งแรงในชิ้นงานมากขึ้น
- เสริมในวัสดุอุดฟันเพิ่มความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

ส่วนประกอบ

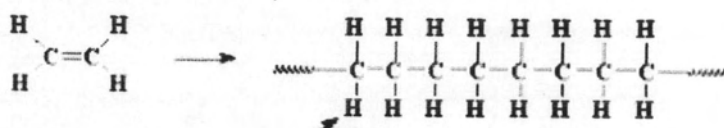
1. ปริมาณเส้นใยแก้วร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก
2. ปริมาณเรซินที่เคลือบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบในเรซินเป็น บิส จีเอ็มเอ , ไดยูรีเทน , ไดเอทิลเมทาครีเลต , แบเรียม และ ซิลิกอนไดออกไซด์



### เส้นใยโพลีเอทิลีน (polyethylene fiber)

องค์ประกอบของโพลีเอทิลีนจะมีหมู่เอทิล(คาร์บอน 1 ตัวและไฮโดรเจน 2 ตัว)เป็นองค์ประกอบจับกันเป็นสายยาวต่อกัน



รูปที่16 แสดงลักษณะทางเคมีของโพลีเอทิลีน

ชนิดของโพลีเอทิลีนมีสองประเภทคือ

1. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene) สายโมเลกุลเป็นลักษณะกิ่งก้าน เป็นโพลีเอทิลีนที่มีความแข็งแรงต่ำ แต่มีความบางและผลิตเป็นเส้นใยง่าย นิยมใช้โพลีเอทิลีนชนิดนี้ทำภาชนะบรรจุของในราคาที่ไม่แพง



A molecule of branched polyethylene or LDPE

รูปที่17 แสดงโมเลกุลของโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

2. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene) สายโมเลกุลเป็นเส้นตรง เป็นโพลีเอทิลีนที่มีความแข็งแรงสูงมีความหนามากกว่าชนิดแรกและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งมีโพลีเอทิลีนบางชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมาก (ultra-high molecular weight polyethylene) นำมาผลิตเส้นใยใช้ในงานอุตสาหกรรมรวมทั้งในงานทันตกรรม

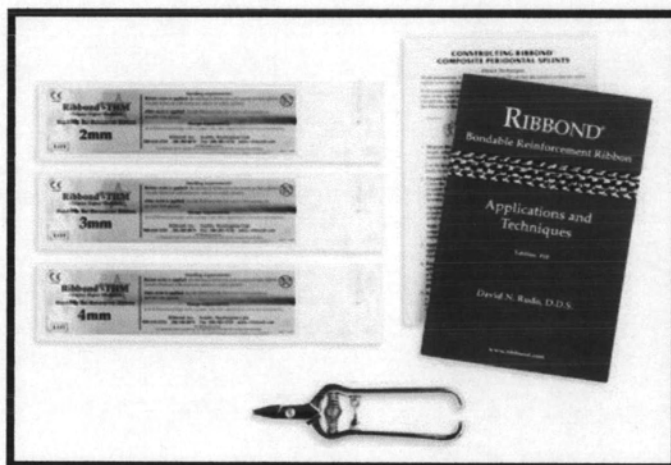


A molecule of linear polyethylene, or HDPE

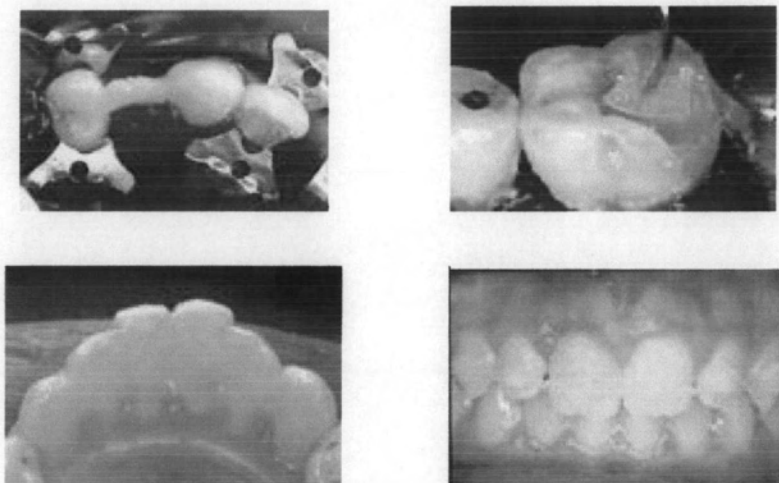
### รูปที่18 แสดงโมเลกุลของโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

