บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหาและปัญหา

วัสดุฐานฟันเทียมที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นชนิดที่ทำมาจากเรซินอะคริลิก ซึ่งมีส่วนประกอบของส่วนผง คือ ผงพอลีเมทิลเมทาคริลเลท (poly(methyl methacrylate); PMMA) และส่วนของเหลว คือเมทิลเมทาคริลเลท (methyl methacrylate; MMA) เรซินอะคริลิกมีสมบัติที่ดี คือมีน้ำหนักเบา สีสวยงามและราคาถูก[1-3]

ฐานฟันเทียมที่ทำมาจากเรซินอะคริลิกมีความแข็งแรงต่ำทำให้เกิดการแตกหักเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวต่อเนื่องซ้ำๆ และเกิดเป็นรอยร้าวในบริเวณศูนย์รวมความเค้น (stress concen tration) รอยร้าวจะกลายเป็นรอยแตกและขยายตัวต่อไปเรื่อยๆจนทำให้เกิดการแตกหักแม้ว่าได้รับ แรงต่ำๆจากการบดเคี้ยวหรือการถอดใส่ การแตกหักชนิดนี้พบได้บ่อยบริเวณกึ่งกลางของฟันเทียม[4] นอกจากนี้ฐานฟันเทียมที่ทำมาจากเรซินอะคริลิกมีความทนทานต่อการกระแทกต่ำ จึงเกิดการแตกหักได้ง่ายหากทำฟันเทียมหล่นกระแทกขณะทำความสะอาด[5-6] จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุง สมบัติเชิงกลของฐานฟันเทียมให้ดีขึ้นโดยวิธีการต่างๆได้แก่ 1. การนำวัสดุอื่นมาใช้แทนเรซินอะคริลิก[7-10] ได้แก่ โพลีเอไมด์ อีพอกซีเรซิน โพลีสไตรรีน ไวนิลอะคริลิก และไนลอน แต่พบว่าวัสดุเหล่านี้มีการดูดซึมน้ำสูงทำให้ฟันเทียมบวมหรือนุ่มขึ้น จึงยังไม่สามารถหาวัสดุที่เหมาะสมที่มีสมบัติเหนือกว่าพอที่จะมาทดแทนเรซินอะคริลิกได้ 2. การปรับปรุงสมบัติทางเคมี โดยมีการใส่วัฏภาคยางบิวทาไดอีนสไตรีน (butadiene styrene rubber) เข้าไปในเม็ดพอลิเมอร์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์แบบกิ่งกับยางบิวทาไดอีนสไตรีน ทำให้ฐานฟันเทียมที่ได้มีความทนทานต่อการกระแทกสูง[10] 3. การใส่โลหะเสริมในเรซินอะคริลิก โดยโลหะที่ใช้อยู่ในรูปแบบเส้นลวด แบบแผ่น หรือแบบตัวเติมโลหะ (metal filler) ซึ่ง Ruffino[11] รายงานว่าการวางโลหะเสริมแรงในแนวตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ พบว่าจะทำให้ความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใส่ตัวเติมโลหะ เช่น ผงเงิน ผงทองแดง และผงอลูมิเนียม จะทำให้เรซินอะคริลิกมีความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ความแข็งแรงดึง

(tensile strength) มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามปัญหาในการใช้เสริมแรงฐานฟัน เทียมด้วยโลหะมีข้อด้อย คือ ไม่สวยงาม และขาดการยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีระหว่างเรซินอะคริ ลิกกับโลหะ จึงมีวิธีการปรับปรุงการยึดเกาะที่ดีด้วยวิธีการเรียกว่าการพ่นทราย[12] ทำให้โลหะมีผิว ขรุขระจึงช่วยเพิ่มการเกาะยึดกันระหว่างโลหะกับเรซินอะคริลิก 4. การเสริมแรงเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใย ซึ่งต้องใช้เส้นใยที่ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นสูงกว่าเรซินอะคริลิก (ในตารางที่ 1) ทำให้เกิดเป็นวัสดุผสมชนิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced composite)[13-15] ซึ่งเส้นใยที่นำมาใช้เสริมแรงนั้น ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยแก้ว (glass fiber) เส้นใยอะรามิด (aramid fiber) และเส้นใยพอลิเอทิลีน (polyethylene fiber) เส้นใยที่นำ มาใช้เสริมแรงในเรซินอะคริลิกมีหลายรูปแบบ คือ รูปแบบของสายหลวมๆ (loose strand form) รูปแบบประสานกันเป็นแผ่น (woven mat form) รูปแบบเส้นยาว (longitudinal form) และรูปแบบ เส้นตัดสั้น (chopped form) นอกจากนี้ยังมีกระบวนการ “Prepeg”[13] ซึ่งเป็นการใช้เส้นใยผสมกับเนื้อหลักแล้วนำไปบ่มตัวบางส่วนก่อนนำไปเสริมแรงเป็นวัสดุคอมโพสิต การใช้เส้นใยในการเสริมแรงมีประสิทธิภาพที่ดี แต่พบว่าเส้นใยมีราคาสูง โดยเส้นใยคาร์บอนแบบเส้นยาวมีราคา 4,000 บาทต่อกิโลกรัม เส้นใยอะรามิดแบบสานเป็นแผ่นมีราคา 3,000 บาทต่อตารางเมตร เส้นใยพอลิเอทิลีนมีราคา 100 บาทต่อกิโลกรัม เส้นใยแก้วมีราคา 60 บาท ต่อกิโลกรัม แม้ว่าเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยแก้วมีราคาไม่สูง แต่เส้นใยทั้งสองชนิดนี้ไม่มีการยึดติดกับเรซินอะคริลิก จึงต้องมีการปรับสภาพผิวด้วยการทำพลาสมาทรีทเมนท์ และสารไซเลน ตามลำดับ ทำให้มีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยซึ่งผู้ป่วยนิยมใช้ฟันเทียมฐานเรซินอะคริลิกเป็นฟันเทียมถอดได้แบบถาวร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่เข้ารับการบริการตามโครงการต่างๆ เช่น โครงการ 30 บาท รักษาทุกโรค ซึ่งกำหนดให้ รักษาโดยใช้ฟันเทียมฐานอะคริลิกเท่านั้น

