

นิพนธ์ฉบับ

ผลของระยะเวลาหลังทาสารคู่ควบไซเลนต่อกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต

สุภารัตน์ นันดี, นิยม อารงค์อนันต์สกุล, กมลพร วัฒนเสริมกิจ, ตระกล เมฆญารัชชานนท์

บทคัดย่อ

- บทนำ:** การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตเมื่อทาสารคู่ควบไซเลนแล้วทิ้งไว้ในเวลาที่แตกต่างกันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์
- วิธีการศึกษา:** นำแผ่นเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๖ มิลลิเมตร หนา ๓ มิลลิเมตร จำนวน ๔๐ ชิ้น ผังลงในท่อพีวีซีด้วยยิปซัมทางทันตกรรม ขัดผิวหน้าขึ้นทดสอบให้เรียบด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีความหยาบ ๔๐๐ และ ๖๐๐ กริท ตามลำดับ ทากรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ ๓๕ บนผิวหน้าของขึ้นทดสอบล้างด้วยน้ำกลั่น และเป่าให้แห้ง แบ่งขึ้นทดสอบแบบสุ่มเป็น ๔ กลุ่ม กลุ่มละ ๑๐ ชิ้น ตามระยะเวลาหลังทาสารคู่ควบไซเลนบนขึ้นทดสอบก่อนยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ดังนี้ กลุ่มที่ ๑ ไม่ทาสารคู่ควบไซเลนเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ ๒, ๓ และ ๔ ทาสารคู่ควบไซเลนและทิ้งไว้ในภาชนะแห้งที่มีฝาปิดเป็นเวลา ๑๐ นาที ๗ วัน และ ๑๔ วัน ตามลำดับ ยึดแท่งเรซินคอมโพสิตบนผิวหน้าขึ้นทดสอบในแต่ละกลุ่มด้วยเรซินซีเมนต์ ฉายแสงทั้งสี่ด้านของขึ้นทดสอบด้านละ ๒๐ วินาที วางขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา ๑๐ นาที แช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นและเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ ๓๗ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมงก่อนการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบแรงสากด้วยความเร็วหัวกด ๐.๕ มิลลิเมตรต่อนาที นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทุกคู่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕ ศึกษารูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย ๔๐ เท่า
- ผลการศึกษา:** ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตของกลุ่มที่ ๑ ถึงกลุ่มที่ ๔ คือ 1.79 ± 1.20 , 1.51 ± 1.03 , 1.64 ± 1.57 , 1.61 ± 1.40 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวกลุ่มที่ ๑ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ ๒, กลุ่มที่ ๓ และกลุ่มที่ ๔ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่กลุ่มที่ทาสารคู่ควบไซเลนบนขึ้นทดสอบก่อนยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ (กลุ่มที่ ๒, ๓ และกลุ่มที่ ๔) มีค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ความล้มเหลวส่วนใหญ่เป็นแบบผสม โดยพบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์มากกว่าความล้มเหลวแบบการไม่ยึดอยู่ในแต่ละชั้นทดสอบ
- วิจารณ์ และสรุปผลการศึกษา:** การทาสารคู่ควบไซเลนทำให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์สูงขึ้น โดยการทาสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้ตั้งแต่ ๑๐ นาทีถึง ๑๔ วันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์ไม่แตกต่างกัน
- คำสำคัญ:** เซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต, เรซินซีเมนต์, กำลังยึดเหนี่ยว, สารคู่ควบไซเลน