#### เส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูป Ribbond (Ribbond polyethylene fiber)

เป็นเส้นใยที่ทำมาจากโพลีเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง นำมาใช้ในการทำเสื้อเกราะกันกระสุน เมื่อนำมาใช้ในทางทันตกรรมโดยเสริมเข้าไปในวัสดุ เรซิน คอมโพสิต และ อะคริลิก เรซิน สามารถเสริมความแข็งแรง เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก และสามารถกระจายแรงที่กระทำต่อวัสดุนั้นได้ดี



### รูปที่19 ขนาดและอุปกรณ์ของชุด เส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูป Ribbond



รูปที่ 20 การนำเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปริบบอนด์ ในงานทันตกรรม

#### การนำเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปริบบอนด์ไปใช้งาน

- ผูกฟันในงานปริทันต์ (periodontal splints)
- เครื่องมือจัดฟัน ทำให้มีความแข็งแรงในชิ้นงานมากขึ้น
- เสริมในวัสดุอุดฟันเพิ่มความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น
- เดือยและแกนฟัน
- สะพานฟันชั่วคราวเสริมเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและกลคุณสมบัติที่ดีขึ้น

ลักษณะการเรียงตัวของริบบอนด์เป็นลักษณะครอสลิงค์ ล็อคสตีช ลีโนเวฟ (Cross-Link Lock-Stitch Leno Weave) ดังรูปที่ 21

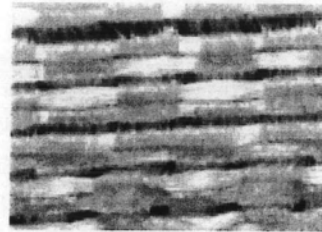
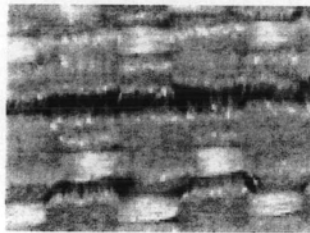


รูปที่ 21 แสดงลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยริบบอนด์

ในแง่ของความสวยงามเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปริบบอนด์ มีความโปร่งแสง เมื่อเสริมใน เรซิน คอมโพสิตแล้วให้ความสวยงาม มีการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดี โดยที่เส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปริบบอนด์มีสองแบบคือ

- เส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปแบบดั้งเดิม (Original Ribbond)  
มีความหนา 0.35 มิลลิเมตร
- เส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปแบบ THM (Ribbond Thinner Higher Modulus)  
หนาเพียง 0.18 มิลลิเมตร และมีความแข็งแรงดัดขวางที่ดีขึ้น

ลักษณะพื้นผิวของทั้งสองชนิดแตกต่างกันโดยแบบ THM จะมีพื้นผิวลักษณะที่เรียกว่าโดยพื้นผิวทำการเตรียมเพื่อเพิ่มการยึดติดกับ เรซิน เมทริกซ์ โดยวิธีพลาสมา ซึ่งวิธีพลาสมานี้ทำให้ผิวเส้นใยเกิดรูพรุนเล็กๆและเกิดพื้นผิวที่ขรุขระขึ้น เพิ่มพื้นผิวในการยึดติด



รูปที่ 22 แสดงพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปแบบดั้งเดิม โดยรูปซ้ายเป็นพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปแบบดั้งเดิม ส่วนรูปขวาเป็นพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอทิลีนสำเร็จรูปแบบ THM

### การเตรียมพื้นผิว (Chang, 1999 ; Nohara และคณะ, 2005)

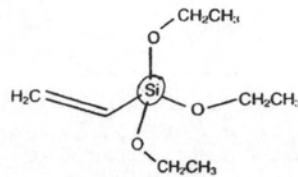
เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดไม่มีคุณสมบัติในการยึดติดกับ เรซิน เมทริกซ์ ดังนั้นเส้นใยต้องมีการเตรียมพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดกับเรซิน เมทริกซ์ไม่ว่าจะเป็นการยึดติดทางกลหรือการยึดติดทางเคมีซึ่งชนิดในการเตรียมพื้นผิวมีดังนี้

1. แบบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ การแช่เส้นใยในสารละลายที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา เช่น สารละลายกรดไนตริก สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส ทำให้พื้นผิวเกิดรูพรุนขึ้น
2. แบบไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การเคลือบผิว และ การกราฟผิวด้วยโพลีเมอร์
3. การใช้วิธีก๊าซพลาสมา คือ การนำเส้นใยมาเตรียมพื้นผิวโดยเส้นใยจะอยู่ในสภาวะที่มีความดันอากาศและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน จากนั้นทำการพ่นก๊าซเข้าไปเช่นก๊าซออกซิเจนและก๊าซอาร์กอนเพื่อทำให้เกิดความขรุขระที่พื้นผิวเกิดขึ้น

4. การใช้สารไซเลนควบคู่ เพื่อให้เส้นใยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารไซเลนเพื่อเชื่อมกับเรซิน โดยปฏิกิริยาเคมี

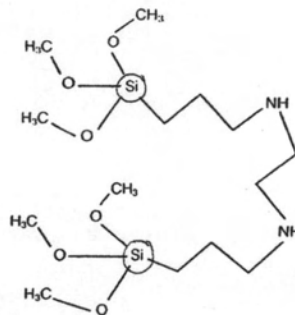
### สารไซเลนควบคู่ ( Silane coupling agent )

ทำหน้าที่ในการเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์เข้าด้วยกัน สารไซเลนควบคู่เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีซิลิกอน (Si) เป็นส่วนประกอบ แบ่งตามจำนวนของซิลิกอนอะตอมเป็นโมโนฟังก์ชันนอล ไบฟังก์ชันนอล และ ไตรฟังก์ชันนอล ซึ่งหมายถึงสารไซเลนที่มีซิลิกอน 1, 2 และ 3 อะตอม (Matinlinna JP,2004)



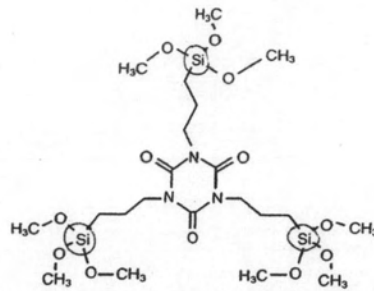
Monofunctional silane, vinyl triethoxysilane

รูปที่23 แสดงสารไซเลนควบคู่จำนวนของซิลิกอนอะตอมเป็นโมโนฟังก์ชันนอล



Bifunctional silane, bis(3-trimethoxysilyl)propylethylenediamine

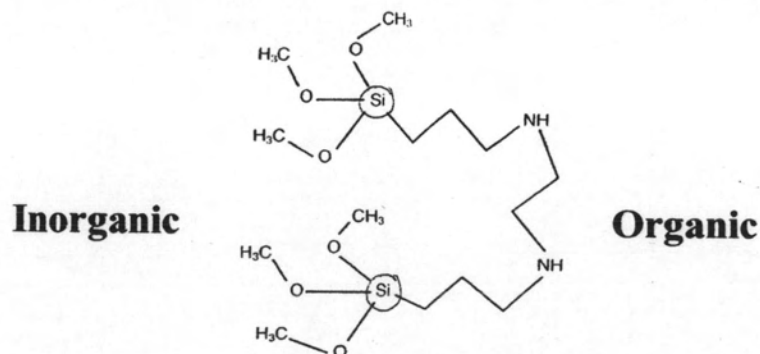
รูปที่24 แสดงสารไซเลนควบคู่จำนวนของซิลิกอนอะตอมเป็นไบฟังก์ชันนอล