ดังนั้นหากสามารถใช้ประโยชน์จากเส้นใยซึ่งผลิตจากวัสดุภายในประเทศที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก เช่น เส้นใยไหม นำมาใช้เสริมแรงในฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกเพื่อทำให้ฐานฟันเทียมมีความแข็งแรงสูงขึ้น น่าจะทำให้ฟันเทียมใช้งานได้นานขึ้นโดยไม่เกิดการแตกหัก ซึ่งในขั้นต้นจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรงของเส้นใยไหมในปริมาณต่างๆ ผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของเรซินอะคริลิก ตลอดจนความเป็นไปได้ในการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยไหมและเนื้อเรซินอะคริลิก เพื่อให้การเสริมแรงมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การทบทวนวรรณกรรม

ฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกเป็นที่นิยมใช้ในการทำฟันเทียม เนื่องจากมีสีสวยงาม ราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปได้ง่าย สามารถยึดติดกับซี่ฟันเทียมได้ดี และสามารถปรับแต่งให้พอดีกับเนื้อเยื่อที่รองรับได้ง่าย อย่างไรก็ตามเรซินอะคริลิกยังมีสมบัติบางประการที่บกพร่อง หรือด้อยกว่าฐานฟันเทียมที่ทำจากโลหะ ได้แก่ มีการนำความร้อนไม่ดีซึ่งต่ำกว่าโลหะ 100-1000 เท่า มีค่าความแข็งแรงดัด (transverse strength) ประมาณ 75.9 เมกกะพาสคัล (MPa)[3] มีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ประมาณ 3.8 จิกะพาสคัล[3] (GPa) มีความล้า (fatigue) และมีความทนทานต่อการกระแทก (impact strength) ต่ำประมาณ 0.23-0.40 ฟุต-ปอนด์/นิ้ว[3] นอกจากนี้เรซินอะคริลิกยังมีการหดตัวเชิงปริมาตร (volumetric shrinkage) อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์[2] เรซินอะคริลิกมีการดูดซับน้ำ (water absorption) ประมาณ 0.69 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร[2] ทำให้มีการขยายตัวและเกิดการหดตัวเมื่อสูญเสียน้ำ อีกทั้งเรซินอะคริลิกยังสามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์

ปัจจุบันมีผู้พยายามปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิก เพื่อให้สามารถทนทานต่อการแตกหัก โดยวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้คือ การเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เรซินอะคริลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถเลือกใส่เส้นใยเฉพาะในบริเวณที่ฐานฟันเทียมเกิดการแตกหักได้บ่อยๆ การนำใช้เส้นใยมาเสริมแรงแก่ฐานฟันปลอมเรซินอะคริลิกนั้นเป็นไปตามหลักของการเสริมแรงวัสดุผสมด้วยเส้นใย[13, 15] ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อหลัก และส่วนที่เป็นเส้นใย โดยเส้นใยที่นำมาใช้เสริมแรงนั้นจะต้องมีความแข็งแรงสูงกว่าเนื้อหลัก (ตารางที่ 1) จึงจะทำให้วัสดุผสมมีค่าความแข็งแรง และทัฟเนสส์ (toughness) เพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนของเนื้อหลักจะส่งผ่านแรงที่ได้รับไปยังส่วนของเส้นใยที่มีความแข็งแรงมากกว่า โดยประสิทธิภาพการเสริมแรงด้วยเส้นใยนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ[13-15] ได้แก่ ปริมาณของเส้นใย เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว การเรียงตัว ตำแหน่ง และการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเนื้อหลัก

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของเส้นใยชนิดต่างๆ และเรซินอะคริลิก

วัสดุ	ความแข็งแรงดึง (จิกะพาสคัล)	มอดูลัสของความยืดหยุ่น (จิกะพาสคัล)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวขณะขาด	ความถ่วงจำเพาะ (กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)
เส้นใยคาร์บอน	1.5-4.8[13]	228-724[13]	0.6-1.4[13]	1.78-2.15[13]
เส้นใยแก้ว (E-Glass)	3.45[13]	72.5[13]	4.9[13]	2.58[13]
เส้นใยอะรามิด (Kevlar 49)	3.6-4.1[13]	131[13]	2.8-4.0[13]	1.44[13]
เส้นใยโพลีเอททิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE; Spectra 900)	2.6[13]	117[13]	3.5[13]	0.97[13]
เส้นใยไหม (B. mori silk)	0.740 [14]	10[14]	20[14]	1.25-1.34[14]
เรซินอะคริลิก (Poly (methyl methacrylate))	0.052-0.071[3]	3.8[3]	2-5.5[3]	1-2[3]

การเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยเส้นใย

1. การเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยเส้นใยคาร์บอน

เส้นใยคาร์บอนเป็นเส้นใยอนินทรีย์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้าง 2 รูปแบบคือ เพชร และแกรไฟต์ แต่ที่นำมาใช้ในขบวนการเสริมคือ แกรไฟต์ โดยโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยคาร์บอนจะประกอบเป็นชั้น 6 เหลี่ยม เส้นใยคาร์บอนที่ใช้เสริมแรงในเรซินอะคริลิกมีหลายรูปแบบคือ รูปแบบของสายหลวมๆ รูปแบบประสานกันเป็นแผ่น รูปแบบมีเส้นยาว และรูปแบบเส้นตัดสั้น มีการศึกษาพบว่า การใช้เส้นใยคาร์บอนรูปแบบเส้นยาวสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้มากกว่ารูปแบบอื่น[16]

การเพิ่มเส้นใยคาร์บอนเข้าไปในเรซินอะคริลิกสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกได้ร้อยละ 50[17] และลดจำนวนครั้งการแตกหักของฐานฟันเทียม โดยการใช้เส้นใยคาร์บอนซ่อมบริเวณที่มีการแตกหักทำให้ฟันเทียมมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 2 เท่า[17-18]

Bowman และ Manley[19] ได้ทำการศึกษาทางคลินิกโดยเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยวิธี "CF/PMMA Prepreg" โดยการใช้เส้นใยคาร์บอนเสริมในเรซินอะคริลิก แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอัดความดันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อลดฟองอากาศ และทำเป็นแผ่นบางที่มีความยาว 25 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำแผ่น "Prepreg" นี้ไปวางบริเวณฟันเขี้ยวซ้ายถึงฟันเขี้ยวขวาในฟันเทียมบน พบว่าไม่มีการแตกหักของฟันเทียมและทำให้ฟันเทียมมีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่าฟันเทียมที่ไม่ได้เสริมแรง 2 เท่า