วันที่รับบทความ: ๒๑ กรกฎาคม ๒๕๖๐

วันที่อนุญาตให้ตีพิมพ์: ๗ กันยายน ๒๕๖๐

บทนำ

การบูรณะฟันด้วยเซรามิกล้วน (all ceramic restorations) ได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากวัสดุมีความสวยงาม และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อในช่องปาก เซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate-reinforced glass ceramic) มีกลาสมเมตริกซ์ (glass matrix) เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ ๗๐ จึงให้การสะท้อนแสงที่ดี มีกำลังดัดขวางสูง (flexural strength) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกเป็นชิ้นเดียวได้ (monolithic ceramic) และมีความทนต่อการสึกกร่อนและสารเคมี (abrasive resistance and chemical durability) มากกว่าเซรามิกชนิดเฟลด์สปาทิก (feldspathic ceramic) และเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิวไซต์ (leucite-reinforced ceramic)^{๑, ๒} คุณสมบัติของเซรามิกและชนิดซีเมนต์ยึดติด (luting cement) มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะฟันด้วยเซรามิกล้วน การยึดชิ้นงานเซรามิกล้วนด้วยเรซินซีเมนต์ (resin-based luting cement) ทำให้อัตราการคงอยู่ (survival rate) ของชิ้นงานเซรามิกล้วนในช่องปากสูงขึ้นเพราะเรซินซีเมนต์มีกำลังยึดติดสูง (bond strength) มีการละลายตัวในช่องปากต่ำ และมีความแข็งแรงเชิงกลต่อแรงดึงและแรงกด (tensile and compressive strength) มากกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิม (conventional cement)^{๓-๕} การรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage) ที่รอยต่อ (interface) ระหว่างชิ้นงานเซรามิกกับฟันจึงลดลง^๖ การปรับสภาพผิวด้านใน (surface treatment) ของชิ้นงานเซรามิกล้วน ทำให้กำลังยึดติดระหว่างผิวของชิ้นงานเซรามิกกับเรซินซีเมนต์สูงขึ้น^{๗-๑๐} จึงเสริมความแข็งแรงเชิงกลและลดการแตกหักของชิ้นงานเซรามิกล้วน^{๑๑, ๑๒}

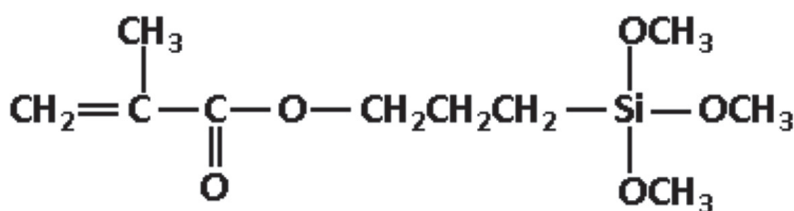
ชนิดของเซรามิกและชนิดของเรซินซีเมนต์มีผลต่อวิธีปรับสภาพผิวเซรามิกก่อนยึดชิ้นงานเซรามิกล้วนด้วยเรซินซีเมนต์^{๗, ๙, ๑๓ - ๑๕} การปรับสภาพผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตประกอบด้วย การสร้างให้เกิดการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical retention) ได้แก่ การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (air-particle abrasion with Al₂O₃) การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) และการยึดทางเคมี ได้แก่ การใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) กรดไฮโดรฟลูออริก ละลายองค์ประกอบที่เป็นแก้วของเซรามิกออกบางส่วน (partial dissolution) สารประกอบเฮกซะฟลูออโรซิลิกา (hexafluorosilica) ที่เกิดบนโครงสร้างระดับจุลภาคของเซรามิก ถูกล้างออกได้ง่ายด้วยน้ำทำให้ผิวเซรามิกขรุขระและเกิดรูพรุนระดับจุลภาค (microscopically porous) พื้นที่การ

ยึดติดจึงเพิ่มขึ้น การกัดด้วยกรดยังทำให้กลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ปรากฏที่ผิวเซรามิกมากขึ้นการยึดทางเคมีกับสารคู่ควบไซเลนจึงมากขึ้น^{๑๓, ๑๖ - ๑๘} ผิวเซรามิกที่ถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจะมีมุมสัมผัสที่ลดลง (contact angle) มีพลังงานพื้นผิวอิสระเพิ่มขึ้น (surface energy) ความสามารถในการเปียก (wettability) ของผิวเซรามิกจึงเพิ่มขึ้น^{๑๙ - ๒๑} เซรามิกที่กัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจึงมีกำลังยึดติดกับเรซินซีเมนต์สูงขึ้นโดยไม่ต้องทาสารคู่ควบไซเลน^{๑๖ - ๑๘, ๒๐, ๒๒ - ๒๔} การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ได้รับความนิยมน้อยกว่าเนื่องจากทำให้กำลังดัดขวางของเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตลดลง^{๒๕} ความเข้มข้นและระยะเวลาการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกไม่มีผลต่อกำลังยึดติดทั้งกรณีไม่ทาสารคู่ควบไซเลน^{๒๕} และทาสารคู่ควบไซเลนร่วมด้วย^{๒๔} ความเข้มข้นและระยะเวลาการกัดผิวเซรามิกด้วยกรดจึงถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต โดยทั่วไปนิยมกัดผิวเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ ๕ เป็นเวลา ๒๐ วินาที เพื่อลดเวลาการทำงานในคลินิกและลดความเสี่ยงที่จะทำให้ความแข็งแรงของเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตลดลง^{๒๔, ๒๕}

