



# ผลของสารเชื่อมยึดและระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว

ประภาพร หอมจันทร์จรัส ท.บ. (เกียรตินิยม)<sup>1</sup>

อิสราวัลย์ บุญศิริ ท.บ., Cert. in Fixed Prosth.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup>ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์** เพื่อศึกษาผลของสารเชื่อมยึด 2 ชนิด และระยะเวลาการเก็บชิ้นงานต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว

**วัสดุและวิธีการ** ชิ้นทดสอบขนาด 2x2x25 มิลลิเมตร สร้างขึ้นจากวัสดุเรซินอะคริลิกชนิดบ่มได้เองจำนวน 80 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (ก) กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเส้นใย (ข) กลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวเส้นใยแก้ว (ค) กลุ่มเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลน และ (ง) กลุ่มเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดโททานेट โดยเส้นใยแก้วที่ใช้เสริมความแข็งแรงปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรถูกจัดวางให้ขนานตามแนวยาวและอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ แต่ละกลุ่มทดลองถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยเพื่อเก็บชิ้นงานในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน และ 30 วัน ก่อนนำมาทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (ความเร็วในการเคลื่อนหัวกด 1 มม. ต่อนาที) จากนั้นศึกษาลักษณะพื้นผิวที่แตกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดัดขวางด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง

**ผลการศึกษา** ค่าความแข็งแรงดัดขวางของแต่ละกลุ่มทดสอบต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดโททานेट กลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวเส้นใยแก้ว และกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเส้นใยแก้ว ตามลำดับ และค่าความแข็งแรงดัดขวางของแต่ละกลุ่มทดสอบที่แช่น้ำ 7 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่แช่น้ำ 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

**สรุป** สารเชื่อมยึดสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางในเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว และเวลาในการเก็บชิ้นงานมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว

(ว ทนต จุฬาฯ 2551;31:349-58)

**คำสำคัญ:** ความแข็งแรงดัดขวาง; เรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว; สารเชื่อมยึดไซเลน; สารเชื่อมยึดโททานेट

## บทนำ

สะพานฟันชั่วคราวเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวเอง (chemically activated acrylic resin) มีความจำเป็นในการทำหน้าที่ยึดติดและเพื่อความสวยงามขณะรอชิ้นงานสะพานฟันถาวรจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องมีความแข็งแรงทนทานต่อแรงบิดเคี้ยวในช่องปาก<sup>1-3</sup> โดยเฉพาะในกรณีสะพานฟันที่มีความยาวมาก หรืออยู่ในบริเวณที่รับแรงบิดเคี้ยวสูง ในทางคลินิกสะพานฟันต้องรับแรงจากหลายทางด้วยกัน เช่น แรงกด แรงดึง และแรงเฉือน จึงมีความจำเป็นในการหาวิธีเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เรซินอะคริลิกที่ใช้ทำสะพานฟันชั่วคราว แม้ว่าการใช้เครื่องอัดความดันขณะที่เรซินอะคริลิกบ่มตัวจะสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุได้ เนื่องจากจำนวนรูพรุนที่ลดลงในส่วนผสมเรซินอะคริลิก<sup>4</sup> แต่ยังคงพบการแตกหักในสะพานฟันชั่วคราวที่มีความยาวมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรอยต่อระหว่างฟันหลัก (retainer) กับฟันแขวน (pontic) ปัจจุบันการเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเสริมเส้นใยในเรซินอะคริลิก<sup>5-10</sup> เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเส้นใยที่ใช้เสริมความแข็งแรงนี้แบ่งออกได้หลายประเภท ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยอะรามิด (aramid fiber) เส้นใยพอลิเอทิลีน (polyethylene fiber) และเส้นใยแก้ว (glass fiber)