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยใช้เส้นใยคาร์บอนที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสาร ไซเลน โดย DeBoer และคณะ[20] ใช้เส้นใยคาร์บอนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน A-174 (γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane; Union Carbide Corp., New York, N.Y.) ก่อนนำไปใช้เสริมแรงเรซินอะคริลิก พบว่า การวางเส้นใยตามแนวยาวทำให้ความแข็งแรง ดัดของเรซินอะคริลิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และมากกว่าการวางเส้นใยตามขวาง (transverse direction) และการวางเส้นใยแบบ 2 แนว (combination fiber; transverse and longitudinal direction) ซึ่งสอด คล้องกับการศึกษาของ Yazdanie และ Mahood[21] ใช้เส้นใยคาร์บอนที่ชุบสารไซเลนก่อนนำไปใช้ พบว่าการใช้เส้นใยแบบเส้นยาวเสริมแรงทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าเส้นใยแบบสานเป็นแผ่น

แม้ว่าการใส่เส้นใยคาร์บอนจะเพิ่มความแข็งแรงแก่เรซินอะคริลิก แต่เส้นใยคาร์บอนก็มีข้อด้อยในเรื่องความสวยงามเพราะมีสีดำ นอกจากนี้ยังมีปัญหาในการขัด เนื่องจาก เส้นใยยื่นยาวออกมานอกส่วนของฟันเทียมและทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อได้[17]

2. การเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยเส้นใยอะรามิด

เส้นใยอะรามิดมีชื่อทางการค้า เรียกว่า เคฟลาร์ (Kevlar®) ผลิตโดยบริษัทดูปองค์ (Dupont) ประเทศสหรัฐอเมริกา ทวารอน (Twarlon®) ผลิตโดยบริษัทอักโซ (Akzo) ประเทศฮอลแลนด์และเท็กนอรา (Technora®) ผลิตโดยบริษัทเทจิน (Teijin) ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น เส้นใย อะรามิดเป็นเส้นใยอินทรีย์สังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นครั้งแรกโดยบริษัทดูปองค์ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำ ไปใช้เสริมแรงในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ การผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนและหมวกของทหาร ใช้เสริมในยางรถยนต์[15] เส้นใยอะรามิดนี้มีความหนาแน่นต่ำกว่าเส้นใยชนิดอื่น (ตารางที่1) มีสูตรเคมี เป็นอาโรมาติก พอลีเอไมด์ (aromatic polyamide) หรือ ฟีนีลีนเทราพทาลาไมด์ (phenyleneterep

hthalamide) มีโครงสร้างคล้ายไนลอน แต่มีสมบัติที่เหนือกว่าเพราะมีโครงสร้างวงแหวนเบนซีน นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิการแปรสภาพแก้วสูงถึง 360 องศาเซลเซียส และสามารถทนความร้อนได้สูง มีสัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้าและความร้อนต่ำ[13] นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงดึงสูงกว่าไนลอน 2 เท่า มีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นมากกว่าไนลอนถึง 20 เท่า และมากกว่าเส้นใยแก้ว 2 เท่า จึงทำให้เส้นใยอะรามิดมีสมบัติที่จะลดโอกาสที่จะเกิดรอยร้าว (flaws) และรอยตำหนิ (defects) ซึ่งจะทำให้วัสดุอ่อนแอได้ นอกจากนี้เส้นใยอะรามิดมีการเปียกผิวดีกว่าเส้นใยคาร์บอน จึงไม่ต้องมีการปรับปรุงสภาพผิวและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย[7]

มีการนำเส้นใยอะรามิดมาเสริมความแรงในเรซินอะคริลิกซึ่งทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัด และความทนทานต่อการกระแทกมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เนื่องจากเส้นใยชนิดนี้มีสีเหลือง จึงถูกจำกัดการใช้งานให้อยู่ในบริเวณที่มองไม่เห็น เช่น บริเวณเพดานปาก

Mullarky[22] ได้ศึกษาถึงผลการใส่เส้นใยอะรามิดรูปแบบทอเป็นแผ่น และมีความหนา 1 มิลลิเมตรตั้งแต่ร้อยละ 4 ถึงร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก เพื่อเสริมแรงในเรซินอะคริลิก พบว่าการใส่เส้นใยอะรามิดตั้งแต่ร้อยละ 7.7 ถึงร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ทำให้ความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของเรซินอะคริลิกมีค่าเพิ่มขึ้น 2 ถึง 3 เท่า แต่การใส่เส้นใยอะรามิดตั้งแต่ร้อยละ 3.3 และ 3.7 โดยน้ำหนักกลับไม่ทำให้ความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของเรซินอะคริลิกเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมแรง

ในขณะที่ในปี 1989 Salem[23] ได้ศึกษาการเสริมแรงเรซินอะคริลิกโดยใช้เส้นใยผสม 2 ชนิด คือ เส้นใยอะรามิดยาว 6 มิลลิเมตร ปริมาณร้อยละ 2.5 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และใช้ผงแก้วที่ผ่านการชุบสารไซเลนมาแล้วร้อยละ 1 ถึง 20 โดยน้ำหนัก พบว่าทำให้ความแข็งแรงดัดและความแข็งของเรซินอะคริลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่การใช้เส้นใยอะรามิดร้อยละ 5 ผสมกับผงแก้วร้อยละ 10 จะทำให้ความทนทานต่อการกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมแรง

Berrong และคณะ[24] ได้ศึกษาถึงผลของการใส่เส้นใยอะรามิดร้อยละ 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน 1.2 ถึง 2.5 เท่า และพบว่าการใส่เส้นใยอะรามิดร้อยละ 1 มีการแตกหักของเรซินอะคริลิกอย่างสมบูรณ์ แต่เมื่อใส่เส้นใยอะรามิดร้อยละ 2 พบว่าเรซินอะคริลิกจะแตกหักบางส่วนโดยยังมีเส้นใยอะรามิดเชื่อมระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง

นอกจากนี้ Foo และคณะ[25] ศึกษาถึงผลของการใส่เส้นใยอะรามิดลงในเรซินอะคริลิก 3 ชนิด คือ ชนิดบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ ชนิดบ่มด้วยความร้อนที่มีความทนทานต่อการ

กระแทกสูง (high impact) และชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ใช้กันทั่วไป โดยรายงานผลความแข็งแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น 0.5 ถึง 2.5 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำเส้นใยอะรามิดไปใช้ในการซ่อมเรซินอะคริลิกที่หักกลับไม่เพิ่มความแข็งแรงดัด

3. การเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยเส้นใยแก้ว

เส้นใยแก้วที่ใช้เสริมแรงเรซินอะคริลิกเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ เส้นใยแก้วชนิด E[26] ชนิด B[27] รูปแบบของเส้นใยแก้วที่ใช้เสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกมีหลายแบบ ได้แก่ รูปแบบเส้นยาว [27] รูปแบบสานกันเป็นแผ่น รูปแบบตัดสั้น[28] พบว่าการใช้เส้นใยแก้วสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดและความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกได้อย่างมีนัยสำคัญ[26-28]

ในปี 1998 Stipho[27] ศึกษาความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิด B ยาว 2 มิลลิเมตร ร้อยละ 1 ถึง 15 โดยน้ำหนัก และพบว่าการใช้เส้นใยแก้วร้อยละ 1 สามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 14 แต่การใช้เส้นใยแก้วปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 5 จะทำให้เรซินอะคริลิกมีความแข็งแรงลดลง

การใช้เส้นใยแก้วในรูปแบบเส้นยาวให้ผลเพิ่มสมบัติทางกลมากกว่ารูปแบบอื่น โดย Aydin และคณะ[29] รายงานว่าการใช้เส้นใยแก้วในรูปแบบแท่งเส้นยาว (Stick, Stick Tech) และรูปแบบแท่งสานกันเป็นแผ่น (Sticknet, Stick Tech) สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซิน อะคริลิก 3 ชนิด คือ ชนิดบ่มด้วยความร้อน ชนิดบ่มด้วยตัวเอง และชนิดบ่มด้วยแสงได้อย่างมี นัยสำคัญ โดยรูปแบบเส้นยาวสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 50 ซึ่งมากกว่ารูปแบบสานกันเป็นแผ่นที่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกได้เพียงร้อยละ 21

ต่อมา Karacaer และคณะ[30] ทำการทดลองใช้เส้นใยแก้วชนิด E รูปแบบตัดสั้น ที่มีความยาว 4 ถึง 8 มิลลิเมตร ปริมาณร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเส้นใยแก้วที่มีความยาว 6 มิลลิเมตร และมีปริมาณร้อยละ 6 สามารถปรับปรุงสมบัติทางกลของเรซินอะคริลิกชนิดฉีด (injection molded) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 35 เพิ่มค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นได้ร้อยละ 48 และเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกได้ร้อยละ 35 แต่การใช้เส้นใยแก้วกลับไม่เพิ่มสมบัติทางกลแก่เรซินอะคริลิกชนิดอัด (compression molded)

4. การเสริมแรงฐานฟันเทียมด้วยส้นใยพอลีเอทิลีน

การนำเส้นใยพอลีเอทิลีนมาใช้เสริมแรงฐานฟันเทียมมี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบ เส้นยาว[31] รูปแบบแบบเส้นตัดสั้นๆ[32] หรือมีรูปแบบสานแผ่น[33] พบว่าการใช้เส้นใยพอลีเอทิลีน เสริมแรงฐานฟันเทียมจะปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของฐานฟันเทียมให้ดีขึ้น[31-35]

Ladizesky และคณะ[33] ศึกษาการใช้เส้นใยพอลีเอทิลีนรูปแบบสานกันเป็นแผ่น 5 ชั้น เสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน พบว่าความเหนียว (stiffness) ของเรซิน อะคริลิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 และความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 13 นอกจากนี้ Williamson และ คณะ[36] ได้ศึกษาการใช้เส้นใยพอลีเอทิลีนร้อยละ 0.5 ถึง 3 โดยน้ำหนัก กับเรซินอะคริลิก 2 ชนิด คือ ชนิดบ่มด้วยไมโครเวฟ (Acron MC; GC International Corporation, Scottsdale, Ariz) และชนิดที่มีความทนทานต่อการกระแทกสูง (Lucitone 199; Dentsply International Inc., York, Pa) พบว่า การใช้เส้นใยพอลีเอทิลีนร้อยละ 0.5 ถึง 3 ทำให้ความแข็งแรงดัดของ Acron MC ลดลง แต่กลับทำให้ความแข็งแรงดัดของ Lucitone 199 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยการใช้เส้นใยพอลีเอทิลีน ร้อยละ 0.5 ทำให้ความแข็งแรงดัดเพิ่มมากที่สุด

การเสริมแรงด้วยเส้นใยพอลีเอทิลีนสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของฐานฟันเทียมได้ โดยมีการศึกษาของ Braden และคณะ[37] นำเส้นใยพอลีเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMPE; ultrahigh molecular weight polyethylene) มาใช้ในการเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน ทำให้ความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้นถึง 16 เท่า ในขณะที่การใช้เส้นใยคาร์บอนทำให้ความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้นถึงเพียง 3 เท่า นอกจากนี้การศึกษาของ Gutteridge[32] โดยใช้ UHMPE ที่มีความยาว 6 มม. ในปริมาณร้อยละ 0.5 ถึง 4 โดยน้ำหนักและแช่ให้อิ่มตัวในมอนอเมอร์ ก่อนจะนำไปเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน พบว่าการใช้เส้นใย UHMPE ปริมาณร้อยละ 0.5 ถึง 3 สามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทก 2 ถึง 4. 5 เท่า แต่การใช้เส้นใย UHMPE ปริมาณมากกว่าร้อยละ 3 จะไม่เพิ่มความทนทานต่อการกระแทก แก่เรซินอะคริลิก และถ้าใช้เส้นใย UHMPE ที่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 4 จะทำให้สูญเสียสมบัติ ได้โดยเรซินอะคริลิกจะแห้งเกินไป

นอกจากนี้การนำเส้นใยพอลีเอทิลีนสานกันเป็นแผ่นสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของฐานฟันเทียม และยังพบว่าการดูดซึมน้ำไม่มีผลต่อสมบัติทางกลของเรซิน อะคริลิก โดยการใส่เส้นใยจะช่วยลดการดูดซึมน้ำถึงร้อยละ 25[32]

