

# ผลของสารคู่ควบไซเลนในสารยึดติดยูนิเวอร์แซลต่อความแข็งแรง ยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับลิเทียมไดซิลิเกต

## Effect of Silane Coupling Agent in Universal Adhesive Agent on Shear Bond Strength between Resin Composite and Lithium Disilicate

ชุตินา สุขประภรณ์<sup>1</sup>, ภาวิศุทธิ แก่นจันทร์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลแพร่ จังหวัดแพร่

<sup>2</sup>ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Chutima Sukpraporn<sup>1</sup>, Pavisuth Kanjantra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dental Department, Phrae Hospital, Phrae

<sup>2</sup>Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry,  
Chiang Mai University, Chiang Mai

ชม. ทันตสาร 2560; 38(2) : 111-126

CM Dent J 2017; 38(2) : 111-126

### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต เมื่อใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลทั้งที่ใช้และไม่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนร่วมกับการทำเทอร์โมไซคลิง

**วิธีการวิจัย:** สร้างชิ้นงานเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตรูปร่างทรงกระบอกจำนวน 150 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ทำการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกส์ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 นาน 20 วินาที ล้างน้ำ 20 วินาที เป่าแห้ง แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 5 กลุ่ม (n=30) กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ทาสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกส์ไพร์เมอร์และสารยึดติดสก็อตช์บอนด์ มัลติเพอร์โพส (HF+S+

### Abstract

**Objective:** To investigate the shear bond strength between resin composite and lithium disilicate ceramics using Single Bond Universal adhesive with and without silane coupling agent and to investigate the shear bond strength after thermocycling.

**Methods:** One hundred and fifty lithium disilicate ceramic (IPS e.max Press) specimens (5 mm diameter and 2 mm thickness) were etched with 4.9% hydrofluoric acid for 20 seconds, rinsed and dried, and divided into 5 major groups (n=30). Group 1: RelyX ceramic primer and Scotchbond

Corresponding Author:

ภาวิศุทธิ แก่นจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา  
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

Pavisuth Kanjantra

Assistant Professor, Dr. Department of Restorative Dentistry  
and Periodontology, Faculty of Dentistry,  
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.  
E-mail: pavisuth.k@cmu.ac.th

SBMP) กลุ่มที่ 2 ทาสารยึดติดสก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส (HF+SBMP) กลุ่มที่ 3 ทาสารคู่ควบไฮเลนรีไลย์เอ็กซ์-เซรามิกส์ไพรเมอร์และสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล (HF+S+SBU) กลุ่มที่ 4 ทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นเวลา 20 วินาที (HF+SBU20) และกลุ่มที่ 5 ทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นเวลา 60 วินาที (HF+SBU60) อุดเรซินคอมโพสิตลงบนชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น 1 ตำแหน่ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างทั้ง 5 กลุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีก 2 กลุ่ม (n=15) กลุ่มที่ 1 นำไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 นำไปผ่านเทอร์โมไซคลิกจำนวน 5,000 รอบ จากนั้นนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้เครื่องทดสอบสากลอินสตรอนด้วยความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที จนแท่งเรซินคอมโพสิตหลุด นำค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางและความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) โดยใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกัยและจำแนกพื้นผิวการแตกหักของแต่ละตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ

**ผลการศึกษา:** เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้วิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่ม HF+S+SBU มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่ม HF+S+SBMP ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่ม HF+SBU20, HF+SBU60 และกลุ่ม HF+SBMP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่ม HF+SBU20 และกลุ่ม HF+SBU60 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ากลุ่มการทดลองที่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิกจำนวน 5,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงโดยเฉพาะกลุ่มที่ไม่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไฮเลนแบบแยกขวด ลักษณะพื้นผิวการแตกหักส่วนใหญ่ที่พบเป็นความล้มเหลวของการยึดติด

**สรุปผลการศึกษา:** การใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่มีส่วนประกอบของสารคู่ควบไฮเลน สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้ แต่ค่าความแข็งแรงยึด-

Multipurpose adhesive were applied on the etched surface as a control group (HF+S+SBMP). Group 2: only Scotchbond Multipurpose adhesive was applied (HF+SBMP). Group 3: RelyX ceramic primer and Single Bond Universal adhesive were applied (HF+S+SBU). Groups 4 and 5: only Single Bond Universal adhesive was applied for 20 seconds (HF+SBU20) and 60 seconds (HF+SBU60) respectively. All specimens were bonded with resin composite Filtek Z350 XT (3 mm diameter and 2 mm thickness) and further divided into 2 minor groups: one stored in 37°C distilled water for 24 hours and the second thermocycled for 5,000 cycles to simulate aging effect. All specimens were subjected to the shear bond test at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Means of shear bond strength were analyzed by Two-way ANOVA, One-way ANOVA and Tukey multiple comparison test (p<0.05). Modes of failure after shear bond test were observed microscopically.

**Results:** Regarding ceramic repair techniques, the mean shear bond strength of HF+S+SBU group was the highest (30.58 ± 2.89 MPa), but not significantly different from HF+S+SBMP group (29.02 ± 3.08 MPa). The mean shear bond strength of HF+SBMP group was the lowest (15.07 ± 2.96 MPa). The mean shear bond strength of HF+SBU20 (25.10 ± 2.45MPa) was not significantly different from HF+SBU60 (24.19 ± 2.57 MPa), but lower than those of the HF+S+SBMP group and HF+S+SBU group. The mean shear bond strength of thermocycled groups was lower than that of the water storage groups, especially the group without the use of a separate silane coupling agent. The failure mode mostly demonstrated adhesive failure.

เนียนที่ได้มีค่าน้อยกว่าการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิ-  
เวอร์แซลร่วมกับสารคู่ควบไซเลน และค่าความแข็งแรง  
ยึดเหนี่ยวมีค่าลดลงในทุกกลุ่มการทดลองเมื่อผ่านเทอร์โม-  
ไซคลิง 5,000 รอบ

**คำสำคัญ:** สารคู่ควบไซเลน สารยึดติดยูนิเวอร์แซล ความ  
แข็งแรงยึดเหนี่ยว ลิเทียมไดซิลิเกต

**Conclusions:** Using Single Bond Universal adhesive can improve shear bond strength between resin composite and lithium disilicate ceramics, but the shear bond strength was lower than the group using the silane coupling agent. After thermocycling, the shear bond strength decreased.

**Keywords:** silane coupling agent, universal adhesive bonding, shear bond strength, lithium disilicate

## บทนำ

ปัจจุบันความต้องการของผู้ป่วยในการบูรณะฟันให้ได้ทั้ง  
ความสวยงามและสามารถใช้งานได้ดีมีมากขึ้น ซึ่งการบูรณะ  
โดยการทำครอบฟัน (crowns) และฟันเทียมติดแน่น (fixed  
partial dentures) ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ตอบสนองความ  
ต้องการของผู้ป่วยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีวัสดุที่สามารถ  
ให้ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และเข้ากันได้ดีกับ  
เนื้อเยื่อ (biocompatibility) ได้แก่ เซรามิกส์ (ceramics)  
ซึ่งก็พบว่าเซรามิกส์ที่ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมมีหลาย  
ชนิด และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ทั้งในเรื่องของความ  
แข็งแรง (strength) และความโปร่งแสง (translucency)<sup>(1)</sup>  
มีทั้งชนิดที่ใช้โดยการนำไปพอกบนโครงโลหะ หรือเรียกว่า  
ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (porcelain fused to metal  
crowns: PFM) หรือการนำไปสร้างเป็นชิ้นงานเซรามิกล้วน  
(all-ceramic restorations) อย่างไรก็ตามเซรามิกมีข้อเสีย  
เรื่องความเปราะ ซึ่งปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ  
ให้มีความแข็งแรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น