สารคู่ควบไซเลนส่งเสริมการยึดติด (adhesive promoters) โดยปลายข้างหนึ่งให้การยึดทางเคมีด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กับสารอินทรีย์กลุ่มเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (silica-based ceramic) เช่น เซรามิกชนิดเฟลด์สปาทิก เซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิวไซต์และเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต และปลายอีกข้างหนึ่งให้การยึดกับสารอินทรีย์ เช่น เรซินซีเมนต์ เรซินคอมโพสิตด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond)^{๑๓, ๑๔, ๒๖} การทาสารคู่ควบไซเลนบนผิวเซรามิก (silanization) ยังช่วยให้เซรามิกมีพลังงานพื้นผิวมากขึ้นจึงเพิ่มความสามารถในการเปียกของผิวเซรามิก เรซินซีเมนต์จึงแทรกซึมเข้าไปฝัง (impregnation) ในรูพรุนระดับจุลภาคของเซรามิกที่กัดด้วยกรดได้ง่ายขึ้น^{๑๗, ๑๘, ๒๗} กำลังยึดติดระหว่างชิ้นงานเซรามิกกับเรซินซีเมนต์จึงเพิ่มขึ้น^{๒๔, ๒๗ - ๓๐} สารคู่ควบไซเลนที่ใช้ทางทันตกรรมคือ แกมมาเมทาโครลอกซีโพรพิลไตรเมโทกซีไซเลน (3-methacryloxypropyl-trimethoxy silane หรือ γ-MPTS) ผลิดมาใน ๒ รูปแบบคือ แบบขวดเดี่ยว (pre-hydrolyzed single-bottle solution) และแบบสองขวดผสมกัน (two-component silane systems) เพื่อเริ่มปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แบบขวดเดี่ยวประกอบด้วย สารคู่ควบไซเลนที่ถูกสลายพันธะด้วยน้ำ (pre-hydrolyzed silane) ในตัวทำละลายที่เป็นส่วนผสมของเอทานอลและน้ำ แบบ

สองขบวนการผสมกันประกอบด้วย สารคู่ควบไซเลนที่ไม่ถูกสลายพันธะด้วยน้ำ (unhydrolyzed silane) ในเอทานอลชนิดหนึ่ง และอีกขบวนการหนึ่งเป็นสารละลายกรดอะซิติกในน้ำ (aqueous acetic acid solution) เมื่อผสมกันสารละลายที่เป็นกรดจะเริ่มต้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยกรดทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์หมู่เอสเทอร์ที่ปลายข้างหนึ่งของสารคู่ควบไซเลน ($-\text{Si}-\text{OCH}_3$) ให้เป็นหมู่ไซลันอล (silanol; $-\text{Si}-\text{OH}$) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) กับหมู่ไฮดรอกซิลของซิลิกอนไดออกไซด์ในเซรามิกสร้างเป็นพันธะซิลอกเซน (siloxane bond; $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$) ในขณะที่ปลายอีก

ข้างหนึ่งของสารคู่ควบไซเลนที่มีกลุ่มสารอินทรีย์จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบรวมตัว (additional polymerization) กับพันธะคู่ของคาร์บอนในเรซินซีเมนต์^{๑๓, ๒๖, ๓๑} สร้างเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็กโมโนเมอร์ ไดเมอร์ซึ่งจะเกิดการควบแน่นสร้างพันธะซิลอกเซนระหว่างโมเลกุลเป็นสารประกอบโพลิโกลิเมอร์และสารประกอบโพลิเมอร์ที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นตามลำดับขั้นของปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์^{๓๒} ขนาดโมเลกุลอาจแตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิ ตัวทำละลายและสภาพความเป็นกรด-ด่าง^{๒๖} ดังโครงสร้างทางเคมีรูปที่ ๑