เส้นใยพอลีเอทิลีนมีข้อดี คือ มีความเหนียว ไม่เปราะ และความแข็งแรงสูง สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อในช่องปากได้ดี นอกจากนี้ยังมีความโปร่งใส มีสีสวย มีความหนาแน่นต่ำ ไม่ทำให้น้ำหนักของฟันเทียมเพิ่มขึ้น ทำให้ฟันเทียมดูดซึมน้ำน้อยลง และสามารถขัดแต่งได้ง่าย ส่วนข้อเสียเส้นใยพอลีเอทิลีน คือ ไม่ยึดติดทางเคมีกับเรซินอะคริลิก จึงต้องมีการเตรียมสภาพพื้นผิวก่อนนำไปใช้งานโดยวิธีพลาสมาทรีทเมนท์ (plasma treatment) เพื่อให้เกิดความเป็นขั้วไฟฟ้าที่ผิวของเส้นใย ทำให้เพิ่มพื้นที่การยึดติดกับเรซินอะคริลิกส่งผลให้มีการยึดติดกับเรซินอะคริลิกดีขึ้น และทำให้ค่าความแข็งแรงดัดและค่าความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกเพิ่มขึ้น[35-36]

โดยสรุปการเสริมแรงฐานฟันเทียมอะคริลิกด้วยเส้นใยคาร์บอน เส้นใยอะรามิด เส้นใยแก้ว และเส้นใยพอลีเอทิลีน มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนี้

1. เส้นใยคาร์บอนมีข้อดี คือ เพิ่มความแข็งแรงดัดของฐานฟันเทียมลดจำนวนครั้งของการ แตกหัก ไม่เป็นพิษแก่ร่างกายแต่มีข้อเสียคือไม่เชื่อมติดกับเรซินอะคริลิกจึงต้องมีการปรับสภาพผิว โดยใช้สารไซเลนและมีสีดำไม่สวยงาม[16-17]

2. เส้นใยอะรามิดมีข้อดี คือ เพิ่มความแข็งแรงดัดของฐานฟันเทียม เพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของฐานฟันเทียมถ้าใช้เส้นใยปริมาณมากกว่าร้อยละ 2 เพิ่มความต้านทานความล้า ลดจำนวนครั้งของการแตกหัก โดยไม่ต้องมีการปรับสภาพผิว แต่มีข้อเสีย คือ มีสีเหลือง ไม่สวย งาม และราคาแพง[19-23]

3. เส้นใยแก้วมีข้อดี คือ เพิ่มความแข็งแรงดัดของฐานฟันเทียม เพิ่มความต้านทานความล้า และลดจำนวนครั้งของการแตกหัก ไม่มีปัญหาเรื่องสี แต่มีข้อเสีย คือ ไม่เพิ่มความแข็งแรงดึงของฐานฟันเทียม ต้องมีการปรับสภาพผิวโดยใช้สารไซเลนทำให้มีค่าใช้จ่ายและขั้นตอน การทำงานเพิ่มขึ้น[24-30]

4. เส้นใยพอลีเอทิลีนมีข้อดี คือ มีสีสวย ความหนาแน่นต่ำทำให้ฟันเทียมมีน้ำหนักเบา เข้ากัน ได้ดีกับเนื้อเยื่อในช่องปาก ลดการดูดซึมน้ำ เพิ่มความแข็งแรงกระแทกของฐานฟันเทียม แต่มีข้อเสียคือมีพลังงานที่ผิวต่ำไม่เชื่อมติดกับของเรซินอะคริลิกจึงต้องมีการปรับสภาพผิวโดยใช้วิธีพลาสมาทรีตเมนท์ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงและขั้นตอนการทำงานเพิ่มขึ้น[31-38]

จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นว่าปริมาณเส้นใยมีผลต่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง โดยปริมาณเส้นใยที่น้อยเกินไปจะไม่มีเพิ่มสมบัติทางกลแก่เรซินอะคริลิก และการใส่เส้นใยเส้นใยที่มีปริมาณมากเกินค่าวิกฤติมีผลทำให้ความแข็งแรงของเรซินอะคริลิกลดลง ซึ่งค่าที่เหมาะสมในการใช้งานเส้นใยชนิดต่างๆนั้นมีความแตกต่างกัน

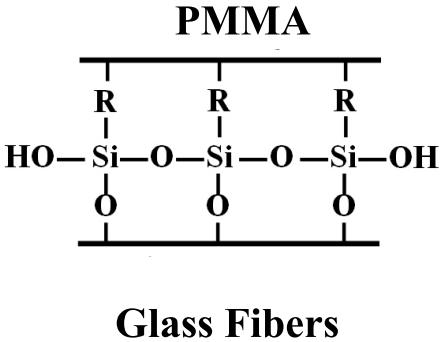
การปรับสภาพผิวของเส้นใย

เนื่องจากการเสริมแรงเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใยทำให้เกิดเป็นวัสดุผสม โดยเรซินอะคริลิกซึ่งเป็นส่วนของเนื้อหลักจะปกคลุมส่วนของเส้นใย และจะส่งผ่านแรงที่ได้รับไปยังส่วนของเส้นใยซึ่งมีค่ามอดูลัสมากกว่าทำให้วัสดุผสมที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและทนทานต่อการแตกหัก แต่ถ้าการยึดติดระหว่างเส้นใย และเรซินอะคริลิกไม่ดี วัสดุผสมที่ได้จะไม่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น[13, 15] ซึ่งวิธีการที่มีผู้ทำการศึกษามากคือ การทำพลาสมาทรีทเมนต์[36] และการใช้ไซเลน[39] โดยการศึกษาส่วนใหญ่รายงานว่า การปรับสภาพผิวเส้นใยมีส่วนช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ[40] แต่ค่าความแข็งแรงดัดอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่กรรมวิธีที่ใช้ ตลอดจนชนิด รูปแบบ และปริมาณของเส้นใย[37, 40]

Braden และคณะ[37] รายงานว่าเส้นใย UHMPE ที่ผ่านการทำวิธีพลาสมาทรีทเมนท์จะมีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 5 เท่า แต่มีผลทำให้เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมีค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 18 เมื่อเปรียบเทียบเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมแรง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย UHMPE ที่ผ่านการปรับสภาพผิวนั้น มีค่าน้อยกว่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกที่มีการเสริมแรงด้วยใช้เส้นใยคาร์บอนที่ไม่ได้มีการปรับสภาพผิว โดยที่การเสริมแรงเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใยคาร์บอนทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกมีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 54