เซรามิกซ์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate  
ceramics) เป็นระบบชิ้นงานเซรามิกล้วนชนิดหนึ่งที่ยอมรับใช้  
เนื่องจากมีความโปร่งแสงที่ดี ให้ความสวยงามสูงสามารถ  
นำมาใช้ในการบูรณะครอบฟันได้ทั้งฟันหน้าและฟันหลัง<sup>(2,3)</sup>  
ในทางคลินิกพบว่าเซรามิกซ์ระบบดังกล่าวเกิดการบิ่นหรือ  
แตกหักสูง<sup>(4)</sup> ซึ่งการซ่อมเซรามิกซ์ด้วยวัสดุบูรณะเรซิน-  
คอมโพสิต (resin composite) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถ  
ทำได้ง่าย ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย<sup>(5)</sup> โดยวิธีการดังกล่าว  
ต้องคำนึงถึงการเตรียมผิว (surface treatment) เซรามิกซ์

ก่อนทำการยึดติด สำหรับกลไกที่ใช้ในการยึดติดระหว่างเรซิน-  
คอมโพสิตกับเซรามิกซ์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มี 2 กลไกหลัก  
ได้แก่ การทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micro-  
mechanical retention) และการยึดติดทางเคมี (chemi-  
cal bond)<sup>(6,7)</sup> มีการศึกษาพบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก  
(hydrofluoric acid) เพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับ  
จุลภาคร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling  
agent) เพื่อให้เกิดการยึดติดทางเคมีจะให้ความแข็งแรงยึด  
ติด (bond strength) ระหว่างเซรามิกซ์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต  
กับวัสดุที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบ (resin-based materials)  
มีค่าสูงกว่าการเตรียมผิวเซรามิกซ์ชนิดนี้ด้วยวิธีการอื่น ๆ<sup>(8)</sup>  
อย่างไรก็ตามการยึดติดระหว่างวัสดุทั้งสองจำเป็นต้องเลือกใช้  
ระบบสารยึดติด (adhesive system) ให้ถูกต้องและใช้อย่าง  
ถูกขั้นตอน ปัจจุบันระบบสารยึดติดในท้องตลาดพยายาม  
พัฒนาลดขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็ว  
มากขึ้นในลักษณะของสารยึดติดยูนิเวอร์แซล (universal  
adhesive agent)

สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล (Single Bond  
Universal adhesive, 3M ESPE, MN, USA) เป็นสาร  
ยึดติดยูนิเวอร์แซลที่ทางบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในการ  
ยึดติดเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกซ์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต  
เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารคู่ควบไซเลน<sup>(9)</sup> ที่สามารถไป  
ทำปฏิกิริยากับซิลิกา (silica) ที่อยู่ในเซรามิกซ์ชนิดดังกล่าว  
แล้วยึดติดกับเรซินคอมโพสิตได้ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการ  
ศึกษาถึงผลของสารคู่ควบไซเลนที่อยู่ในสารยึดติดดังกล่าว  
ที่มีต่อค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเซรามิกซ์ชนิดลิเทียม

ไดซิติลเกิดกับเรซินคอมโพสิต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการซ่อมแซมเซรามิกส์ที่แตกบิ่นในทางคลินิกได้อย่างเหมาะสม โดยมีสมมติฐานว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับลิเทียมไดซิติลเกิด เมื่อใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลทั้งที่ใช้และไม่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลน เทียบกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดทั่วไปทั้งที่ใช้และไม่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลน และไม่มี ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่มทดสอบระยะสั้นและกลุ่มที่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิง

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ชิ้นงานเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิติลเกิดไอพีเอสอีแมกซ์-เพรส (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent, Schaan, Leichtenstein) จำนวน 150 ชิ้น รูปร่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร ฟิงในกระบอกโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. สูง 10 มม. และยึดติดโดยใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวได้เอง (self-cured acrylic resin) ชัดแต่งให้เรียบโดยใช้เครื่องขัดเรียบและขัดมัน (grinding and polishing machine, MEGA Advance Co., Ltd, China) ร่วมกับกระดาษทรายน้ำที่มีความละเอียด 320, 400 และ 600 กริต (grits) ตามลำดับ ขัดด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีร่วมกับน้ำนาน 1 นาที เพื่อให้ได้พื้นผิวเซรามิกส์อยู่ระนาบเดียวกับผิวอะคริลิกเรซิน (ภาพที่ 1) ติดเทปกาวใสที่เจาะรูตรงกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ให้ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการอุด (ภาพที่ 2)

เตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิติลเกิดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4.9 (4.9% hydrofluoric acid, Ivoclar Vivadent, Schaan, Leichtenstein) เป็นเวลา 20 วินาที ล้างน้ำ 20 วินาที และเป่าให้แห้งจากนั้นสุ่มแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ทาสารคู่ควบไซเลนชนิดรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ (RelyX ceramic primer; 3M ESPE, MN, USA) เป็นเวลา 60 วินาที เป่าแห้ง 10 วินาที จากนั้นทาสารยึดติดสก็อตช์บอนด์มัลติเพอร์โพส (Scotchbond Multi-purpose adhesive, 3M ESPE, MN, USA) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (ตารางที่ 1) ฉายแสง 10 วินาที กลุ่มที่ 2 ทาสารยึดติดสก็อตช์บอนด์มัลติเพอร์โพส แล้วฉายแสง 10 วินาที กลุ่มที่ 3 ทาสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ เป็นเวลา

60 วินาที เป่าแห้ง 10 วินาที จากนั้นทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล เป็นเวลา 20 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสง 10 วินาที กลุ่มที่ 4 ทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นเวลา 20 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสง 10 วินาที และกลุ่มที่ 5 ทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นเวลา 60 วินาที เป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสง 10 วินาที วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด แสดงไว้ตามตารางที่ 1

อุดทับด้วยเรซินคอมโพสิตฟิลเท็กซ์แซดสามห้าศูนย์เอ็กซ์ที (Filtex Z350 XT, 3M ESPE, MN, USA) สีเอหนึ่ง ชั้นละ 1 จุด ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางชั้นทดสอบ โดยใช้แบบหล่อโลหะเหล็กกล้า (stainless steel mould) ที่ถอดแยกส่วนมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. หนา 2 มม. ตรงตำแหน่งเทปกาวใสที่เจาะรูไว้ ฉายแสง 20 วินาทีและฉายแสงซ้ำหลังจากถอดแบบหล่อโลหะอีก 4 ด้านด้านละ 20 วินาที จะได้ลักษณะชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ดังภาพที่ 3

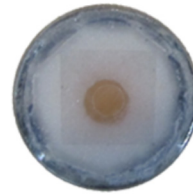
นำชิ้นงานแต่ละกลุ่มแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีก 2 กลุ่ม กลุ่มแรกนำไปแช่น้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่สองนำไปผ่านเทอร์โมไซคลิงที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ สรุปการแบ่งกลุ่มทดสอบทั้งหมดได้ดังภาพที่ 4 จากนั้นทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้เครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน (Universal Testing Machine, Instron® 5566; Instron Limited, Bangkok, Thailand) ด้วยความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตร ต่อนาที จนแท่งเรซินคอมโพสิตหลุด บันทึกค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของแต่ละตัวอย่างเป็นหน่วยเมกะปาสคาล (Megapascal, MPa) ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนื่อนนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ โดยการจำแนกความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) เพื่อดูอิทธิพลของ 2 ปัจจัยหลัก คือผลของวิธีการเตรียมพื้นผิวเซรามิกส์จากการใช้สารยึดติดต่างกัน และผลของความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการยึดติด และเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มการทดลองที่เตรียมพื้นผิวเซรามิกส์จากการใช้สารยึดติดต่างกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey multiple comparison) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาส่องดูลักษณะพื้นผิวของการแตกหักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (inverted phase contrast microscope, model, CK 40 culture microscope, Olympus, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อจำแนกลักษณะความล้มเหลวการยึดติดของชิ้นทดสอบ (failure mode) เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ ความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกส์ (cohesive failure in lithium disilicate ceramics) ความล้มเหลวของการ