รูปที่ ๑ แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารคู่ควบไซเลน

สารคู่ควบไซเลนแบบชนิดเดียวจึงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากกว่า มีความไม่เสถียรมากกว่า และมีอายุการใช้งาน (shelf life) สั้นกว่าแบบสองชนิดผสมกัน^{๒๖, ๓๓} สารคู่ควบไซเลนแบบชนิดเดียวที่เก็บไว้นานหรือมีการระเหยของตัวทำละลายจากการเปิดขวดทิ้งไว้ หมู่ไซลันอลจะเกิดการควบแน่นกันเองสร้างเป็นสารประกอบไดเมอร์ และโพลิโกลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสารละลายมีลักษณะจึงข้นขึ้น^{๓๑, ๓๓} ไม่ควรนำมาใช้เพราะประสิทธิภาพการยึดติดจะลดลง จึงควรหาสารคู่ควบไซเลนทันทีเมื่อสารละลายถูกผสมเข้าด้วยกันเพราะช่วงต้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดสารประกอบโมโนเมอร์ขนาดเล็กซึ่งมีการดูดซับบนผิวเซรามิก (adsorption) ดีกว่าสารประกอบโพลิโกลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นการยึดติดทางเคมีระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์จึงดีกว่า^{๒๙, ๓๔} รูปแบบของสารคู่ควบไซเลนจึงมีผลต่อกำลังยึดติด สารคู่ควบไซเลนแบบสองชนิดผสมกันให้กำลังยึดติดสูงกว่าแบบชนิดเดียว^{๒๘, ๓๖, ๓๗} อย่างไรก็ตามการเป่าด้วยลมร้อนบนผิวเซรามิกที่ทาสารคู่ควบไซเลนจะช่วยกำจัดสารคู่ควบไซเลนส่วนเกิน และสารประกอบโพลิโกลิเมอร์บนผิวเซรามิกได้ทำให้กำลังยึดติดของสารคู่ควบไซเลนแบบชนิดเดียวไม่แตกต่างจากแบบสองชนิดผสมกัน^{๒๙, ๓๓} ผลของความเกะกะ (steric effect) ของสารคู่ควบไซเลนที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group) มีโมเลกุลขนาดใหญ่ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้อยกว่าสารคู่ควบไซเลนที่มีหมู่แอลคิลมีโมเลกุลขนาดเล็ก ดังนั้น

หมู่เมทอกซี (methoxy group) และหมู่เอทอกซี (ethoxy group) จึงนิยมใช้ทางทันตกรรม^{๒๖, ๓๔}

อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะช่องปากการย่อยสลายพันธะซิลอกเซนโดยน้ำ (hydrolytic degradation) ทำให้กำลังยึดติดระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป^{๑๖, ๑๘, ๓๖, ๓๙} การให้ความร้อนบนผิวเซรามิกที่ทาสารคู่ควบไซเลน^{๑๗, ๒๗ - ๒๙, ๔๐, ๔๑} การใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดยาวซึ่งมีส่วนไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) มากขึ้น^{๒๖, ๔๒} และการเติมสารเท็นเอ็มดีพี (10-MDP: 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate monomer) ในสารคู่ควบไซเลน^{๑๗, ๓๐} ทำให้การยึดติดทางเคมีระหว่างผิวเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ทนต่อการสลายพันธะโดยน้ำ การเป่าผิวเซรามิกที่ทาสารคู่ควบไซเลนด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่สะดวกกับการปฏิบัติงานในคลินิกทันตกรรมมากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนและการอบในเตาเผา^{๑๗, ๒๙, ๔๐} สก๊อตบอนด์ยูนิเวอร์ซอลเป็นสารยึดติดที่มีสารคู่ควบไซเลนและสารเท็นเอ็มดีพีแบบรวมตัว (Scotch-bond™ Universal adhesive, 3M ESPE, Germany) เพื่อลดขั้นตอนการทำงานในคลินิก อย่างไรก็ตามกำลังยึดติดของสารยึดติดชนิดนี้ค่อนข้างต่ำและไม่ทนต่อการย่อยสลายพันธะโดยน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังยึดติดของซีเมนต์เซรามิกที่ทาสารคู่ควบไซเลนแบบแยกชนิดก่อนยึดขึ้นงานด้วยสารยึดติดกลุ่มนี้ซึ่งเกิดจากสารยึดติดกลุ่มนี้มีความเป็นกรดสูง (pH ๒.๒ - ๓.๒)