เรซินอะคริลิกชนิดเสริมเส้นใยประกอบด้วยเส้นใยที่ฝังอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ความแข็งแรงของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ พอลิเมอร์เมทริกซ์ของวัสดุชนิดของเส้นใยที่เสริมความแข็งแรง การยึดติดกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ปริมาณเส้นใยและการเรียงตัวของเส้นใย<sup>11-13</sup> ความล้มเหลวของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยเกิดจากแรงภายนอกที่มากกระทั่งทำให้เกิดการแตกหักของพอลิเมอร์เมทริกซ์และการแตกหักที่ดำเนินต่อไปที่บริเวณพื้นผิวเชื่อมต่อกันถึงเส้นใย<sup>14</sup> การเพิ่มการยึดติดของเส้นใยกับพอลิเมอร์สามารถช่วยให้เรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการเพิ่มการยึดติดของเส้นใยกับพอลิเมอร์ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ การยึดติดทางกลจากการใช้กรดกัดผิวเส้นใยและการยึดติดทางเคมี ได้แก่ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา<sup>15</sup> หรือการใช้สารเชื่อมยึดไซเลน<sup>11,12,16</sup> จากการศึกษาของ Vallittu พบว่าเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนสามารถเกิดพันธะเคมีระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ได้<sup>5,13</sup> ดังนั้นจากสมบัติการยึดติดที่ดีรวมถึงสมบัติด้านความสวยงามของเส้นใยแก้วทำให้เรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วได้รับความนิยมในทางทันตกรรมมากขึ้น<sup>17,18</sup>

ในทางทันตกรรมมีการนำสารเชื่อมยึดไซเลนที่เรียกว่า สารไซเลนคอปปลิง (Silane coupling agent) มาใช้ช่วยเพิ่มการยึดติด<sup>16</sup> โดยสารเชื่อมยึดนี้เป็นตัวเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดี ในที่นี้ คือ เรซินอะคริลิกและเส้นใยแก้วตามลำดับ โดยสารเชื่อมยึดที่มีขายในท้องตลาดรู้จักกันในชื่อทางเคมีว่า มอนอฟังก์ชันนัลแกมมาเมทาคริลอกซีพรอพิลไตรเมทอกซีไซเลน (monofunctional  $\gamma$  methacryloxypropyl trimethoxysilane;  $\gamma$ -MPTS) หรือไตรเมทอกซีไซลิลพรอพิลเมทาคริเลต (3-trimethoxy silylpropylmethacrylate; 3-MPS) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของสารเชื่อมยึดกลุ่มอื่น เช่น มอนออัลคอกซีไฟโรฟอสเฟตไททาเนต (mono-alkoxy pyrophosphate titanate) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ อาจให้ผลการเชื่อมยึดในทางทันตกรรมเช่นเดียวกัน จึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งหากนำสารเชื่อมยึดกลุ่มนี้มาทดแทนกลุ่มเดิมเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตเรซินอะคริลิกชนิดเสริมเส้นใยแก้วเพื่อทำฐานฟันปลอมและสะพานฟันชั่วคราว เนื่องจากมีราคาถูกกว่า

ในทางคลินิกความแข็งแรงดัดขวาง (transverse strength) ของวัสดุมีผลต่อความสามารถในการต้านทานต่อการแตกหักขณะบิดเคี้ยวของเรซินอะคริลิก<sup>19</sup> ซึ่งสามารถประเมินได้จากวิธีการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (three point bending) เพื่อหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสูงสุดที่ทำให้วัสดุแตกหัก<sup>2</sup> ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำทั้งแรงกด ณ ตำแหน่งที่ให้แรง รวมทั้งแรงดึงและแรงเฉือน ณ ตำแหน่งที่ต้านแรง<sup>1</sup> การศึกษาที่จัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่เพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินอะคริลิกและเส้นใยด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนที่มีขายในท้องตลาดกับสารเชื่อมยึดไททาเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ รวมทั้งผลของการเก็บชิ้นงานต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุนี้

## วัสดุและวิธีการ

วัสดุและส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ชิ้นทดสอบถูกเตรียมขึ้นโดยใช้แบบหล่อโลหะที่ประกอบด้วยฐานทองเหลืองและแผ่นเหล็กไร้สนิม 2 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนา 1 มิลลิเมตร ความกว้าง 2 มิลลิเมตร และความยาว 25 มิลลิเมตร โดยเมื่อประกอบแผ่นเหล็กไร้สนิมทั้ง 2 ชั้นเข้าด้วยกันบนฐานทองเหลืองจะได้แบบหล่อของชิ้นทดสอบซึ่งมีขนาด 2x2x25 มิลลิเมตร (รูปที่ 1) ผสมส่วนผงอะคริลิก

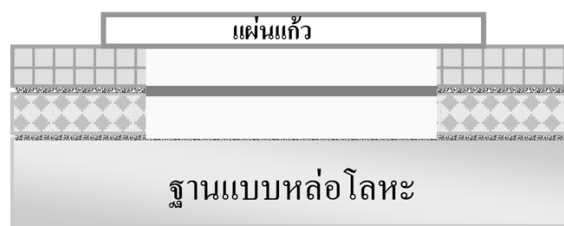
ตารางที่ 1 วัสดุและส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Materials and their compositions used in this study