Trifunctional silane, tris (3-trimethoxysilylpropyl)isocyanurate

รูปที่ 25 แสดงสารไซเลนควบคู่จำนวนของซิลิกอนอะตอมเป็นไตรฟังก์ชันนัล

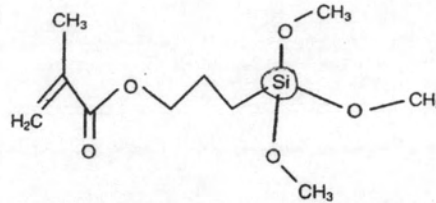
โดยทั่วไป การเติมสารไซเลนควบคู่ลงไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซิลิกาสูงชั้น เพราะสารไซเลนควบคู่ประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันเคมี 2 หมู่ที่แตกต่างกัน คือ หมู่สารอินทรีย์อัลคอกซี (alkoxy group) เช่น หมู่เมทอริกซ์ (-OCH<sub>3</sub>) หรือ หมู่เอทอริกซ์ (-OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) และหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ (organo-functional group) เมื่อเติมสารไซเลนควบคู่ลงไป หมู่อัลคอกซีซึ่งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของโมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ซิลานอลบนพื้นผิววัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ โดย ในระหว่างกระบวนการผสมเกิดเป็นพันธะไฮดรอกเซน (พันธะโควาเลนต์) ที่มีความเสถียร และมีการปลดปล่อยอัลคอกซอลล์ออกมา ซิลิกาจึงสามารถแตกตัวและกระจายตัวได้ง่ายยิ่งขึ้น ความหนืดลดลง สามารถไหลและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ส่วนหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะช่วยให้ซิลิกาเกิดการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น ไซเลนชนิดโบฟังก์ชันนัลมีส่วนของสารอินทรีย์เช่นหมู่ไวนิล (-CH=CH<sub>2</sub>) หมู่อัลลิล (-CH<sub>2</sub>CH=CH<sub>2</sub>) หมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) หมู่ไอโซไซยาเนต (-N=C=O) ซึ่งหมู่ดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรซ์กับหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง



รูปที่ 26 แสดงสารไซเลนควบคู่มีหมู่ฟังก์ชันเคมี 2 หมู่



ในทางทันตกรรมไซเลนที่ใช้ในระยะแรกเป็นชนิดไวนิล ไตรเมททอกซิลไซเลน (vinyl trimethoxysilane) แต่ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ ไตรเมททอกซิลโพรพิล เมทาคริลเลต(MPS,3-trimethoxysilylpropyl methacrylate) ขึ้นมาเพื่อใช้กับเส้นใยแก้ว (Matinlinna JP,2004)

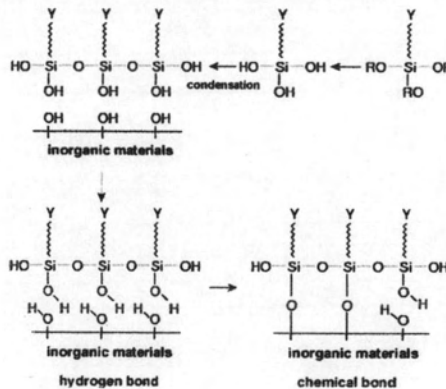


3-trimethoxysilylpropyl methacrylate

**รูปที่27 แสดงสารไซเลนไตรเมททอกซิลโพรพิล เมทาคริลเลต**

**การใช้ไซเลนกับเส้นใยแก้ว**

การใช้ไซเลนไตรเมททอกซิลโพรพิล เมทาคริลเลต กับเส้นใยแก้วสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับซิลิกาที่เป็นส่วนประกอบของเส้นใยแก้วได้ การปรับเส้นใยแก้วด้วยไซเลนจะช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใยและหมูนินทรีย์ของวัสดุได้โดยด้านที่เป็นส่วนอนินทรีย์ของสารไซเลนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับซิลิกาในเส้นใยแก้วและด้านที่เป็นส่วนหมูนินทรีย์ของสารไซเลนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับส่วนที่เป็นหมูนินทรีย์ของวัสดุ (Bowen,1956; Plueddemann,1991.)



**รูปที่28 แสดงปฏิกิริยาสารไซเลนไตรเมททอกซิลโพรพิล เมทาคริลเลต**

**กับส่วนอนินทรีย์ของวัสดุ**

**การใช้ไซเลนกับวัสดุอุดฟัน**

การใช้ไซเลนกับวัสดุอุดแทรกจะทำให้วัสดุอุดแทรกมีการกระจายตัวดีขึ้น ความหนืดระหว่างวัสดุอุดแทรกกับเรซินน้อยลง ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพของเรซิน คอมโพสิต (Bowen,1956; Plueddemann,1991.)

## การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### การศึกษาค่าแรงดัดขวางของชิ้นงานเสริมเส้นใย

Shimozato และคณะ(1984) กล่าวว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางของชิ้นงานอะคริลิกทดสอบ ที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนมีค่าความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เสริมเส้นใย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Inanaga และคณะ(1993) พบว่าการเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยอะรามิดในชิ้นงานอะคริลิกที่ทดสอบมีค่าความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เสริมเส้นใย

Kanie และคณะ(2000) ศึกษาผลของการเสริมเส้นใยแก้วพบว่าเมื่อใช้ชิ้นงานที่ทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร การเสริมเส้นใยแก้วในชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น 16-25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เสริมเส้นใยแก้ว

Kosoric และคณะ(2002) ทดสอบโดยเสริมเส้นใยแก้วในวัสดุเรซิน คอมโพสิต 2 ชนิด และในเรซินทำครอบฟันชั่วคราว 1 ชนิด การเรียงตัวของเส้นใยแก้วไปในทิศทางเดียว โดยเตรียมแบบชิ้นงานที่เสริมและไม่เสริมเส้นใยแก้ว ขนาด 25x2x2 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 7 วัน และทดสอบแรงดัดงอสามและสี่จุด (3 and 4 point bending) วัดความแข็งแรงดัดขวาง และ โมดูลัสยืดหยุ่น จากผลการทดสอบพบว่า การเสริมเส้นใยแก้วในวัสดุเรซิน คอมโพสิต สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่การเสริมเส้นใยในเรซินทำครอบฟันชั่วคราวไม่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวาง ส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่เพิ่มในการเสริมเส้นใยแก้วทั้งสองวัสดุ ช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมงและ 7 วัน ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางอย่างมีนัยสำคัญ

Pest และคณะ (2002) กล่าวว่า การเสริมเส้นใยในเรซิน คอมโพสิตและในอะคริลิก เรซิน มีข้อดีดังต่อไปนี้

1. ช่วยกระจายแรงไปยังพื้นผิวต่างๆได้กว้างขึ้น
2. เพิ่มระดับความทนทานต่อแรงที่มากระทำ
3. เพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทก
4. ทำให้การสันสละเทือนของแรงที่มากระทำต่อชิ้นงานอ่อนกำลัง
5. ทำหน้าที่เป็นตัวรับแรง กระจายแรงออกไปหลายทิศทาง
6. เพิ่มความต้านทานต่อแรงล้า

Solnit (1991) ได้แนะนำการใช้เส้นใยแก้วโดยเสริมในวัสดุเรซิน คอมโพสิตและอะคริลิก เพื่อทำสะพานฟันชั่วคราว เพิ่มความแข็งแรงขึ้น ลดการดูดซึมน้ำและใช้งานได้ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะบริเวณจุดเชื่อมต่อ (connector) ของแต่ละส่วนเป็นจุดที่อ่อนแอที่สุด การเสริมเส้นใย บริเวณดังกล่าวช่วยเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานได้

Goldberg และคณะ(1994) กล่าวว่าการใช้เส้นใยเสริมความแข็งแรงใน เรซิน คอมโพสิต สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุทางทันตกรรมได้เช่น การทำสะพานฟันชั่วคราวในงาน ทันตกรรมประดิษฐ์ เครื่องมือในงานทันตกรรมจัดฟัน โดยทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น การ ทดสอบโดยเส้นใย 3 ประเภท คือ เส้นใยอะรามิด และเส้นใยแก้ว 2 ชนิด ใช้ปริมาตรของเส้นใย ร้อยละ 25,33,42 ใช้เรซิน 6 ชนิด ความยาวชิ้นงาน 5,10,30 มิลลิเมตร พบว่าเรซิน ที่มีเส้นใยแก้ว ร้อยละ42 โดยปริมาตรมีความแข็งแรงมากที่สุดส่วนเส้นใยอะรามิดมีความแข็งแรงน้อยที่สุด และสรุปว่า การลดความยาวของชิ้นงาน จะทำให้เกิดการลดลงของค่าวัดความแข็งแรงดัดขวาง และ มอดูลัสยืดหยุ่น ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบเครื่องมือทางทันตกรรมที่ต้องใช้คอมโพสิตเสริม ความแข็งแรงด้วยเส้นใยเป็นองค์ประกอบ