ทำให้สารคู่ควบไซเลนไม่เสถียรและเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นกันเองระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลอันอลจึงเหลือหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดปฏิกิริยากับซิลิกาบนเซรามิกน้อยลงขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ของ Bis-GMA ในสารยึดติดอาจขัดขวางปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบควบแน่นระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของเซรามิกกับหมู่ไฮดรอกซิลของสารคู่ควบไซเลน นอกจากนี้สารอีมาที่ติดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ (uncured HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate) ทำให้ความดันไอ (vapor pressure) ของน้ำลดลง การเป่าผิวเซรามิกด้วยลมจากเครื่องกรอฟันจึงไม่เพียงพอที่จะไล่ไอน้ำได้สมบูรณ์ และเป็นไปได้ว่าปริมาณสารคู่ควบไซเลนในสารยึดติดกลุ่มนี้มีไม่มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยา จึงแนะนำให้เตรียมผิวเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตโดยการกัดกรดไฮโดรฟลูออริกและทาสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวดก่อนใช้สารยึดติดกลุ่มนี้^{๑๙, ๒๔}

การศึกษาที่แสดงถึงผลของระยะเวลาหลังการทาสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้ก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่มีต่อคุณภาพการยึดติดระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์มีน้อยมาก การศึกษาโดย Barghi และคณะ^{๒๕} พบว่ากำลังยึดติดระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์เมื่อทาสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้นานหนึ่งสัปดาห์ก่อนยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ไม่ต่างจากการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ภายใน ๓ นาทีหลังทาสารคู่ควบไซเลน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบกำลังยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตเมื่อทาสารคู่ควบไซเลนแบบสองขวดผสมกันทิ้งไว้ในเวลาที่แตกต่างกันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์โดยศึกษาจากกำลังยึดเฉือน (shear bond strength) และรูปแบบความล้มเหลวหลังการแตกหัก (mode of failure) โดยมีสมมติฐานว่าไม่มีความแตกต่างของกำลังยึดเฉือนระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์เมื่อทาสารคู่ควบไซเลนแล้วทิ้งไว้ในเวลาที่แตกต่างกันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์

วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์

ชื่อเซรามิก เรซินซีเมนต์และสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในการศึกษานี้ แสดงดังตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ แสดงชื่อทางการค้า บริษัทผู้ผลิต เลขที่ผลิต และส่วนประกอบของเซรามิก เรซินซีเมนต์ และสารคู่ควบไซเลน

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ
ชื่อเซรามิก: ไอพีเอสอีแม็กซ์เพรส (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) เลขที่ผลิต (Lot no.) V11422	Crystalized pin point lithium disilicate within 70% glass matrix. Additional contents: Li ₂ O, K ₂ O, MgO, ZnO, Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ and other oxides
ชื่อเรซินซีเมนต์: พานาเวียวีไฟว์ (Panavia™ V5, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) เลขที่ผลิต (Lot no.) 630004	Paste A: bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA), hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophilic aliphatic dimethacrylate, initiators, accelerators, silanated barium glass filler, silanated fluoroaluminosilicate glass filler, colloidal silica Paste B: bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophilic aliphatic dimethacrylate, silanated barium glass filler, silanated aluminium oxide filler, dl-camphorquinone, accelerators, pigments
ชื่อสารคู่ควบไซเลน: พอร์ซเลนไลเนอร์เอ็ม (Porcelain Liner M, Sun Medical Co., Ltd., Japan) เลขที่ผลิต (Lot no.) KX2	Liquid A: methyl methacrylate (MMA), 4-methacryloxyethyltrimellitic acid anhydride (4-META) Liquid B: methyl methacrylate (MMA), 3-(trimethoxysilyl) propyl methacrylate (γ-MPTS)

การเตรียมชิ้นทดสอบ (Specimen preparation)