Product name	Manufacturer	Composition
UNIFAST Trad	GC, Dental products Corporation, Japan	- Methylmethacrylate Resin - Benzoyl peroxide
Glass fiber	Saint-Gobain, Thailand	52-62% SiO <sub>2</sub> , 0-10% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 11-16% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0-3% TiO <sub>2</sub> , 0-1% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0-2% F <sub>2</sub>
Monobond-S	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein	50-52% wt. Ethanol 1% wt. 3-Methacryloyloxypropyl-trimethoxysilane
Titanate Coupling agent NDZ-201	Nanjing Shuguang Chemical, China	- Isopropyl tri (dioctyl) pyrophosphate titanate



A.



B.

รูปที่ 1 แบบหล่อโลหะที่ใช้ในการศึกษา

A. ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบหล่อโลหะ

B. ด้านข้างของแบบหล่อโลหะ

Fig. 1 The metal split mold used in this study

A. The component of the metal split mold

B. Lateral view of the metal split mold

และมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 1 : 1 ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต และเพื่อให้ได้ความชันหน้าของเรซินอะคริลิกที่เพียงพอต่อการใส่วัสดุลงในแบบหล่อโลหะ การเตรียมขึ้นทดสอบจะถูกแบ่งตามกลุ่มทดลองทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นขึ้นทดสอบเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยแก้ว กลุ่มที่ 2 เป็นขึ้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวเส้นใย กลุ่มที่ 3 เป็นขึ้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลน และกลุ่มที่ 4 เป็นขึ้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไททานเตต

ในกลุ่มทดลองที่ 2-4 ซึ่งมีการเสริมความแข็งแรงของขึ้นทดสอบเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใยแก้วนั้นจะใช้เส้นใยแก้วในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร<sup>20</sup> วางอยู่ในแนวขนานตามยาวและในตำแหน่งกึ่งกลางของขึ้นทดสอบ ภายหลังจากการบ่มตัวของเรซินอะคริลิกสมบูรณ์แล้วแกะขึ้นทดสอบออกจากแบบหล่อ ชัดแต่งให้เรียบและได้ขนาดตามที่ต้องการด้วยกระดาษทรายน้ำ นำขึ้นทดสอบในแต่ละกลุ่มทดลองแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน และ 30 วันในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand) ก่อนนำมาทดสอบความแข็งแรงดัดขวางโดยแต่ละกลุ่มทดลองย่อยประกอบด้วยขึ้นทดสอบทั้งหมด 10 ชิ้น

การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางของขึ้นทดสอบกระทำโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิก (Servo Hydraulic System) (Model 8872, INSTRON, USA) โดยใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 1000 นิวตัน วางขึ้นทดสอบให้ยึดอยู่บนที่จับบนฐานของเครื่องทดสอบโดยมีระยะห่างระหว่างจุดรองรับ 20 มิลลิเมตร หัวกดทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางของขึ้นทดสอบ เคลื่อนหัวกดลงด้วยความเร็วในการกด (cross head speed) 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนเกิดการแตกร้าวของวัสดุ ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของแรงทันที บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหักเพื่อนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงดัดขวางจากสูตร

$$S = 3WL/2bd^2$$

โดย S คือ ความแข็งแรงดัดขวาง; W คือ ค่าแรงสูงสุดที่ขึ้นทดสอบแตก; L คือ ระยะห่างของจุดที่รองรับขึ้นทดสอบ; b คือ ความกว้างของขึ้นทดสอบ และ d คือ ความหนาของขึ้นทดสอบ

ตรวจสอบบริเวณที่เกิดการแตกหักของขึ้นทดสอบด้วย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) (JSM 5410LV, JEOL, Tokyo, Japan) ที่ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์

วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดัดขวางของแต่ละกลุ่มด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparisons) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 13 (Statistical Package for Social Science, SPSS version 13) กำหนดค่านัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ )

## ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงดัดขวางในแต่ละกลุ่มทดลองนำเสนอตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดัดขวางจากปัจจัยการเพิ่มแรงยึดติดด้วยสารเชื่อมยึดและระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) พบว่าไม่มีผลกระทบร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย ( $p = 0.688$ ) จึงเปรียบเทียบผลของสารเชื่อมยึดต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางโดยพิจารณาในแต่ละระยะเวลาที่เก็บชิ้นทดสอบไว้ในน้ำกลั่นด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และการเปรียบเทียบพหุคูณชนิดเชฟเฟ (Scheffe's test) โดยในกลุ่มทดสอบที่แช่น้ำ 7 วัน พบว่าเรซินอะคริลิกกลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนมีความแข็งแรงดัดขวางสูงที่สุด โดยสูงกว่าเรซินอะคริลิกกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในกลุ่มทดสอบที่แช่น้ำไว้ 30 วัน พบว่าเรซินอะคริลิกกลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนมีความแข็งแรงดัดขวางสูงที่สุดเช่นเดียวกัน ( $p < 0.001$ ) ขณะที่ความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกกลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.561$ ) (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานต่อความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกในแต่ละกลุ่มทดลองด้วยการทดสอบที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่ไม่สัมพันธ์กัน (Independent t-test) พบว่าขึ้นทดสอบที่แช่น้ำ 7 วันมีความแข็งแรงดัดขวางมากกว่ากลุ่มที่แช่น้ำ 30 วันในทุกๆ กลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.002$ ) (ตารางที่ 2)

ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณรอยแตกของชั้นทดสอบเรซินอะคริลิก (รูปที่ 2) พบว่าชั้นทดสอบที่เสริมเส้นใยแก้วมีการหลุดออกของเส้นใยแก้วที่ยึดติดกับเรซินเมทริกซ์บริเวณรอบ ๆ เกิดเป็นช่องว่าง พื้นผิวของเส้นใยแก้วไม่ถูกเคลือบทับด้วยเรซินเมทริกซ์ ซึ่งสังเกตจากพื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเรียบ ในขณะที่ชั้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนและไททานเตพบเส้นใยยึดติดกับเรซินเมทริกซ์ได้ดี ซึ่งสังเกตได้จากความหนาแน่นของเส้นใยเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เพิ่มการยึดติดด้วยสารเชื่อมยึด เส้นใยแก้วถูกปกคลุมด้วยเรซินเมทริกซ์โดยรอบและมีลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ค่อนข้างขรุขระ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการยึดติดกันระหว่างเส้นใยแก้วกับเรซินอะคริลิก

### วิจารณ์

การศึกษาค่าความแข็งแรงดัดขวางของชั้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนและไททานเตพบว่า ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสูงขึ้นไปถึงร้อยละ 130 และ 110 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มชั้นทดสอบเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมเส้นใยแก้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chung และคณะในปี 1998<sup>21</sup> ซึ่งพบว่า การเสริมเส้นใยแก้วร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในด้านที่เกิดแรงดึงของชั้นทดสอบสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางได้ร้อยละ 20 และแนะนำให้เสริมเส้นใยแก้วในเรซินอะคริลิกในกรณีที่ต้องใส่สะพานฟันชั่วคราวเป็นระยะเวลาสั้น ดังนั้นจึงอาจนำเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว ซึ่งปรับสภาพพื้นผิว

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงดัดขวางของชั้นทดสอบแต่ละกลุ่ม

Table 2 Mean and standard deviation of transverse strength of specimen in each group