การศึกษาของ Gutteridge[40] โดยใช้ UHMPE ปริมาณร้อยละ 1 และ 2 พบว่าการใช้ UHMPE ปริมาณร้อยละ 1 ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีพลาสมาทรีทเมนท์จะทำให้เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่มีการเสริมแรง โดยมีค่าความแข็งแรงดัดร้อยละ 11 และค่าความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้นร้อยละ 146 เมื่อใช้ UHMPE ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2 ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีพลาสมาทรีทเมนท์จะ ทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดน้อยกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่มีการเสริมแรง โดยมีค่าความแข็งแรงดัดลดลงร้อยละ 5 แต่การใช้ UHMPE ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2 ทำให้เรซินอะคริลิก มีค่าความทนทานต่อการกระแทกมากกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่มีการเสริมแรง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 223 ดังนั้นในการศึกษาของ Gutteridge[43] สรุปได้ว่า การใช้เส้นใย UHMPE ปริมาณที่เหมาะสมร้อยละ 1 ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีพลาสมาทรีทเมนท์จะปรับปรุงสมบัติทางกลของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

สารไซเลนมีสูตรโครงสร้าง คือ R-Si(OR)[41] โดย R เป็นหมู่ฟังก์ชันนัล (functional group) ที่จะเกิดพันธะกับพื้นผิวของสารอินทรีย์ (organic surface) เช่น เมทิลเมทาคริเลท ของเรซินอะคริลิกได้ที่บริเวณ -C=O- และส่วน OR ที่เป็นหมู่เอสเทอร์ (hydrolysable ester group) จะเกิดพันธะกับพื้นผิวของสารอนินทรีย์ (inorganic surface) เช่น เส้นใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 1 แต่ไม่มีการศึกษาใดอธิบายกลไกการยึดติดระหว่างสารไซเลนกับเส้นใยชนิดอื่น



รูปที่ 1 แสดงกลไกการยึดเกาะของเส้นใยแก้ว สารไซเลน และ PMMA[41]

ผิวของเส้นใยคาร์บอนไม่มีการยึดติดด้วยพันธะเคมีกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ จึงมีการพยายามปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มการยึดติดผิวโดยปรับสภาพผิว โดย Vallittu[39] ใช้เส้นใยคาร์บอนที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน 2 ชนิด คือ A174 (γ- methacryloxypropyl trimethoxysilane; Union Carbide Chemicals, Versoix, Switzerland) และ AP133 (Union Carbide Chemicals, Versoix, Switzerland) แต่พบว่าไม่ทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยคาร์บอนที่ไม่ชุบสารไซเลน

Solnit[28] ศึกษาการใช้เส้นใยแก้วเส้นตัดสั้นปริมาณ 0.1 กรัม 3 ชนิด คือ รูปแบบทอเป็นแผ่นผ้า (cloth) และมีสีขาว (Dow Corning Inc., Santa Ana, Calif) รูปแบบทอเป็นแผ่นหลวม (loose) และมีสีขาว (Gerisch Prod Inc., Torrance, Calif) รูปแบบทอเป็นแผ่นหลวม และมีสีเหลือง (Dow Corning Inc., Santa Ana, Calif) ซึ่งมีปรับสภาพผิวด้วยการชุบเส้นใยแก้วด้วยสารไซเลน (Fusion, George Taub Prod., Jersey City, N.J) นาน 5 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้งก่อนนำไปเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง พบว่า กลุ่มที่ใช้เส้นใยแก้วรูปแบบทอเป็นแผ่นหลวมทั้งสองชนิดที่ชุบสารไซเลนสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองได้ร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้เส้นใยแก้วที่ไม่ชุบสารไซเลน แต่เส้นใยแก้วรูปแบบทอเป็นแผ่นผ้าที่ชุบสารไซเลนกลับทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองลดลง และน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้เส้นใยแก้วที่ไม่ชุบสารไซเลนร้อยละ 2

Vallittu และ Narva[26] ได้ศึกษาความทนทานต่อการกระแทกชนิดชาร์ปี้ (Charpy-type) ของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วรูปแบบเส้นยาว พบว่าทำให้ค่าความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้น 10 เท่า และเมื่อใช้เส้นใยแก้วที่ปรับสภาพผิวด้วยการชุบสารไซเลน พบว่าค่าความทนทานต่อการกระแทกไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ไม่ชุบสารไซเลน

Vallittu[39] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการเสริมแรงเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยอะรามิดที่ปรับสภาพผิวด้วยการชุบสารไซเลน2 ชนิด คือ A174 และAP 133 พบว่าการใช้เส้นใยแก้วที่ชุบสารไซเลน A174 ทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 13 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยแก้วที่ไม่ชุบสารไซเลน แต่การใช้เส้นใยแก้วที่ชุบสารไซเลน AP 133 ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยแก้วที่ไม่ชุบสารไซเลน ส่วนเส้นใยอะรามิด พบว่าการใช้เส้นใยที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลนทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 32 และ 24 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยอะรามิดที่ไม่ชุบสารไซเลน

การใช้สารไซเลนในการปรับสภาพผิวทำได้ง่ายกว่าการทำพลาสมาทรีทเมนท์ เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษที่มีราคาสูง นอกจากนี้สารไซเลนไม่ได้ทำการกัดผิวเส้นใย ซึ่งต่างจากการปรับสภาพผิวด้วยการใช้กรด[42] ดังนั้นการใช้สารไซเลนน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน

มิติเสถียรภาพ (dimensional stability) ของเรซินอะคริลิก

เรซินอะคริลิกมีการเปลี่ยนแปลงมิติซึ่งเป็นผลจากการหดตัวหลังจากเกิดปฏิกริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น และยังมีการดูดซึมน้ำ โดยเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนมีการดูดซึมน้ำประมาณ 0.69 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร^2 ขณะการใช้งานและจากการแช่น้ำ โดยที่เรซินอะคริลิกมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 1 จะทำให้มีการขยายตัวในแนวเส้นร้อยละ 0.23[2] แต่การขยายตัวหลังจากการดูดซึมน้ำของเรซินอะคริลิกจะถูกชดเชยด้วยการหดตัวหลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น และการขยายตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำของเรซินอะคริลิกจะเกิดมากที่สุดในภายใน 30 วัน แต่หลังจาก 60 วันจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมิติ[3]

เมื่อมีการใช้เส้นใยเสริมแรงเรซินอะคริลิก พบว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของเรซินอะคริลิก Valittu[43] ทำการศึกษาถึงมิติเสถียรภาพของเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อน และบ่มชนิดที่บ่มด้วยตัวเองที่เสริมแรงด้วยโลหะและเส้นใยแก้วหลังจากแช่น้ำ 7 วัน และ 14 วัน พบว่าเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนที่ไม่ได้มีการเสริมแรงและเรซินอะคริลิกที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วจะมีมิติเสถียรภาพต่ำกว่าการเสริมแรงด้วยโลหะ