ขึ้นรูปชิ้นทดสอบเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๖ มิลลิเมตรและหนา ๓ มิลลิเมตรในห้องปฏิบัติการโดยใช้แท่งหล่อของเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต ไอพีเอสอีแม็กซ์เพรส ซีเอ ๓ เมื่อได้ชิ้นงานแล้วใช้เข็มกรอเร็วจากเพชรทรงกลม (801 diamond round bur, Intensiv Gracia, Switzerland) สร้างรอยบากรูปครึ่งวงกลมที่ฐานเพื่อให้ชิ้นทดสอบยึดติดเชิงกลกับยิปซัมทางทันตกรรมที่อยู่ในท่อพีวีซีโดยจัดให้ชิ้นทดสอบอยู่กึ่งกลางท่อและผิวหน้าตัดสูงจากผิวหน้าของยิปซัมทางทันตกรรม ๒ มิลลิเมตร รอ ๑ ชั่วโมงจนยิปซัมแข็งตัวจึงนำชิ้นทดสอบไปขัดผิวหน้าตัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide abrasive paper) ที่ความหยาบ ๔๐๐ และ ๖๐๐ กริท (3M Wetordry abrasive sheet, 3M, USA) ตามลำดับ ภายใต้ น้ำหล่อเลี้ยงบนเครื่องขัดอัตโนมัติ (Nano 2000 grinder-polisher with a FEMTO 1000 polishing head, Pace Technologies, USA) ด้วย น้ำหนักกด ๔ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์หมุนวนเพิ่มนาฬิกาด้วยความเร็ว ๒๐๐ รอบต่อนาที ขณะที่ชิ้นทดสอบหมุนตามเข็มนาฬิกา ใช้เวลาขัด ๑๕ นาทีสำหรับแต่ละความหยาบของกระดาษทรายและเปลี่ยนกระดาษทรายทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นทดสอบ ชิ้นทดสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ ๒ก ทากรดฟอสฟอริก (K-etchant gel, 35% phosphoric acid, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) บนผิวหน้าของชิ้นทดสอบนาน ๑๕ วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่นนาน ๑๕ วินาทีและเป่าให้แห้งเพื่อกำจัดชั้นไขมันและสิ่งปนเปื้อนที่ติดค้างบนผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่เกิดจากกระบวนการขัดแบ่งชิ้นทดสอบแบบสุ่มเป็น ๔ กลุ่ม กลุ่มละ ๑๐ ชิ้น (n = ๑๐) ดังนี้

กลุ่มที่ ๑: ไม่ทาสารเคลือบผิวบนชิ้นทดสอบ (เป็นกลุ่มควบคุม)

กลุ่มที่ ๒: ทาสารเคลือบผิวบนชิ้นทดสอบ ๑๐ นาที ก่อนยัดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์

กลุ่มที่ ๓: ทาสารเคลือบผิวบนชิ้นทดสอบ ๗ วัน ก่อนยัดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์

กลุ่มที่ ๔: ทาสารเคลือบผิวบนชิ้นทดสอบ ๑๔ วัน ก่อนยัดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์

การปรับสภาพผิวชิ้นทดสอบด้วยสารเคลือบผิวและกระบวนการยัดแท่งเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงด้วยเรซินซีเมนต์ (Surface treatment of lithium disilicate-reinforced glass ceramic and cementation of composite to the ceramic)