ยึดติด (adhesive failure) ความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) และความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเรซินคอมโพสิต (cohesive failure in resin composite)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างชิ้นทดสอบเซรามิกส์  
Figure 1 A sample specimen of ceramics

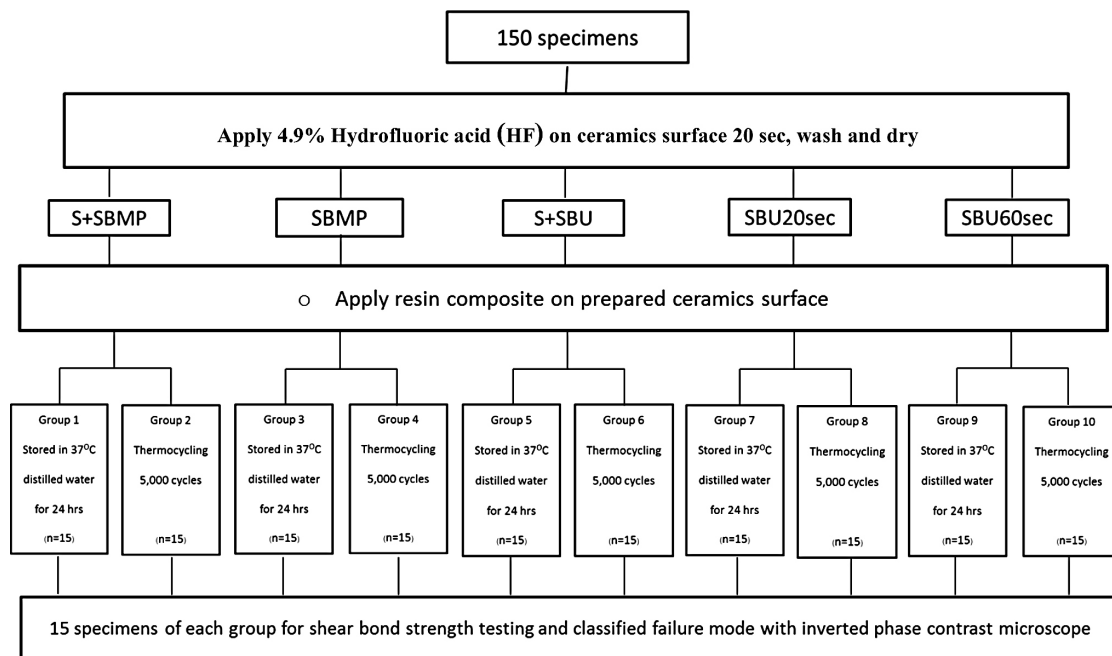


ภาพที่ 2 การติดเทปกาวใสบนชิ้นทดสอบให้ตรงกับตำแหน่ง 3 มม. ที่ต้องการจะอุดด้วยเรซินคอมโพสิต

Figure 2 Masking adhesive area with clear adhesive tape with circular hole size 3 mm in diameter



ภาพที่ 3 ชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเลื่อน  
Figure 3 A bonded sample specimen was completely prepared for shear bond strength test



ภาพที่ 4 แสดงแผนผังวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบแต่ละกลุ่ม (โดยที่ S คือ รีเลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์, SBMP คือ สก็อตช์-บอนด์มัลติเพอร์โพส, SBU คือ ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล, HF คือ กรดไฮโดรฟลูออริก)

Figure 4 A diagram of manipulation methods of each experimental group (S: RelyX ceramic primer, SBMP: Scotchbond Multi-purpose, SBU: Single Bond Universal adhesive, HF: Hydrofluoric acid)



**ตารางที่ 1** ชื่อทางการค้า บริษัทผู้ผลิต ส่วนประกอบ และวิธีการใช้งานของสารยึดติดและเรซินคอมโพสิต

**Table 1** Trade names, manufacturers, compositions and application techniques of adhesive agent and resin composite

Product names and manufacturers	Composition	Application technique*	Batch number
IPS® ceramic etching gel (IvoclarVivadent, Schaan, Leichtenstein)	4.9% hydrofluoric acid	Apply for 20 s. Subsequently, the preparation is rinsed thoroughly with water and dry with oil-free air.	T41827
RelyX ceramic primer (3M ESPE, MN, USA)	Ethanol 70-80%, water 20-30%, silane < 1%	Apply for 60 s and dry with oil-free air.	N699035
Scotchbond Multi-purpose (3M ESPE, MN, USA)	Primer: HEMA, water, polyalkenoic acid polymer Adhesive: bis-GMA, HEMA, tertiary amines, photo-initiator	Apply adhesive for 20 s, gently air dry for 5 s, light cure for 10 s.	N557534
Single Bond Universal adhesive (3M ESPE, MN, USA)	Adhesive: Bis-GMA, MDP phosphate monomer, dimethacrylate resins, HEMA, methacrylate-modified polyalkenoic acid copolymer, filler, ethanol, water, initiators and silane	1. Apply the adhesive to the entire preparation with a microbrush for 20 s. 2. Direct a gentle stream of air over the liquid for about 5 s until it no longer move, and the solvent is evaporated completely. 3. Light curing for 10 s.	587886
Filtek Z350XT (3M ESPE, MN, USA), A1 color	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, bis-EMA, fillers	- Fill in 2 mm thickness - Light curing for 20 s.	N676527
*According to the manufacturer's instructions.			

**ผลการศึกษา**

**ผลทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเฉือน**

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือน (mean shear bond strength) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของทั้ง 10 กลุ่มการทดลองแสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติโดยการจำแนก

ความแปรปรวนแบบสองทาง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) พบว่าวิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมได-ซิลิเกตต่างๆ กัน ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดเฉือนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลอง

Table 2 Means and standard deviations of shear bond strength from each experimental group.

วิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต	ระยะเวลา	
	เก็บในน้ำ 24 ชั่วโมง	ผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิง 5,000 รอบ
HF+S+SBMP (control)	29.02 ± 3.08 <sup>A</sup>	25.41 ± 2.63 <sup>b</sup>
HF+SBMP	15.07 ± 2.96 <sup>C</sup>	12.48 ± 2.06 <sup>c</sup>
HF+S+SBU	30.58 ± 2.89 <sup>A</sup>	24.69 ± 2.05 <sup>b</sup>
HF+SBU20	25.10 ± 2.45 <sup>B</sup>	14.09 ± 2.35 <sup>c</sup>
HF+SBU60	24.19 ± 2.57 <sup>B</sup>	13.80 ± 2.04 <sup>c</sup>

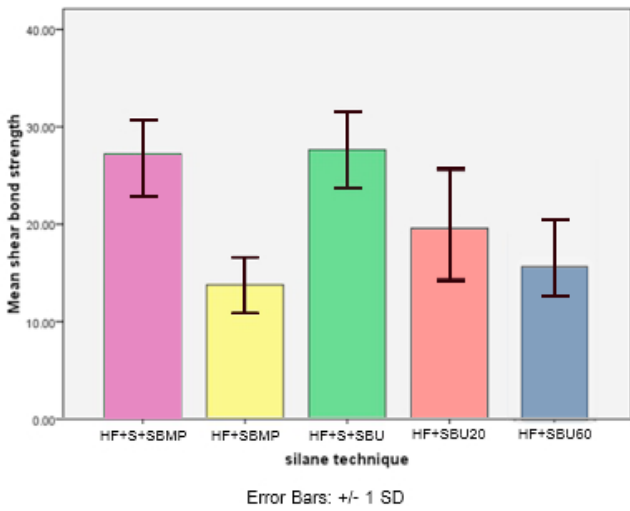
ค่าที่มีตัวอักษรที่ต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05).

จากการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้วิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่มที่เตรียมผิวโดยการใช้อครดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยการใช้สารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกส์ไพโรเมอร์และสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล (HF+S+SBU) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เตรียมผิวโดยการใช้อครดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยการใช้สารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกส์ไพโรเมอร์และสารยึดติดสก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส (HF+S+SBMP) แต่ทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวโดยการใช้อครดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล เป็นเวลา 20 วินาทีตามคำแนะนำบริษัท (HF+SBU20) กลุ่มที่เตรียมผิวโดยการใช้อครดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล เป็นเวลา 60 วินาที (HF+SBU60) และกลุ่มที่เตรียมผิวโดยการใช้อครดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยการใช้สารยึดติดสก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส (HF+SBMP) โดยกลุ่ม HF+SBU20 และกลุ่ม HF+SBU60 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 5

เมื่อเทียบกลุ่มการทดลองที่เตรียมผิวด้วยเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตด้วยวิธีการเดียวกัน ภายใต้สภาวะการเก็บชิ้นงานที่ต่างกัน พบว่ากลุ่มการทดลองที่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิง จำนวน 5,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 6

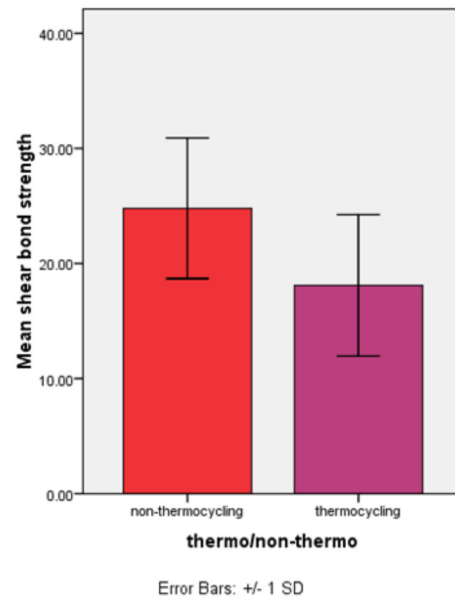
หากเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของแต่ละกลุ่มทดลอง ในกลุ่มที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 7 พบว่ากลุ่ม HF+S+SBU มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุด (30.58 ± 2.89 MPa) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม HF+S+SBMP (29.02 ± 3.08 MPa) ตามด้วยกลุ่ม HF+SBU20 (25.10 ± 2.45 MPa) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม HF+SBU60 (24.69 ± 2.05 MPa) ส่วนกลุ่ม HF+SBMP มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวน้อยที่สุด (15.07 ± 2.96 MPa)

ส่วนกรณีที่ผ่านเทอร์โมไซคลิง 5,000 รอบ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่ม HF+S+SBMP และกลุ่ม HF+S+SBU (25.41 ± 2.63 MPa, 24.69 ± 2.05 MPa) ซึ่งมีค่ามากกว่ากลุ่ม HF+SBU20 กลุ่ม HF+SBU60 และกลุ่ม HF+SBMP ตามลำดับ (14.09 ± 2.35 MPa, 13.80 ± 2.04 MPa และ 12.48 ± 2.06 MPa) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั้งสามกลุ่มนี้มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 8



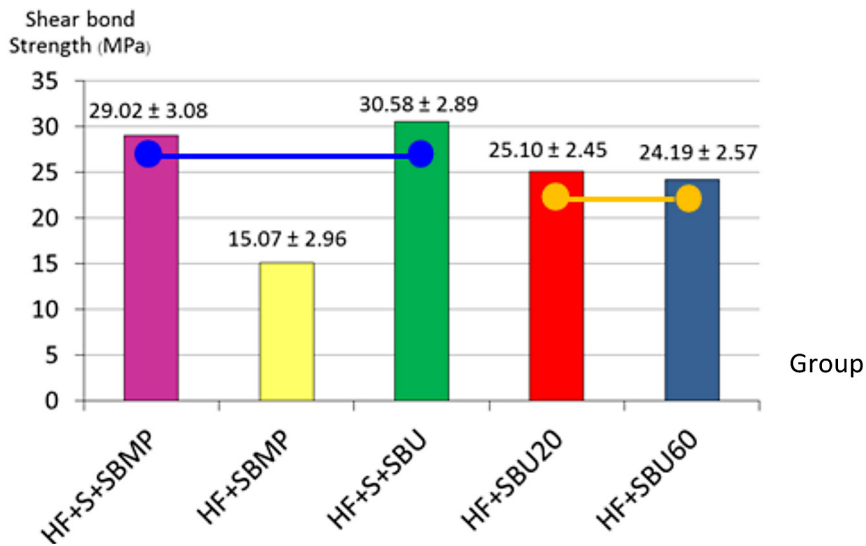
ภาพที่ 5 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์

Figure 5 A diagram shows the mean shear bond strength of each ceramic-surface treatment technique



ภาพที่ 6 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวกลุ่มที่ไม่มีและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

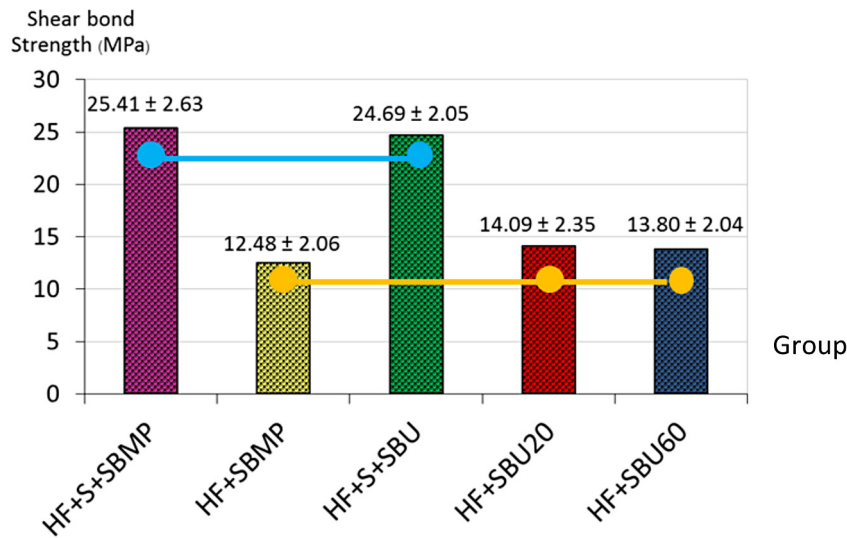
Figure 6 A diagram shows the mean shear bond strength of non-thermocycling and thermocycling groups



ภาพที่ 7 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มทดลองที่เตรียมพื้นผิวเซรามิกส์จากการใช้สารยึดติดต่างกัน ในกลุ่มที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

Figure 7 A diagram shows the mean shear bond strengths of different ceramic-surface treatments in water storage group