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Vallittu (1998) ศึกษาค่าความแข็งแรงการดึงของเส้นใยแก้ว ชนิดที่มีการเรียงตัวในทิศทางเดียวที่เสริมในโพลีเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้ชิ้นงานทดสอบ6 ชิ้นงาน เก็บไว้โดยแช่น้ำ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 วัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงเมื่อ เพิ่มปริมาณเส้นใยขึ้นจาก 0-14.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าไม่มีการเชื่อมติดกันของเส้นใยแก้วกับวัสดุโพลีเมทิลเมทาคริเลตเนื่องจากไม่มีการไซเลนผิวก่อน การทดลอง

#### การศึกษาตำแหน่งการเสริมเส้นใย

Chung และคณะ (1998) ทดสอบค่าความแข็งแรงดัดขวางโดยการเสริมเส้นใยแก้วที่ทา สารไซเลน เสริมลงในอะคริลิก เรซิน ที่ตำแหน่งด้านกด (compression side) กึ่งกลาง (neutral side) ด้านดึง (tension side) และเสริมเส้นใยสองชั้นในตำแหน่งด้านกดและด้านดึง ชิ้นงานกลุ่ม ละ 10 ชิ้น ทดสอบแรงดัดงอ กดสามจุด และสรุปว่า มีการเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางเมื่อเสริม เส้นใยแก้วที่ตำแหน่งด้านดึงและเสริมสองชั้นของชิ้นงาน ส่วนการเสริมเส้นใยแก้วทางด้านกดและ ด้านกึ่งกลางชิ้นงานไม่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวาง

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lassila, Vallittu (2004) ทดสอบค่าความแข็งแรงดัดขวาง โดยการเสริมเส้นใยแก้วชนิดทิศทางเดียวที่ทาไซเลน เสริมลงในวัสดุคอมโพสิตตำแหน่งด้านขวาง

ด้านกด กึ่งกลาง และ ด้านดึง ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 6 ชิ้น พบว่าตำแหน่งของการเสริมเส้นใยแก้วมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวาง โดยเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางในทุกกลุ่มและมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเสริมในตำแหน่งด้านดึงของชิ้นงาน แต่ไม่มีความแตกต่างของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นในแต่ละกลุ่ม

Dyer และคณะ (2004) ศึกษาผลของตำแหน่งการวางเส้นใยและลักษณะการแตกหักของคอมโพสิตเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใย ได้ใช้เส้นใยโพลีเอทิลีน เส้นใยแก้ว หลายชนิด จำนวนชิ้นงาน 6 ชิ้นขนาด 25x2x2 มิลลิเมตร ในแต่ละชนิดของเส้นใยแช่น้ำกลั่น 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางในชิ้นงานที่วางเส้นใยแก้วที่ด้านดึงร่วมกับด้านกดมีค่าที่สูงกว่าชิ้นงานที่วางเส้นใยแก้วและเส้นใยโพลีเอทิลีนในตำแหน่งต่างๆ

### ศึกษาการใช้สารไซเลนกับเส้นใย

Vallittu (1993) ได้ศึกษาถึงผลของการใช้สารไซเลนกับเส้นใยแก้ว เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าการเชื่อมกันของเส้นใยแก้วกับส่วนของโพลีเมอร์ เมทริกซ์ เป็นผลทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้น

Xu และคณะ (2003) ทำการทดสอบเรซิน คอมโพสิต เสริมเส้นใยแก้ว โดยเส้นใยแก้วทำการเคลือบสารไซเลนและเสริมใน 3 ตำแหน่งคือ กึ่งกลางชิ้นงาน ด้านกด และ ด้านกดร่วมกับด้านดึง จากการดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าการเสริมเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยสารไซเลนเกิดการเชื่อมกับเรซิน คอมโพสิต รอบๆและค่าความแข็งแรงดัดขวางในชิ้นงานเรซิน คอมโพสิตเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยแก้ว มีค่าความแข็งแรงดัดขวางที่สูงกว่าในชิ้นงานเรซิน คอมโพสิตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความต้านทานต่อการแตกหัก เพิ่มขึ้น 7 เท่า ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 2 เท่า