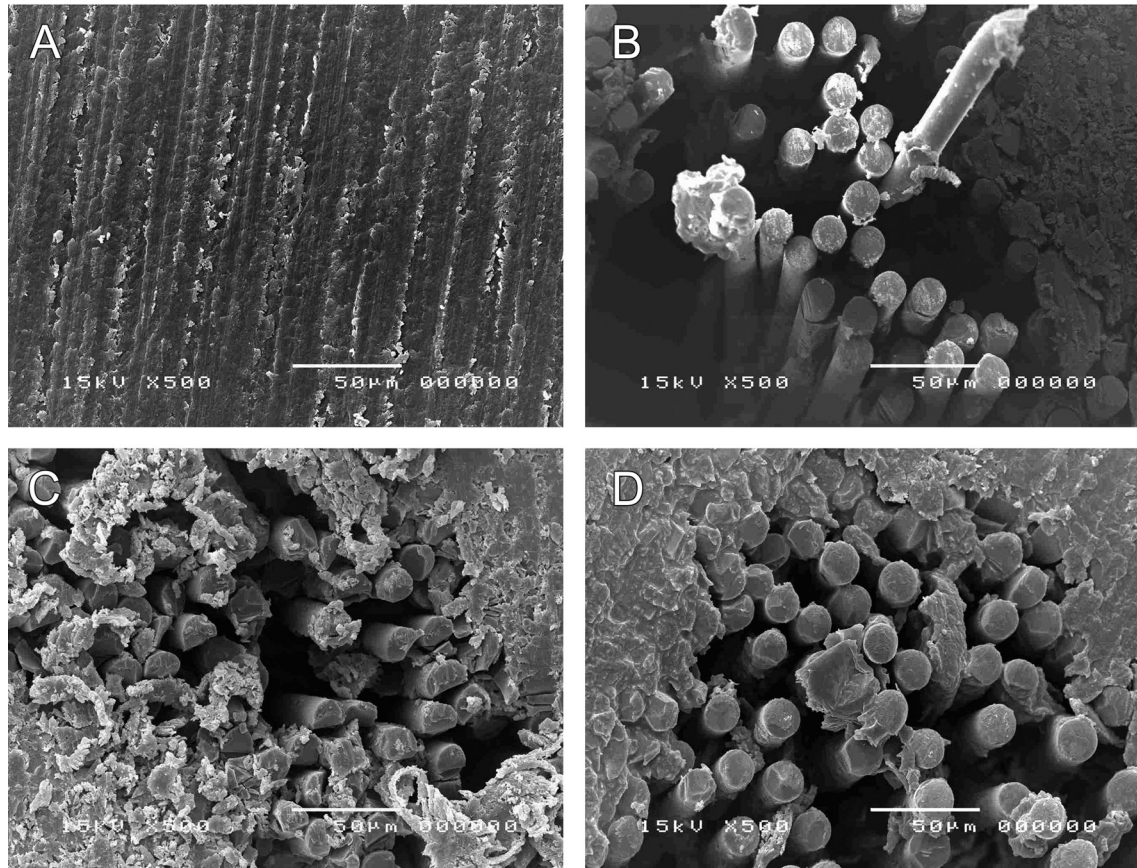
specimen	Storage times	
	7 days	30 days
Acrylic resin	78.93 (7.94)	67.40 (6.11)
Glass fiber reinforced acrylic resin	154.54 (9.40)	137.60 (11.83)*
Glass fiber reinforced acrylic resin with silane coupling agent	184.23 (9.67)	165.61 (11.87)
Glass fiber reinforced acrylic resin with titanate coupling agent	166.55 (7.99)	144.15 (9.73)*

Values in parentheses are standard deviations.

\*indicates no statistically significant difference ( $p > 0.05$ ).

ด้วยสารเชื่อมยึดไซเลนและไททาเนตมาประยุกต์ใช้ในการทำสะพานฟันชั่วคราว ทั้งในกรณีที่มีความยาวของสะพานฟันมากหรือบริเวณที่ต้องรองรับแรงบดเคี้ยวมากในระยะเวลาสั้นๆ เพื่อลดโอกาสการแตกหักบริเวณข้อต่อหรือส่วนอื่นของสะพานฟันได้

แม้ว่าความแข็งแรงดัดขวางของชั้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไททาเนตจะไม่สูงเท่ากับกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไซเลน แต่ค่าที่ได้้นั้นมากกว่ากลุ่มชั้นทดสอบเรซินอะคริลิกเสริมใยแก้วที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว รวมทั้งเมื่อตรวจสอบชั้นทดสอบ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณรอยแตกหักของชั้นทดสอบ

- A. กลุ่มเรซินอะคริลิก
- B. กลุ่มเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้ว
- C. กลุ่มเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วเพิ่มการยึดติดด้วยสารเชื่อมยึดไซเลน
- D. กลุ่มเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยแก้วเพิ่มการยึดติดด้วยสารเชื่อมยึดไททาเนต

Fig. 2 Scanning electron micrographs of specimens

- A. Acrylic resin group
- B. Fiber reinforced acrylic resin group
- C. Silane treated fiber reinforced acrylic resin group
- D. Titanate treated fiber reinforced acrylic resin group

ภายหลังการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบส่วนของเรซินเมทริกซ์เคลือบติดบนพื้นผิวเส้นใยแก้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเชื่อมยึดไททานเตสามารถเพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใยและเรซินอะคริลิกได้จริง และส่งผลต่อการถ่ายทอดแรงจากเรซินเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงอยู่ภายในได้เป็นอย่างดี ซึ่งมาจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ หมู่อัลคอกซีในสารเชื่อมยึดไททานเตสามารถเกิดพันธะกับพื้นผิวของเส้นใยแก้วได้<sup>11</sup> โดยจำนวนหมู่อัลคอกซีที่น้อยกว่าในสารเชื่อมยึดไซเลนอาจเป็นเหตุให้เกิดการยึดติดกับเส้นใยแก้วได้ไม่ดีเท่าสารเชื่อมยึดไซเลน และอีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญ คือ การใช้สารเชื่อมยึดไททานเตสามารถเพิ่มสมบัติการเปียก (wettability) ของเส้นใยแก้วได้เป็นเช่นเดียวกับสารเชื่อมยึดไซเลน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Keyf และคณะปี 2003<sup>10</sup> ใช้สารไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (hydroxyethyl-methacrylate: HEMA) ปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยแก้ว เพื่อเพิ่มการยึดติดของเส้นใยในเรซินอะคริลิกพบว่าชั้นทดสอบที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวพบการยึดติดไม่สมบูรณ์ระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ ขณะที่ชั้นทดสอบที่ปรับสภาพพื้นผิวพบว่าเส้นใยถูกเคลือบด้วยเรซินเมทริกซ์ แสดงให้เห็นถึงการยึดติดที่ระหว่างเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวกับเรซินเมทริกซ์

การแตกหักที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเส้นใยแก้วพบการแตกหักออกเป็น 2 ส่วนที่จุดกึ่งกลางความยาวของชั้นทดสอบ ขณะที่ชั้นทดสอบในกลุ่มเสริมเส้นใยแก้วเกิดการแตกหักขึ้นทางด้านที่เกิดแรงดึง และรอยแตกที่เกิดขึ้นมักหยุดอยู่ ณ ตำแหน่งที่แนวเส้นใยทอดตัวขวางอยู่ ดังนั้นเส้นใยจึงทำหน้าที่รับแรงส่วนที่มากเกินกว่าเรซินอะคริลิกสามารถทนแรงได้ และส่งผ่านแรงไปตามแนวของเส้นใยที่เสริมอยู่ จนเมื่อแรงกระทำนั้นมีขนาดมากพอทำให้เรซินอะคริลิกเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยนี้แตกหักหรือโค้งงอได้ แสดงให้เห็นว่าการแตกหักของชั้นทดสอบถูกหยุดยั้งด้วยความแข็งแรงของเส้นใยที่ทอดขวางอยู่ โดยเส้นใยสามารถหยุดยั้งการดำเนินต่อไปของรอยแตกร้าวอย่างต่อเนื่องของเรซินเมทริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vallittu ในปี 1999<sup>5</sup> และ Lassila และคณะ ในปี 2002<sup>17</sup>

จากค่าความแข็งแรงดัดขวางในกลุ่มที่แช่น้ำ 7 วันที่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่แช่น้ำ 30 วันนั้น เนื่องจากเรซินอะคริลิกสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อวัสดุ รวมทั้งขณะสร้างชั้นทดสอบในกลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้ว เมื่อวางส่วนประกอบชั้นที่ 2 ของแบบ

หล่อโลหะอาจทำให้เส้นใยแก้วแตกกระจายออกไปได้ เนื่องจากเส้นใยไม่เกาะกลุ่มกันแน่น และแถบเส้นใยตามน้ำหนักที่ซึ่งมีความกว้างประมาณ 2 มิลลิเมตร ทำให้ขณะสร้างชั้นทดสอบอาจมีเส้นใยแก้วถูกดันออกมาทางด้านข้าง ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมน้ำเข้าไปในชั้นทดสอบและส่งผลต่อความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุ<sup>5,17</sup> ดังนั้นกลุ่มทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำนานขึ้นจึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกลดลงได้