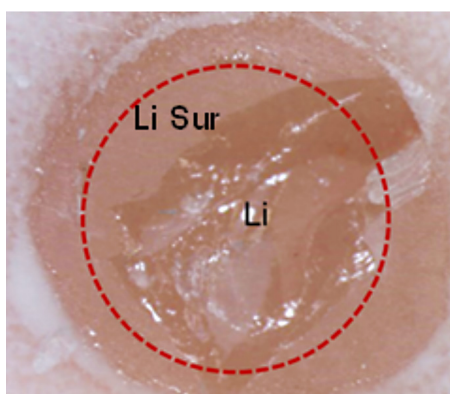
ภาพที่ 8 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มทดลองที่เตรียมพื้นผิวเซรามิกส์จากการใช้สารยึดติดต่างกัน ในกลุ่มที่ผ่านเทอร์โมไซคลิง 5,000 รอบ

Figure 8 A diagram shows the mean shear bond strengths of different ceramic-surface treatments in thermocycled group

**ลักษณะความล้มเหลว**

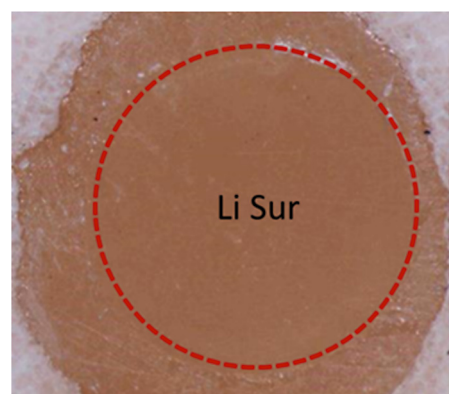
เมื่อนำชิ้นทดสอบมาตรวจดูลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับที่กำลังขยาย 40 เท่า พบลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ 4 รูปแบบ ได้แก่ ความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

ความล้มเหลวของการยึดติด ความล้มเหลวแบบผสม และ ความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเรซินคอมโพสิต (ภาพที่ 9-12) โดยร้อยละของความล้มเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบความล้มเหลวของการยึดติด ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 13



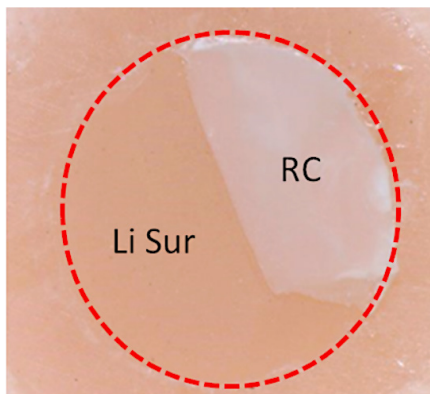
ภาพที่ 9 ความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Li: เซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต Li Sur: ผิวหน้าของเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต)

Figure 9 Cohesive failure in lithium disilicate ceramics (Li: lithium disilicate ceramics, Li Sur: lithium disilicate ceramic front surface)



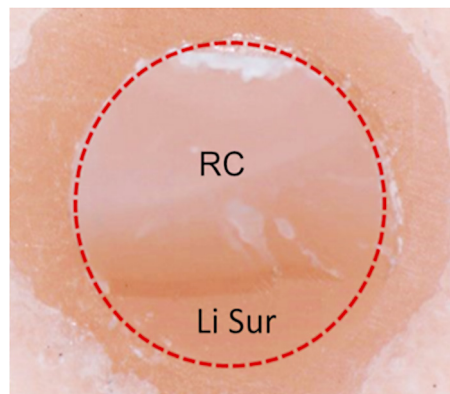
ภาพที่ 10 ความล้มเหลวของการยึดติด (Li Sur: ผิวหน้าของเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต)

Figure 10 Adhesive failure (Li Sur: lithium disilicate ceramic front surface)



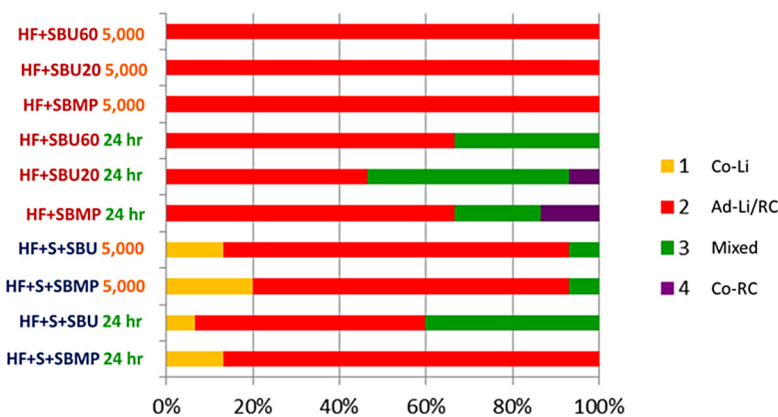
ภาพที่ 11 ความล้มเหลวแบบผสม (Li Sur: ผิวหน้าของเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต, RC: เรซินคอมโพสิต)

Figure 11 Mixed failure (Li Sur: lithium disilicate ceramic front surface, RC: resin composite)



ภาพที่ 12 ความเชื่อมแน่นล้มเหลวในเรซินคอมโพสิต (Li Sur: ผิวหน้าของเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต RC: เรซินคอมโพสิต)

Figure 12 Cohesive failure in resin composite (Li Sur: lithium disilicate ceramic front surface, RC: resin composite)



ภาพที่ 13 แผนภาพแสดงความล้มเหลวการยึดติดที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มการทดลอง

Figure 13 A diagram shows the modes of failure in each experimental group

### บทวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการจำลองการซ่อมแซมเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่แตกหักด้วยเรซินคอมโพสิต ซึ่งมีการแนะนำวิธีการซ่อมแซมโดยวิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกพร้อมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน แล้วตามด้วยสารยึดติดทั่วไป จะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมีค่าสูงขึ้นกว่าการซ่อมแซมโดยไม่ได้ใช้สารคู่ควบไซเลน<sup>(1,8,10)</sup> อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีสารยึดติดยูนิเวอร์แซลที่มีส่วนประกอบ

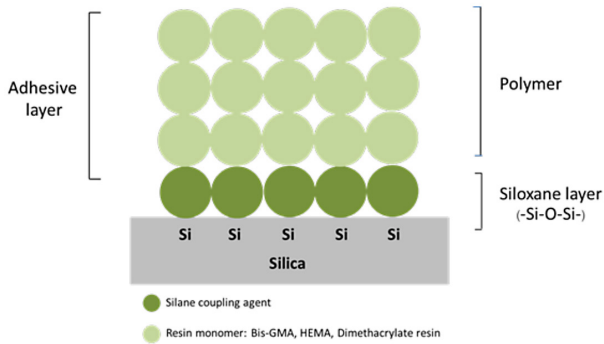
ของสารคู่ควบไซเลนในสารยึดติด ทำให้ทางบริษัทผู้ผลิตแนะนำว่า สามารถใช้สารยึดติดนี้ในการซ่อมแซมเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้โดยไม่ต้องใช้สารคู่ควบไซเลนแบบแยกชั้นตอน ผลการศึกษานี้พบว่ากลุ่มที่ใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมกับสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล และกลุ่มที่ใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมกับสารยึดติดสก็อตช์บอนด์มัลติเพอร์โพสที่เป็นสารยึดติดทั่วไปมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเพียงอย่างเดียว

อย่างมีนัยสำคัญสอดคล้องกับการศึกษาของ Kalavacharla และคณะที่ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตไอพีเอสอีแม็กซ์แคด (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Leichtenstein) กับเรซินคอมโพสิตเมื่อผ่านเทอร์โมไซคลิง 10,000 รอบ พบว่ากลุ่มที่ใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมกับสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ<sup>(11)</sup>