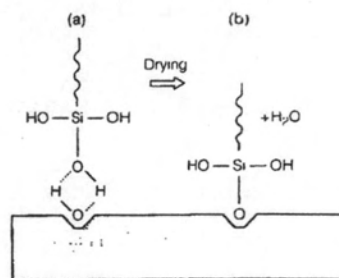
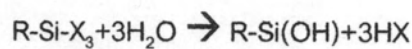
Ellakwa และคณะ (2002) ทดสอบอิทธิพลของเวลาในการเก็บเส้นใยและใช้สารที่ทำให้เส้นใยชุ่มชื้น (fiber wetting agent) 2 ชนิด คือสารยัดที่ไม่มีวัสดูดแทรก และสารยัดที่มีวัสดูดแทรก เพื่อดูคุณสมบัติการบิดงอ (flexural properties) ของ เรซิน คอมโพสิตที่เสริมด้วยเส้นใยสามชนิดคือ โพลีเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ultra-high molecular weight polyethylene), เควฟล่า (Kevlar) และ เส้นใยแก้ว กลุ่มละ 10 ชิ้นงานแช่น้ำกลั่น 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและ 6 เดือน พบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่ม ส่วนในเส้นใยแก้วพบว่าการเพิ่มคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นเมื่อใช้สารยัดที่ไม่มีวัสดูดแทรกและเมื่อเก็บเส้นใยในน้ำนาน 6 เดือน พบว่าในกลุ่มเส้นใยแก้วที่ใช้สารยัดที่มีวัสดูดแทรกค่าความแข็งแรงดัดขวางมีค่า

ลดลง เนื่องจากกลุ่มที่แช่น้ำนาน 6 เดือนชิ้นงานมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในชิ้นงานมากกว่าในกลุ่มที่แช่ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลทำให้ชิ้นงานอ่อนแอลง

Noort (2002) กล่าวว่าที่ผิวของเส้นใยแก้วประกอบไปด้วยส่วนของไฮดรอกซิลซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้ การที่ใช้สารไฮเลนเพื่อเพิ่มความเปียก (wettability) และเพิ่มการยึดติดเมื่อใช้สารยึดติดทำให้เส้นใยแก้วมีการยึดติดกับเรซินได้ดีขึ้น ลักษณะของการยึดติดเกิดเป็นลักษณะทางเคมีดังนี้



โดยที่ R เป็นส่วนของกลุ่มออร์แกนิกและ X เป็นส่วนของกลุ่มของวัสดุที่จะถูกไฮโดรไลซิสและติดกับส่วนของไฮเลนจากสมการ



**รูปที่ 29** การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไฮเลนกับผิว (a) และเมื่อแห้งจะเกิดพันธะโควาเลนต์จะปลดปล่อยน้ำออกมา (b)

การเพิ่มความแข็งแรงของการเสริมเส้นใยในชิ้นงานทำได้โดยใช้สารไฮเลนควบคู่ เพื่อเพิ่มความเปียกเพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใยกับ เรซิน เมทริกซ์ เช่นในการศึกษาของ Vallittu (1993) พบว่า ความต้านทานการแตกหักใน อะคริลิกเสริมเส้นใย (Acrylic-fiber composite) ขึ้นอยู่กับแรงยึดติดกันของอะคริลิก เมทริกซ์ กับ เส้นใย และการใช้สารไฮเลนควบคู่สามารถเพิ่มคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของชิ้นงานได้

Kanie และคณะ(2004) ทดลองโดยใช้ยูรีเทนโพลิโเมอร์(Urethane Oligomers) 5 ชนิด ในการทดสอบความแข็งแรงตัดขวาง และ มอดูลัสยืดหยุ่นในเรซินที่บ่มด้วยตัวเอง (self-cured resin) เรซินที่บ่มด้วยความร้อน (heat-cured resin) และเรซินที่บ่มด้วยแสง