Cal และคณะ[44] ศึกษาเรื่องการดูดน้ำและมิติเสถียรภาพของฐานฟันปลอมเรซินอะคริลิกที่ได้รับการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว กลับพบว่าหลังจากใส่เส้นใยแก้วการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซินอะคริลิกมีค่าลดลง

Chow และคณะ[38] ซึ่งได้ศึกษาถึงผลของการเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนโดยการใช้เส้นใยพอลีเอทิลลีนรูปแบบต่างๆ ได้แก่ รูปแบบเส้นสั้นร้อยละ 2 และ 37 รูปแบบทอเป็นแผ่น 1 ถึง 5 ชั้น รูปแบบเส้นยาวร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก พบว่าการใส่เส้นใยพอลี เอทิลลีนลงไปจะช่วยลดการดูดซึมน้ำ 2 เท่า และลดการเปลี่ยนแปลงทางมิติเสถียรภาพได้ตั้งแต่ 2 ถึง 22 เท่า เมื่อเทียบกับเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนที่ไม่มีการเสริมแรง นอกจากนี้พบว่า การนำเส้นใยพอลีเอทิลีนรูปแบบสานกันเป็นแผ่นสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของ เรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อน และยังพบว่าการดูดซึมน้ำไม่มีผลต่อสมบัติทางกลของเรซินอะคริลิก โดยการใส่เส้นใยพอลีเอทิลีนจะช่วยลดการดูดซึมน้ำของเรซินอะคริลิกถึงร้อยละ 25

นอกจากนี้มิติเสถียรภาพของฟันเทียมขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความหนา รูปร่างของฟันเทียม และกระบวนการผลิต[45-47] อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงมิติของฐานฟันเทียมมี ความสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับเนื้อเยื่อ หากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเกิดขึ้นมาก อาจมีผลต่อการยึดอยู่ของฐานฟันเทียมได้

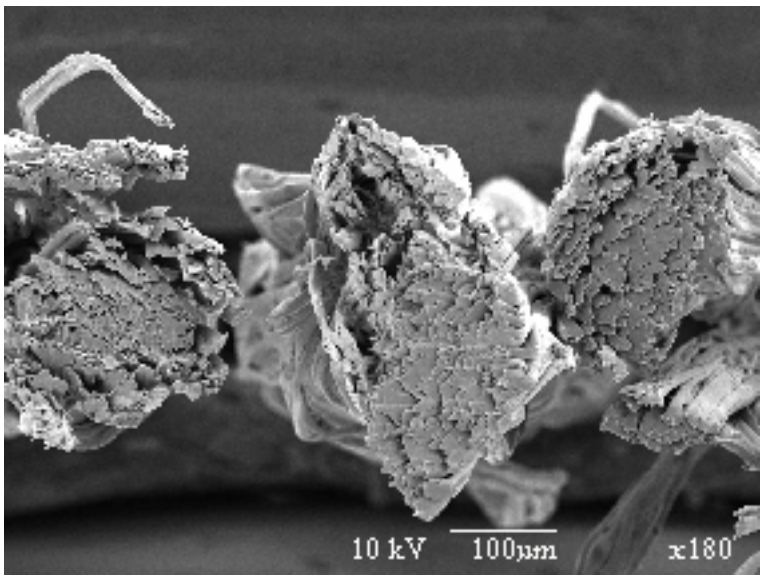
เส้นใยไหม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลได้ทำการวิจัยเรื่องการนำเส้นใยไหมมาทำเสื้อเกราะกันกระสุน[48] โดยทอผืนผ้าแบบ basket 2×2 ด้วยเส้นด้ายยืนขนาด 455 ดีเนียร์ (ดีเนียร์ คือ หน่วยที่บอกถึงความหนาแน่นของเส้นใยโดยมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเส้นใยที่มีความยาว 9000 เมตร) มีความต้านทานต่อแรงดึง 120 ปอนด์และเส้นด้ายพุ่งที่มีความต้านทานต่อแรงดึง 400 ปอนด์ นำผ้าไปวางตัดทำชิ้นทดสอบขนาด 6-6 นิ้ว เริ่มต้นความหนา 30 ถึง 50 ชั้น พบว่าความหนา 30 ชั้นเหมาะสมในการต้านการเจาะทะลุของกระสุน ซึ่งความสำเร็จในการทดลอง ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งแต่เดิมเสื้อเกราะกันกระสุนนั้นทำมาจากเส้นใยอะรามิดของบริษัทดูปองต์ ในชื่อของเส้นใยเคฟลาร์ หรือเส้นใยพอลีเอทิลีนชนิดที่มีความแข็งแรงสูงยิ่งยวดของบริษัท Allied Signal ในชื่อของเส้นใยสเปกตรา (Spectra) ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์

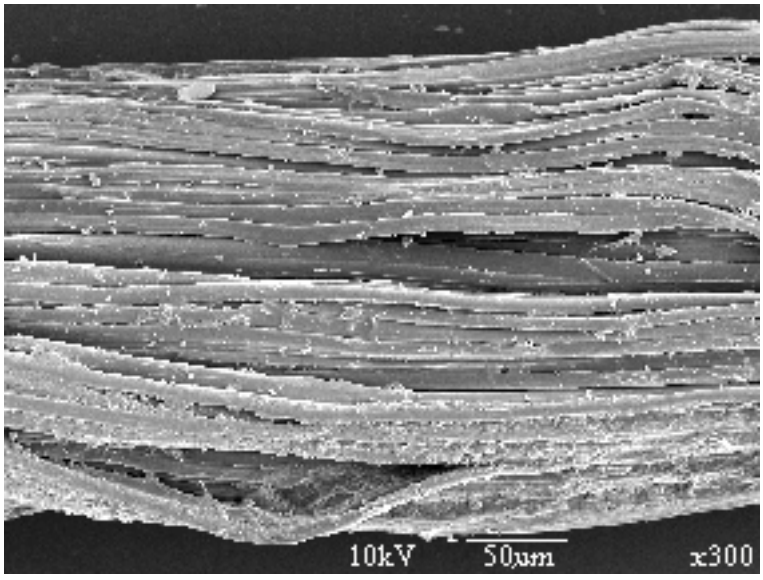
เส้นใยไหมพันธุ์พื้นบ้านมีลักษณะเป็นเส้นยาวต่อเนื่องและมีสีเหลือง (รูปที่ 2) ผลิตมาจากตัวไหม (Bombyx mori) เป็นวัสดุผสม มีส่วนประกอบหลัก คือ โปรตีนไฟโบรอิน (fibroin) 2 เส้น น้ำหนัก 25 และ 325 กิโลดาลตัน (kDa) และมีกาวไหมเซอริซิน (sericin) เคลือบส่วนของไฟโบรอิน โดยเซอริซินเป็นส่วนของไกลโคโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าไฟโบรอิน และมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophillic) จึงละลายในน้ำได้ แต่ส่วนที่เป็นโปรตีนไฟโบรอินมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ไม่ละลายในสารละลายไม่ว่าจะเป็นน้ำกรดหรือด่างที่เจือจาง มีส่วนประกอบเป็น ß-sheets โดยมีไกลซีน (glycine) สลับกับชั้นของอะลานีน (alanine) และเซอรีน