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต จะเห็นว่ากลุ่ม HF+S+SBMP มีการทาสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ก่อนการทาสารยึดติดสก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส ซึ่งเป็นสารยึดติดทั่วไปที่ไม่มีส่วนประกอบของสารคู่ควบไซเลน ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่ม HF+S+SBMP มีค่าสูงกว่ากลุ่ม HF+SBMP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตในกลุ่ม HF+SBMP และกลุ่ม HF+SBU20 พบว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ใช้เฉพาะสารยึดติดสก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีส่วนประกอบของสารคู่ควบไซเลนซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้<sup>(8,10,12)</sup>

แม้ว่าสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลจะมีสารคู่ควบไซเลนเป็นองค์ประกอบ แต่ผลการศึกษาพบว่ามีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด (กลุ่ม HF+S+SBMP และกลุ่ม HF+S+SBU) อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดดังกล่าว ได้แก่ ส่วนประกอบอื่นๆในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล<sup>(13-15)</sup> การยึดติดทางเคมีระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต รวมถึงคุณสมบัติในการไหลแผ่ของสารยึดติด<sup>(16)</sup> เป็นต้น ดังที่จะพิจารณาแต่ละปัจจัยเหล่านี้ต่อไป

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล จะเห็นว่ามีองค์ประกอบอื่นนอกจากสารคู่ควบไซเลน ได้แก่ เอ็มดีพี (MDP: methacryloxydecyldihydrogen phosphate) ไวทริบอนด์โคโพลีเมอร์ (Vitrebond™ copolymer) วัสดุอัดแทรก (fillers) บิสจีเอ็มเอ (bis-GMA: Bisphenol A Glycidyl Methacrylate) ตัวเริ่มปฏิกิริยา (initiators) ฮีมา (HEMA: Hydroxyethyl methacrylate) และตัวทำละลาย (solvents) เป็นต้น ผสมอยู่ภายในขวดเดียวกัน<sup>(9)</sup> เมื่อเปรียบเทียบกับสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ ซึ่งเป็นสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด ที่ประกอบด้วยสารคู่ควบไซเลนและตัวทำละลายคือ แอลกอฮอล์ (alcohol) และน้ำ<sup>(17)</sup> โดยปกติแล้วบริเวณที่เกิดการยึดติดทางเคมีระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบที่เรียกว่าชั้นซิลอกเซน (siloxane layer) นั้นควรมีลักษณะเป็นชั้นเดียว (monolayer) ดังภาพที่ 14 ที่เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกลุ่มไฮลันอล (silanol group) ของสารคู่ควบไซเลนกับกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) บนพื้นผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ<sup>(18,19)</sup> จากองค์ประกอบหลายส่วนในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลนี้ ทำให้สารคู่ควบไซเลนที่มีอยู่ในสารยึดติดมีโอกาสสัมผัสและทำปฏิกิริยากับผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบได้น้อยกว่าสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด ดังภาพที่ 15 สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่พบว่าองค์ประกอบอื่นๆ ในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลดังกล่าว ส่งผลเสียต่อกระบวนการยึดติดระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจากองค์ประกอบหลายส่วนนี้ทำให้ชั้นของสารยึดติดที่มีไซเลนเป็นองค์ประกอบมีความหนาเกินไป และอาจมีสารคู่ควบไซเลนที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำแล้วแต่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับพื้นผิวเซรามิกส์หลงเหลืออยู่ ซึ่งความหนาที่มากเกินไปจะเป็นชั้นที่ถูกทำให้แยกออกจากกันได้ง่าย ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดต่ำลง<sup>(20-23)</sup>

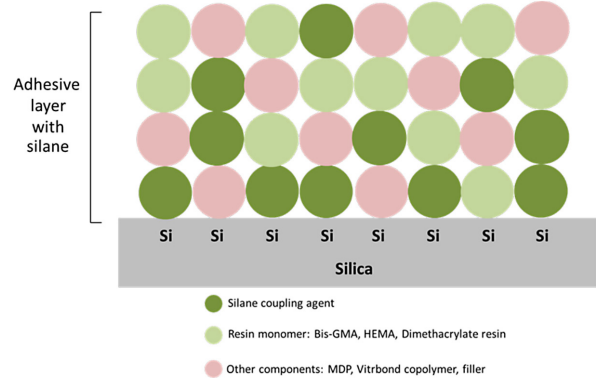


**ภาพที่ 14** รูปแบบชั้นสารยึดติดบนพื้นผิวเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบและมีลักษณะชั้นซิลอกเซนเป็นชั้นเดียว<sup>(18,19)</sup>

**Figure 14** Monolayer of siloxane layer on silicate-ceramic surface<sup>(18,19)</sup>

นอกจากนี้ Chen และคณะได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลาสเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินคอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีองค์ประกอบของบิสจีเอ็มเอและไม่มีบิสจีเอ็มเอ พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมีค่าลดลงในกลุ่มที่ใช้สารคู่ควบไซเลนที่ผสมบิสจีเอ็มเอ อาจเนื่องมาจากบิสจีเอ็มเอรบกวนการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างกลุ่มซิลานอลของสารคู่ควบไซเลนกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิวของเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเนื่องมาจากปฏิกิริยาดังกล่าวมีการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา บิสจีเอ็มเอที่อยู่ภายนอกจะยับยั้งปฏิกิริยาโดยทำให้มีการระเหยของน้ำข้างลง ทำให้ไม่สามารถเกิดชั้นซิลอกเซนบนผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบได้<sup>(15)</sup> สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่า เมื่อเตรียมผิวโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล ที่มีส่วนประกอบของบิสจีเอ็มเอ (กลุ่ม HF+SBU20 และกลุ่ม HF+SBU60) ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 แล้วตามด้วยสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ที่ไม่มีส่วนประกอบของบิสจีเอ็มเอก่อนการทาสารยึดติด (กลุ่ม HF+S+SBMP และกลุ่ม HF+S+SBU)

นอกจากปัจจัยเรื่องส่วนประกอบในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลแล้ว การยึดติดทางเคมีระหว่างสารคู่ควบ



**ภาพที่ 15** รูปแบบชั้นสารยึดติดบนพื้นผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเมื่อใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล<sup>(20-23)</sup>

**Figure 15** Adhesive layer of Single Bond Universal adhesive on silicate-ceramic surface<sup>(20-23)</sup>

ไซเลนกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต พบว่าชั้นตอนที่มีความสำคัญคือชั้นตอนที่ไซเลนถูกแยกสลายด้วยน้ำจนเกิดการยึดติดทางเคมีกับพื้นผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต เนื่องจากเป็นชั้นตอนที่หลายปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาในชั้นตอนนี้ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ความร้อน (heat) ตัวทำละลาย ปริมาณสารคู่ควบไซเลน และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น<sup>(18)</sup> Matinlinna และคณะ ในปี 2004 กล่าวว่าค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาการถูกแยกสลายด้วยน้ำของไซเลนคือ 4 (pH=4)<sup>(18)</sup> ซึ่งสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีค่าความเป็นกรดต่างที่ค่อนข้างต่ำ (pH=2.6) เนื่องจากมีส่วนประกอบของโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่มที่ใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเพียงอย่างเดียว มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้สารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวดที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 4.6 (pH=4.6) รวมด้วย<sup>(17)</sup> ส่วนปัจจัยเรื่องความร้อน มีการศึกษาที่พบว่าความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดตัวทำละลายที่อยู่ในสารคู่ควบไซเลน และผลจากการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ น้ำ และแอลกอฮอล์ เป็นต้น<sup>(24)</sup>

ตัวทำละลายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดทางเคมีระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งปริมาณตัวทำละลายของสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล และสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์มีความ