(light-cured resin) ที่มีการเสริมเส้นใยแก้วพบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาของ Kolbeck และคณะ (2002) และ Aydin และคณะ (2002) สรุปว่าเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยสารไฮโดรฟิลิกที่มีแนวโน้มในการยึดติดกับส่วนโพลีเมอร์เมทริกซ์ได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของชั้นคอมโพสิตซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamza และคณะ (2004) สรุปว่าการเตรียมพื้นผิวของเส้นใยแก้วจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการยึดติดและเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของเรซินที่เสริมเส้นใย

#### การศึกษาผลของการดูดซึมน้ำ

Takahashi และคณะ (1998) ศึกษาเรซินที่ใช้ทำฟันปลอมเมื่อเกิดการดูดซึมน้ำทำให้ความแข็งแรงของเรซินลดลง โดยเฉพาะในเมททาคริลเลตที่ใช้ทำฐานฟันปลอม หรือในวัสดุเสริมฐานฟันปลอม ดังนั้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นชิ้นงานที่อยู่ในช่องปาก ซึ่งมีสภาวะที่มีทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นจะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Drummond และ Bapna (2003)

Vallittu และคณะ (1998) , Behr และคณะ (2000) ศึกษาเรื่องการคงรูปของเรซินสรุปว่าเรซินมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำเป็นผลทำให้ความแข็งแรงของเรซินลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Lassila และคณะ (2002) ที่สรุปว่า เรซิน คอมโพสิตมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำได้ ทำให้ความแข็งแรงในคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีความแข็งแรงลดลง

Behr และคณะ (2000) กล่าวว่า ส่วนของโพลีเมอร์เมทริกซ์ ส่วนไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) มีผลต่อการดูดซึมน้ำ สารไฮโดรฟิลิกเรซิน เช่น ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate; HEMA) และบิส-จีเอ็มเอ จะมีการดูดซึมน้ำมากกว่า โพลีเมทิลเมทาคริลเลต ขัดแย้งกับการศึกษาของ Chai และคณะ (2004)

Chai และคณะ (2004) ทดลองแช่ เรซิน คอมโพสิตเสริมเส้นใยในน้ำกลั่นนาน 1,7,60,180 วัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและพบว่าค่าการเสริมเส้นใยในโพลีเมทิลเมทาคริลเลต มีการดูดซึมน้ำมากกว่าเสริมเส้นใยในเมทริกซ์ของ บิส-จีเอ็มเอ แต่ไม่พบการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

Cal และคณะ (2000) ศึกษาเรื่องการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานโพลีเมอร์ที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยแก้ว 3 ลักษณะคือเส้นใยแก้วทิศทางเดียว เส้นใยแก้วแบบถักสาน และ เส้นใยแก้วแบบหลายทิศทาง พบว่าการดูดซึมน้ำในชิ้นงานโพลีเมอร์ที่แช่ในน้ำกลั่นเริ่มคงที่ในวันที่ 14-21 โดยมีการดูดซึมน้ำมากที่สุดในช่วงวันแรก และสรุปว่าการเสริมเส้นใย



แก้วลงในชิ้นงานช่วยลดการดูดซึมน้ำและลดการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานได้ ส่วนลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของชิ้นงานและการดูดซึมน้ำ

Chow และคณะ (1993) กล่าวว่าชิ้นงานอะคริลิกที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยโพลีเอทิลีนโดยที่ชิ้นงานแช่น้ำเป็นเวลา 100 วัน ผลในการลดการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงาน โดยการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกและคงที่ในวันที่ 20-25

Vallittu (1995) อธิบายถึงการดูดซึมน้ำในชิ้นงานอะคริลิกที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยแก้วทิศทางเดียว โดยสังเกตจากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าในชิ้นงานมีช่องอากาศเล็กๆและบริเวณที่ไม่เกิดการเชื่อมกันของเส้นใยกับอะคริลิก ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่เกิดการดูดซึมน้ำเข้าไป

Ladizesky และคณะ (1994) ศึกษาการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุทำฐานฟันปลอมที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยโพลีเอทิลีน รัยละเอียด 4 และ 6 โดยปริมาตร พบว่าลดการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 25

Miettinen และ Vallittu (1996) สรุปว่าเมื่อเสริมเส้นใยแก้วแบบทิศทางเดียวปริมาณร้อยละ 11 โดยน้ำหนักสามารถลดค่าการดูดซึมน้ำในชิ้นงานได้