การศึกษานี้มีการควบคุมความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นขณะเตรียมชั้นทดสอบโดยชั่งสารด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล รวมทั้งควบคุมความหนืดของเรซินอะคริลิก โดยกำหนดเวลาดังแต่เริ่มผสมส่วนผงและมอนอเมอร์จนใส่ลงในแบบหล่อเป็นเวลา 5 วินาที จึงเป็นการควบคุมปริมาณมอนอเมอร์ที่เหลือซึ่งมีผลต่อการยึดติดกับเส้นใยแก้วที่เสริมเข้าไป และทำให้มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางตามมา<sup>22</sup> การศึกษานี้ใช้การทดสอบความแข็งแรงดัดขวาง เนื่องจากการทดสอบสมบัติความแข็งแรงของวัสดุด้วยวิธีอื่น ๆ นั้น อาจไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ โดยความแข็งแรงดึง (tensile strength) เป็นการทดสอบซึ่งมีเทคนิคค่อนข้างยุ่งยาก และผลการทดสอบไม่สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแนวขวางขณะมีแรงกดเคี้ยวสำหรับการทดสอบความแข็งแรงกด (compressive strength) เป็นการทดสอบที่รวมรูปแบบของความล้มเหลว (failure mode) ระหว่างแรงดึงและแรงเฉือนโดยทางอ้อม และการวัดความแข็งแรงดึงตามศูนย์กลาง (diametral tensile strength) เหมาะกับวัสดุที่ไม่มีการไหลแผ่แบบพลาสติก (plastic flow) ดังนั้นการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำที่เป็นแรงกด ณ ตำแหน่งที่ให้แรง และเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำที่เป็นแรงดึงและแรงเฉือน ณ ตำแหน่งที่ด้านแรง จึงสามารถอธิบายสมบัติเชิงกลของวัสดุบูรณะในทางทันตกรรมได้อย่างเหมาะสมที่สุด<sup>1,23</sup>

ขอบเขตของการศึกษานี้ชั้นทดสอบถูกสร้างขึ้นโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 4049:2000 ซึ่งมีขนาด 2x2x25 มิลลิเมตร โดยใกล้เคียงกับความหนาของวัสดุทำสะพานฟันชั่วคราวในทางคลินิก ซึ่งมีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปถึงผลความแตกต่างทางคลินิกของสารเชื่อมยึดทั้งสองชนิดนี้ นอกจากนี้ควรมีการทดสอบสมบัติความแข็งแรงของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การทดสอบความล้า (fatigue load) เนื่องจากในช่องปากมีการรับแรงในปริมาณที่ไม่มากและซ้ำ ๆ กัน และการทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ (thermocycling test) เนื่องจาก

อุณหภูมิในช่องปากมีการเปลี่ยนแปลงจากอาหารที่รับประทาน เพื่อเป็นการลอกเลียนสภาวะจริงที่เกิดขึ้นในช่องปากก่อนที่นำมาประยุกต์ใช้ในคลินิกต่อไป

## สรุป

เรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยที่เพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใย แก้วกับเรซินเมทริกซ์ด้วยสารเชื่อมยึดสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางได้ แม้ว่าการใช้สารเชื่อมยึดไซเลนสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดขวางของเรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยได้มากกว่าการใช้สารเชื่อมยึดไททานต แต่เรซินอะคริลิกเสริมเส้นใยและที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึดไททานตสามารถให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางที่มากกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่เสริมเส้นใยและเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวเส้นใยแก้ว นอกจากนี้จากการเก็บชิ้นงานขึ้นทดสอบเป็นเวลาที่แตกต่างกัน คือ 7 วัน และ 30 วัน พบว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำ 7 วัน มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำ 30 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- Osman YI, Owen CP. Flexural strength of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent.* 1993; 70(1):94-6.
- Stafford GD, Handley RW. Transverse bend testing of denture base polymers. *J Dent.* 1975;3(6):251-5.
- Ruyter IE, Svendsen SA. Flexural properties of denture base polymers. *J Prosthet Dent.* 1980;43(1): 95-104.
- Chee WW, Donovan TE, Daftary F, Siu TM. The effect of vacuum-mixed auto polymerizing acrylic resins on porosity and transverse strength. *J Prosthet Dent.* 1988;60(4):517-9.
- Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent.* 1999;81(3):318-26.
- Larson WR, Dixon DL, Aquilino SA, Clancy JM. The effect of carbon graphite fiber reinforcement on the strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent.* 1991;66(6):816-20.
- Vallittu PK. Ultra-high-modulus polyethylene ribbon as reinforcement for denture polymethyl methacrylate: a short communication. *Dent Mater.* 1997;13(6): 381-2.
- Vallittu PK, Lassila VP. Reinforcement of acrylic resin denture base material with metal or fibre strengtheners. *J Oral Rehabil.* 1992;19(3):225-30.
- Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Acrylic resin-fiber composite--Part I: The effect of fiber concentration on fracture resistance. *J Prosthet Dent.* 1994;71(6):607-12.
- Keyf F, Uzun G, Mutlu M. The effects of HEMA-monomer and air atmosphere treatment of glass fibre on the transverse strength of a provisional fixed partial denture resin. *J Oral Rehabil.* 2003; 30(11):1142-8.
- Vallittu PK. Comparison of two different silane compounds used for improving adhesion between fibers and acrylic denture base material. *J Oral Rehabil.* 1993;20(5):533-9.
- Vallittu PK. Acrylic resin-fiber composite--Part II: The effect of polymerization shrinkage of polymethyl methacrylate applied to fiber roving on transverse strength. *J Prosthet Dent.* 1994;71(6):613-7.
- Vallittu PK. Curing of a silane coupling agent and its effect on the transverse strength of auto polymerizing polymethyl methacrylate-glass fibre composite. *J Oral Rehabil.* 1997;24(2):124-30.
- Alander P, Lassila LV, Tezvergil A, Vallittu PK. Acoustic emission analysis of fiber-reinforced composite in flexural testing. *Dent Mater.* 2004;20(4): 305-12.
- Ramos V Jr., Runyan DA, Christensen LC. The effect of plasma-treated polyethylene fiber on the fracture strength of polymethyl methacrylate. *J Prosthet Dent.* 1996;76(1):94-6.
- Solnit GS. The effect of methyl methacrylate reinforcement with silane-treated and untreated glass fibers. *J Prosthet Dent.* 1991;66(3):310-4.
- Lassila LV, Nohrstrom T, Vallittu PK. The influence