แตกต่างกัน โดยในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลจะมี ปริมาณตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำร้อยละ 10-15 และแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10-15 ส่วนสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิก ไพรเมอร์นั้น จะมีปริมาณตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำร้อยละ 20-30 และแอลกอฮอล์ร้อยละ 70-80 จะเห็นว่ามีปริมาณน้ำ แตกต่างกันอย่างเล็กน้อย ซึ่งน้ำเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ไซเลนถูก แยกสลายด้วยน้ำเกิดเป็นไซลันอล และจะไปทำปฏิกิริยา จนเกิดเป็นพันธะไซลันอลต่อไป แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณ ของแอลกอฮอล์ พบว่ามีปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก การที่สารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์มีปริมาณ แอลกอฮอล์ที่มากกว่า จะช่วยให้เกิดการระเหยในส่วนของ น้ำที่เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยา และน้ำที่หลงเหลือจากการ เกิดปฏิกิริยาออกไปได้ดีกว่า ทำให้ลดการเกิดช่องว่างบริเวณ รอยต่อ<sup>(25)</sup> โดยค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่มที่ใช้สารคู่ควบ ไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ก่อนการทาสารยึดติด (HF+S+SBMP และ HF+S+SBU) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ (HF+SBU20 และ HF+SBU60) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง Baratto และคณะ ในปี 2015 กล่าวว่า การกำจัดตัวทำละลายเหล่านี้จะ ช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างกลุ่มไซลันอล และ การเกิดพันธะไซลันอลกับพื้นผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็น องค์ประกอบได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น<sup>(26)</sup>

สัดส่วนของปริมาณสารคู่ควบไซเลนกับกลุ่มไฮดรอกซิล บนพื้นผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบก็มีความสำคัญ ถ้าสัดส่วนที่ไม่พอดีกัน มีปริมาณสารคู่ควบไซเลนในสาร ยึดติดน้อย จะทำให้การยึดติดทางเคมีเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจาก กลุ่มไฮดรอกซิลที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 16<sup>(27)</sup> และจากองค์ประกอบหลายส่วนในสาร ยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล ทำให้สารคู่ควบไซเลนในสาร ยึดติดดังกล่าวมีโอกาสสัมผัสและเกิดการยึดติดทางเคมีกับ กลุ่มไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเซรามิกส์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ได้น้อยลง ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดได้เช่นกัน<sup>(27)</sup> ในทางกลับกันการศึกษาของ Debnath และคณะ ในปี 2003 พบว่าความเข้มข้นของสารคู่ควบไซเลนในสารละลายไซเลน (silane solution) ที่มากกว่าร้อยละ 5 จะส่งผลเสียต่อค่า ความแข็งแรงยึดติดได้ เนื่องจากชั้นของไซเลนที่ได้จะมีความ หนาเกินไป ทำให้สารคู่ควบไซเลนส่วนเกินไม่สามารถ สัมผัสกับพื้นผิวซิลิกาได้ และกระจายตัวอยู่ในส่วนของ

เรซินเมทริกซ์<sup>(28)</sup>

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารคู่ควบไซเลนในสารยึดติด ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลกับสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ ยูนิเวอร์แซลจะมีปริมาณสารคู่ควบไซเลนอยู่ประมาณร้อยละ 1<sup>(9)</sup> ส่วนสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวดที่ใช้ในการศึกษา นี้ คือ รีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์มีน้อยกว่าร้อยละ 2<sup>(17)</sup> แต่พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการรอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ของสารคู่ควบไซเลนนั้นแตกต่างกัน โดยรีไลย์เอ็กซ์เซรามิก- ไพรเมอร์ จะต้องทาแล้วรอเป็นเวลา 60 วินาที แล้วจึงทำการ เป่าแห้ง เพื่อให้ น้ำและแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลาย และ น้ำที่เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาระเหยออกไป ส่วนสาร ยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลนั้น ตามคำแนะนำของบริษัท ผู้ผลิตจะใช้เวลาทาแล้วรอเพียง 20 วินาที การศึกษานี้จึงได้ ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่ม ที่เตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก แล้วตามด้วยการทาสาร ยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซล แล้วรอเป็นระยะเวลา 20 วินาที เปรียบเทียบกับกลุ่มที่รอเป็นระยะเวลา 60 วินาที ให้เท่ากับ ระยะเวลาที่ใช้รีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ ก่อนการเป่าแห้ง พบว่ามีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารคู่ควบไซเลน ในสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีปริมาณไม่มาก นัก ทำให้ระยะเวลาเพียง 20 วินาทีก็เพียงพอต่อการเกิด ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำของสารคู่ควบไซเลนในสารยึดติด ดังกล่าว โดย Matinlinna และคณะ ในปี 2004 กล่าวว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis time) จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารคู่ควบไซเลน สารละลาย และอุณหภูมิ<sup>(18)</sup>

เมื่อพิจารณาเทอร์โมไซคลิง พบว่ากลุ่มที่ผ่านเทอร์โม- ไซคลิงจะมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวลดลงในทุกกลุ่ม โดยจะ พบว่ากลุ่มที่ทาสารคู่ควบไซเลนรีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ ก่อนการทาสารยึดติดในชั้นถัดไป จะมีค่าความแข็งแรง ยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทา โดยปกติแล้วการเกิดพันธะ ไซลันระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับพื้นผิวเซรามิกส์ชนิดที่มี ซิลิกาเป็นองค์ประกอบนั้น มีการศึกษาที่พบว่าสัดส่วนของ ซิลิกาบนพื้นผิวเซรามิกส์กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลนควรมี ความพอดีกัน<sup>(29)</sup> จึงจะทำให้ชั้นไซลันมีความแข็งแรง และมีความต้านทานต่อน้ำ (water resistance) ที่ดีทำให้เป็น



ชั้นที่ไม่ถูกแยกสลายด้วยน้ำได้ง่าย เนื่องจากกรณีที่สารคู่ควบไฮเลนมีกลุ่มไฮลานอลที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ในชั้นสารยึดติด ดังภาพที่ 16 เมื่อมีน้ำเข้าไปในกระบวนการเทอร์โมไฮคลิง จะทำให้กลุ่มไฮลานอลในสารคู่ควบไฮเลนแตกตัว และไปทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิวเซรามิกส์ที่หลงเหลือจากการเกิดปฏิกิริยาเช่นกัน ทำให้ได้น้ำเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาในชั้นนี้ เกิดเป็นช่องว่างในชั้นสารยึดติด และเป็นชั้นที่อ่อนแอ ถูกทำให้แตกหรือแยกออกจากกันได้ง่าย<sup>(21,22)</sup>

จากผลการศึกษาลักษณะความล้มเหลวพบว่าความล้มเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบความล้มเหลวของการยึดติด โดยจะประกอบไปด้วยส่วนของพื้นผิวเซรามิกส์ที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4.9 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นสารยึดติดกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ทั้งนี้พบความเชื่อมโยงล้มเหลวในเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกส์ในกลุ่มที่มีการใช้สารคู่ควบไฮเลนแบบแยกขจัดร่วมด้วย ทั้งในกลุ่มระยะสั้นและกลุ่มที่ผ่านเทอร์โมไฮคลิง ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจเป็นผลจากการที่สารคู่ควบไฮเลนสามารถเกิดพันธะไฮลอกเซนกับพื้นผิวเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้มาก ซึ่งเป็นชั้นที่มีความแข็งแรง และมีความทนต่อการถูกแยกสลายด้วยน้ำ และค่าความแข็งแรงยึดติดของพันธะไฮลอกเซนที่มากขึ้นทำให้เกิดการแตกหักในเนื้อเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้