(serines) เส้นใยไหมมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.25-1.34 ค่าความแข็งแรงดึง 2.4-5.1 กรัม ต่อดีเนียร์ มีรูปร่างภาคตัดขวางเป็นสามเหลี่ยมมุมมน มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.15 มิลลิเมตร และสามารถทนความร้อนได้ถึงอุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส[49] เมื่อดูจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy) จะเห็นว่าภายในประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆจำนวนมาก (รูปที่ 3 และ 4)

รูปที่ 2 แสดงเส้นใยไหมพันธุ์พื้นบ้านมีสีเหลือง



รูปที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของเส้นใยไหมจากภาพถ่ายกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 180 เท่า

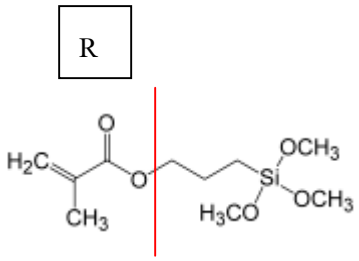


รูปที่ 4 แสดงภาพตามยาวของเส้นใยไหมจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 300 เท่า

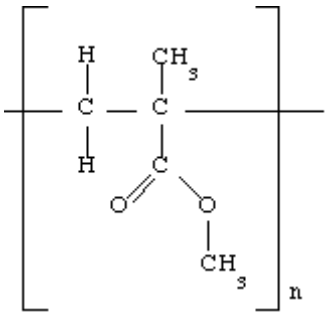
ข้อมูลสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกับเส้นใยชนิดอื่น (ดังตารางที่1) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหมมีความแข็งแรงดึงสูง มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าเรซินอะคริลิก ดังนั้นการนำใช้เส้นใยไหมมาเสริมแรงแก่ฐานฟันปลอมเรซินอะคริลิก จึงมีความเป็นไปได้สูงตามหลักของการเสริมแรงวัสดุผสมด้วยเส้นใย[13,15]

การศึกษาการนำเส้นใยไหมมาใช้ในการเสริมแรงเบื้องต้นนี้ ได้พิจารณาใช้เส้นใยแบบยาว ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าเป็นลักษณะที่สามารถเสริมแรงได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมตำแหน่ง ตลอดจนการเรียงตัวของเส้นใยให้อยู่ในบริเวณที่ต้องการได้ง่ายกว่าแบบตัดสั้น ซึ่งมีผู้รายงานว่าเส้นใยอาจโผล่ออกมาที่พื้นผิวทำให้มีลักษณะไม่เรียบ[17]

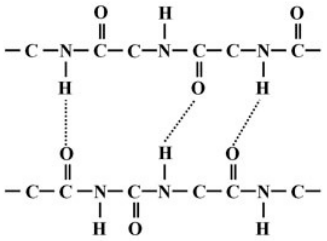
กรรมวิธีในการปรับสภาพผิวเส้นใยที่เลือกนำมาศึกษาใช้กับเส้นใยไหม คือ การใช้สารไซเลน metacryloxypropyltrimethoxy ซึ่งผลิตโดยบริษัท Ultradent ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 5 โดยสารไซเลนซึ่งมีสูตรโครงสร้าง คือ R-Si(OR) โดย R เป็นหมู่ฟังก์ชันนัล ที่เป็นเมทาคริเลท (methacrylate) อาจจะเกิดพันธะกับเมททิลเมทาคริเลทของเรซินอะคริลิก ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 6 ได้ที่บริเวณ -C=O- และส่วน OR ที่เป็นหมู่เอสเทอร์ (hydrolysable ester group) จะเกิดพันธะกับโปรตีนไฟโบรอิน ที่บริเวณ -C-N-H- ของเส้นใยไหมได้ ดังรูปที่ 7 และ 8



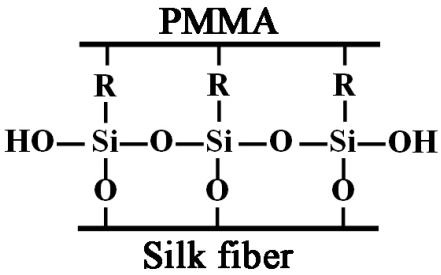
รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ metacryloxypropyltrimethoxy silane โดยมี R เป็นหมู่ฟังก์ชันนัล[42]



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ PMMA[3]



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโปรตีนไฟโบรอินของเส้นใยไหม[14]



รูปที่ 8 แสดงการยึดติดของสารไซเลนกับเรซินอะคริลิกและเส้นใยไหมที่คาดว่าจะเป็นไปได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมที่มีการปรับสภาพด้วยสารไซเลน (metacryloxypropyltrimethoxy silane)
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซิอะคริลิกที่มีเส้นใยไหมเสริมแรง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้องค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกที่รับการเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลและการเปลี่ยนแปลงทางมิติเสถียรภาพที่เหมาะสมต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาคือการหาปริมาณที่เหมาะของเส้นใยไหมรูปแบบเส้นยาวในการเสริมแรงเรซินอะคริลิก โดยประเมินจากค่าความแข็งแรงดัดและความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิก และศึกษาสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมในปริมาณที่เหมาะสมที่มีการปรับสภาพด้วยการชุบสารไซเลน รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซินอะคริลิกที่มีเส้นใยไหมเสริมแรง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองอื่น ต่อไป