- of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. *Biomaterials*. 2002;23(10):2221-9.
18. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Transverse strength and fatigue of denture acrylic-glass fiber composite. *Dent Mater*. 1994;10(2):116-21.
  19. Yazdanie N, Mahood M. Carbon fiber acrylic resin composite: an investigation of transverse strength. *J Prosthet Dent*. 1985;54(4):543-7.
  20. Chajareenont P. The comparative study of flexural strength of resin composite reinforced with two types of fiber [dissertation]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2006.
  21. Chung K, Lin T, Wang F. Flexural strength of a provisional resin material with fibre addition. *J Oral Rehabil*. 1998;25(3):214-7.
  22. Ruyter IE, Ekstrand K, Bjork N. Development of carbon/graphite fiber reinforced poly (methyl methacrylate) suitable for implant-fixed dental bridges. *Dent Mater*. 1986;2(1):6-9.
  23. Xu HH, Schumacher GE, Eichmiller FC, Peterson RC, Antonucci JM, Mueller HJ. Continuous-fiber perform reinforcement of dental resin composite restorations. *Dent Mater*. 2003;19(6):523-30.

# Effects of coupling agents and storage times on transverse strength of acrylic resin with glass fiber reinforcement

Prapaporn Homjunjeerung D.D.S. (Hons)<sup>1</sup>

Issarawan Boonsiri D.D.S., Cert. in Fixed Prosth<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

<sup>2</sup>Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

---

## Abstract

**Objective** To determine the effects of two different coupling agents and storage times on transverse strength of acrylic resin with glass fiber reinforcement.

**Materials and methods** Eighty test specimens (2x2x25 mm) made of chemically activated acrylic resin were divided into four groups: (A) no fibers; (B) non-impregnated glass fibers; (C) silane impregnated glass fibers and (D) titanate impregnated glass fibers. The specimens in group B–D were reinforced with 10% volume of glass fibers which were oriented parallel to the long axis and positioned in the center of the specimen. Each group was subdivided to store in distilled water for 7 and 30 days at 37°C before testing. They were subjected to a three-point loading test set up at a crosshead speed of 1 mm/min. Scanning electron microscopy was used to examine the microstructure of the cracked surface. Transverse strengths were analyzed by means of Two-way ANOVA.

**Results** There were statistically significant differences among the groups ( $p < 0.05$ ). Transverse strength of silane impregnated glass fiber group was higher than those of titanate impregnated glass fiber group, non-impregnated glass fiber and no fiber group, respectively. The transverse strengths of each group were decreased significantly from 7 days to 30 days of water storage ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion** Treating the surface of glass fibers with coupling agents produced significant improvement in the transverse strength. The storage times had a significant effect on the transverse strength of acrylic resin with glass fiber reinforcement.

(CU Dent J. 2008;31:349–58)

**Key words:** glass fiber-reinforced acrylic resin; silane coupling agent; titanate coupling agent; transverse strength

---