ภาพที่ 16 การเกิดพันธะไฮลอกเซนระหว่างสารคู่ควบไฮเลนกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนพื้นผิวซิลิกา<sup>(27)</sup>

Figure 16 Siloxane bond between silane coupling agent and hydroxyl group on silica surface<sup>(27)</sup>

## การนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก

จากผลของการศึกษานี้ เทคนิคการซ่อมแซมเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่แตกหักนั้น จะเริ่มจากการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก แล้วตามด้วยการใช้สารคู่ควบไฮเลนแบบแยกขจัด และสารยึดติดทั่วไปตามลำดับ ส่วนการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลนั้น สามารถใช้ภายหลังจากการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกได้เช่นกัน โดยไม่ต้องมีการใช้สารคู่ควบไฮเลนแบบแยกขจัด เป็นการช่วยลดขั้นตอนการทำงาน เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงกว่าการใช้สารยึดติดทั่วไปเพียงอย่างเดียว แต่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรใช้ร่วมกับสารคู่ควบไฮเลนแบบแยกขจัด อย่างไรก็ตามการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลเพียงอย่างเดียวอาจให้ผลการยึดติดที่ไม่ค่อยดีในระยะยาว นอกจากนี้ยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติด เช่น ความร้อน หรือ ปริมาณสารคู่ควบไฮเลน เป็นต้น ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคต เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

## บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาสรุปได้ว่าการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่มีส่วนประกอบสารคู่ควบไฮเลนสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิกส์ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้ แต่ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ได้มีค่าน้อยกว่าการใช้สารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่มีการใช้ร่วมกับสารคู่ควบไฮเลน นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงยึดติดมีค่าลดลงในทุกกลุ่มการทดลองเมื่อผ่านเทอร์โมไฮคลิง 5,000 รอบ

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด (แผนก 3M ESPE) และบริษัท ยูนิดีเต็นทัล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุเพื่อทำการศึกษาศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์และขอขอบพระคุณ ผศ.ทพญ.ดร.ปิยะนารถ จาติเกิด และดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระวี ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการวิจัยครั้งนี้



## เอกสารอ้างอิง

1. Giordano RA. Dental ceramic restorative systems. *Compend Contin Educ Dent* 1996; 17(8): 779-782, 784-786 passim; quiz 94.
2. Christensen GJ. The all-ceramic restoration dilemma: where are we? *J Am Dent Assoc* 2011; 142(6): 668-671.
3. Chu SJ. Current clinical strategies with lithium-disilicate restorations. *Compend Contin Educ Dent* 2012; 33(1): 64, 66-67.
4. Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2014; 112(1): 22-30.
5. Bello JA, Myers ML, Graser GN, Jarvis RH. Bond strength and microleakage of porcelain repair materials. *J Prosthet Dent* 1985; 54(6): 788-791.
6. Kimmich M, Stappert CF. Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations: a review and clinical application. *J Am Dent Assoc* 2013; 144(1): 31-44.
7. Suliman AH, Swift EJ, Jr., Perdigao J. Effects of surface treatment and bonding agents on bond strength of composite resin to porcelain. *J Prosthet Dent* 1993; 70(2): 118-120.
8. Nagai T, Kawamoto Y. Effect of hydrofluoric acid etching on bond strength of composite luting agent to lithium disilicate ceramic material. *Int Chin J Dent* 2004; 4: 100-106.
9. 3M ESPE. Technical product profile Scotchbond Universal Adhesive. Available from: HYPERLINK "<http://multimedia.3m.com/mws/media/7547510/scotchbond-universal-adhesive-technical-product-profile.pdf> (2013)." [cited 2014 November 26]. <http://multimedia.3m.com/mws/media/7547510/scotchbond-universal-adhesive-technical-product-profile.pdf> (2013).
10. Fabianelli A, Pollington S, Papacchini F, et al. The effect of different surface treatments on bond strength between leucite reinforced feldspathic ceramic and composite resin. *J Dent* 2010; 38(1): 39-43.
11. Kalavacharla V, Lawson N, Ramp L, Burgess J. Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength. *Oper Dent* 2015; 40(4): 372-378.
12. Lundvall PK, Ruyter E, Rønold HJ, Ekstrand K. Comparison of different etching agents and repair materials used on feldspathic porcelain. *J Adhes Sci Technol* 2009; 23(7-8): 1177-1186.
13. Kim RJ, Woo JS, Lee IB, Yi YA, Hwang JY, Seo DG. Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic. *Biomater Res* 2015; 19: 11. Available from: HYPERLINK "<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4552369/>." [cited 2015 November 16]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4552369/>.
14. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater* 2012; 28(5): 467-477.
15. Chen L, Shen H, Suh BI. Effect of incorporating BisGMA resin on the bonding properties of silane and zirconia primers. *J Prosthet Dent* 2013; 110(5): 402-407.
16. Meng X, Yoshida K, Taira Y, Kamada K, Luo X. Effect of siloxane quantity and ph of silane coupling agents and contact angle of resin bonding agent on bond durability of resin cements to machinable ceramic. *J Adhes Dent* 2011; 13(1): 71-78.

17. 3M ESPE. Technical product profile RelyX Ceramic Primer. Available from: HYPERLINK “[www.dentalcompare.com/ExternalLink.aspx?uid=70399](http://www.dentalcompare.com/ExternalLink.aspx?uid=70399) (2008).” [2016 April 10]. [www.dentalcompare.com/ExternalLink.aspx?uid=70399](http://www.dentalcompare.com/ExternalLink.aspx?uid=70399) (2008).
18. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17(2): 155-164.
19. Ishida H. Structural gradient in the silane coupling agent layers and its influence on the mechanical and physical properties of composites. In: Ishida H, Kumar G, editors. *Molecular characterization of composite interfaces*. New York: Plenum Press; 1985. 25-50.
20. Olmos D, González-Benito J, Aznar AJ, Baselga J. Hydrolytic damage study of the silane coupling region in coated silica microfibres: pH and coating type effects. *J Mater Process Technol* 2003; 143-144: 82-86.
21. Tian T, Tsoi JK, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater* 2014; 30(7): e147-162.
22. Roulet JF, Soderholm KJ, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *J Dent Res* 1995; 74(1): 381-387.
23. Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Ferrati M. Effect of temperature on the silane coupling agents when bonding core resin to quartz fiber posts. *Dent Mater* 2006; 22(11): 1024-1028.
24. de Carvalho RF, Cotes C, Kimpara ET, Leite FP, Ozcan M. Heat treatment of pre-hydrolyzed silane increases adhesion of phosphate monomer-based resin cement to glass ceramic. *Braz Dent J* 2015; 26(1): 44-49.
25. Shen C, Oh WS, Williams JR. Effect of post-silanization drying on the bond strength of composite to ceramic. *J Prosthet Dent* 2004; 91(5): 453-458.
26. Baratto SSP, Spina DRF, Gonzaga CC, et al. Silanated surface treatment: effects on the bond strength to lithium disilicate glass-ceramic. *Braz Dent J* 2015; 26(5): 474-477.
27. Zhou Y, Chiu CW, Liang H. Interfacial structures and properties of organic materials for biosensors: an overview. *Sensors (Basel)* 2012; 12(11): 15036-15062.
28. Debnath S, Wunder SL, McCool JI, Baran GR. Silane treatment effects on glass/resin interfacial shear strengths. *Dent Mater* 2003; 19(5): 441-448.
29. Ikemura K, Tanaka H, Fujii T, et al. Design of a new, multi-purpose, light-curing adhesive comprising a silane coupling agent, acidic adhesive monomers and dithiooctanoate monomers for bonding to varied metal and dental ceramic materials. *Dent Mater J* 2011; 30(4): 493-500.