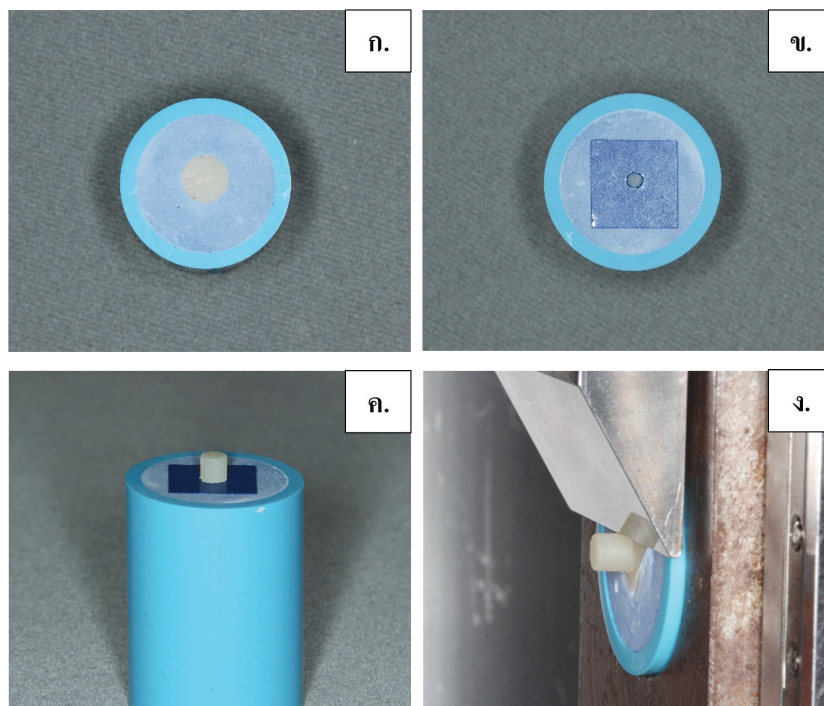
ในกลุ่มที่ ๒, ๓ และ ๔ ทาด้วยสารเคลือบผิวเลน โดยผสมสารเคลือบผิวเลนแบบสองขวดผสมกันผลิตภัณฑ์ฟอร์ชเลนไดเนอร์เอ็มจากขวดเอ (A) และขวดบี (B) อย่างละ ๑ หยดในถ้วยผสม ใช้พู่กันขนาดเล็ก (microbrush) กวนให้เข้ากัน ๕ วินาที ก่อนทาบนผิวหน้าชิ้นทดสอบ ๑ ชั้น เป่าผิวหน้าชิ้นทดสอบด้วยลมจากทริปเปิลไชรินจ์ที่ปราศจากละอองน้ำและน้ำมันด้วยแรงดัน ๔๐ - ๕๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้วจากเครื่องกรอฟันเคลื่อนที่ (Mobile dental unit, Thai Dental Products (TDP), Thailand) จัดให้ปลายทริปเปิลไชรินจ์ห่างจากผิวหน้าชิ้นทดสอบ ๑๐ มิลลิเมตร เป่านาน ๑๐ วินาทีจนสารเคลือบผิวเลนแห้งสนิท ไม่เห็นการไหลของสารเคลือบผิวเลนเก็บชิ้นทดสอบที่ทำผิวด้วยสารเคลือบผิวเลนในภาชนะแห้งมีฝาปิดที่อุณหภูมิห้องก่อนยัดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์เป็นเวลา ๑๐ นาที (กลุ่มที่ ๒) ๗ วัน (กลุ่มที่ ๓) และ ๑๔ วัน (กลุ่มที่ ๔) ติดเทปกาวหน้าเดียว (Scotch blue Painter's tape, 3M, USA) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเรซินซีเมนต์ซึ่งมีความหนา ๘๐ ไมโครเมตร ขนาด ๑๐ x ๑๐ มิลลิเมตร และเจาะรูเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง ๒ มิลลิเมตรบนผิวหน้าชิ้นทดสอบเพื่อควบคุมพื้นที่ยึดติดให้เท่ากันทุกชิ้นทดสอบ (รูปที่ ๒ข) ยัดแท่งเรซินคอมโพสิตซึ่งเตรียมจากการบรรจุและฉายแสงเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงสีซี ๒ (Filtek™ Z250 (C2), 3M ESPE, dental products, USA) ลงในรูแม่แบบซิลิโคน (Elite HD, Zhermack, Italy) ที่มีหน้าตัดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง ๓ มิลลิเมตร สูง ๓ มิลลิเมตรด้วยเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์พานาเวียวีไฟว์ที่ถูกผสมผ่านเกลียวผสมอัตโนมัติ (automixing tip) บนผิวหน้าชิ้นทดสอบโดยให้แท่งคอมโพสิตอยู่ตรงกลางและครอบคลุมรูของกาวหน้าเดียว กดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด ๑,๐๐๐ กรัม ฉายแสงเพื่อให้เรซินซีเมนต์เกิดกระบวนการบ่มตัวด้วยแสงด้วยเครื่องฉายแสง (Elipar freelight 2 LED curing light, 3M ESPE, dental products, USA) ที่มีความเข้มแสง ๑,๐๐๐ มิลลิวัตต์ต่อ

ตารางเซนติเมตร โดยเคลื่อนปลายท่อนำแสงตามเข็มนาฬิกา ฉายแสงที่ตำแหน่ง ๑๒, ๓, ๖ และ ๙ นาฬิกาตำแหน่งละ ๒๐ วินาที โดยปลายท่อนำแสงจะต้องตั้งฉากและห่างจากด้านข้างชั้นทดสอบประมาณ ๒ มิลลิเมตร วางชั้นทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา ๑๐ นาทีเพื่อให้เรซินซีเมนต์เกิดกระบวนการบ่มตัวทางเคมีโดยตุ้มน้ำหนักยังกดบนแท่งเรซินคอมโพสิตตลอดระยะเวลาการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ (รูปที่ ๒ค) แخذชั้นทดสอบในน้ำกลั่นที่เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ ๓๗ องศาเซลเซียสเป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมง (Incubator; Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand) ก่อนการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว

ยึดชั้นทดสอบเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว โดยจัดให้แนวระนาบของปลายมีดที่ใช้ทดสอบแรงยึดเหนี่ยว (shearing blade) ขนานรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบเซรามิกกับแท่งเรซินคอมโพสิต และให้ปลายมีดอยู่ห่างจากชั้นทดสอบ ๑ มิลลิเมตร (รูปที่ ๒ง) วัดกำลังยึดเหนี่ยวที่ทำให้แท่งเรซินคอมโพสิตหลุดออกจากผิวเซรามิกด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (Universal testing machine; EZ-S 500N, Shimadzu corporation, Japan) ที่ความเร็วหัวกด (crosshead speed) ๐.๕ มิลลิเมตรต่อวินาที คำนวณค่ากำลังยึดเหนี่ยวในหน่วยเมกะพาสคาล (MPa) ชั้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบให้บันทึกค่ากำลังยึดเหนี่ยวเป็นศูนย์ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นทดสอบ

แต่ละกลุ่มโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕ ($p < 0.05$) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูเก้ (Turkey multiple comparison test)

จากนั้นศึกษารูปแบบความล้มเหลวโดยตรวจสอบด้านตัดขวางของชั้นทดสอบหลังการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope, SZ 61, Olympus Co., Japan) ที่กำลังขยาย ๔๐ เท่า เพื่อดูรูปแบบความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตกับแท่งเรซินคอมโพสิตซึ่งจำแนกเป็น ๔ แบบคือ ๑) การไม่ยึดอยู่ (adhesive failure) เกิดความล้มเหลวที่รอยต่อระหว่างผิวเซรามิกกับชั้นเรซินซีเมนต์ จะพบผิวเซรามิกที่ถูกขัดเรียบร้อยละ ๑๐๐ บนด้านตัดขวางของชั้นทดสอบ ๒) การเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิก (cohesive failure in the ceramic) จะพบการแตกหักในเนื้อเซรามิกร้อยละ ๑๐๐ บนด้านตัดขวางของชั้นทดสอบ ๓) การเชื่อมแน่นล้มเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in the resin cement) จะพบเนื้อเรซินซีเมนต์ติดที่ผิวเซรามิกซึ่งทำให้ผิวเซรามิกขรุขระร้อยละ ๑๐๐ บนด้านตัดขวางของชั้นทดสอบ ๔) การล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) เกิดความล้มเหลวผสมกันทั้งแบบการไม่ยึดอยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกหรือในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์



รูปที่ ๒ แสดงขั้นตอนการเตรียมชั้นทดสอบ ก. แผ่นเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตฝังในท่อพีวีซีด้วยยิปซัมทางทันตกรรม ข. ติดเทปกาวหน้าเดียวบนผิวเซรามิกเพื่อควบคุมพื้นที่ยึดติด ค. ชั้นทดสอบที่ยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ ง. การยึดชั้นทดสอบเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว

ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นทดสอบทั้ง ๔ กลุ่มแสดงดังตารางที่ ๒ พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ไม่ทำสารคู่ควบไซเลนบนชั้นทดสอบก่อนยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ (กลุ่มที่ ๑, 1.79 ± 1.20 เมกะพาสกาล) มีค่าต่ำที่สุดโดยชั้นทดสอบจำนวน ๓ ชั้น มีการแตกหักก่อนทดสอบ (pre-testing failures) ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวที่ต่ำของกลุ่มที่ไม่ทำสารคู่ควบไซเลนบนชั้นทดสอบ แตกต่างจากกลุ่มที่ทำสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้บนชั้นงาน ๑๐ นาที

๗ วันและ ๑๔ วันก่อนยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ทำสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้บนชั้นทดสอบ ๑๐ นาที (กลุ่มที่ ๒, 15.01 ± 4.03 เมกะพาสกาล) ๗ วัน (กลุ่มที่ ๓, 16.44 ± 5.57 เมกะพาสกาล) และ ๑๔ วัน (กลุ่มที่ ๔, 15.61 ± 6.40 เมกะพาสกาล) ก่อนยึดแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

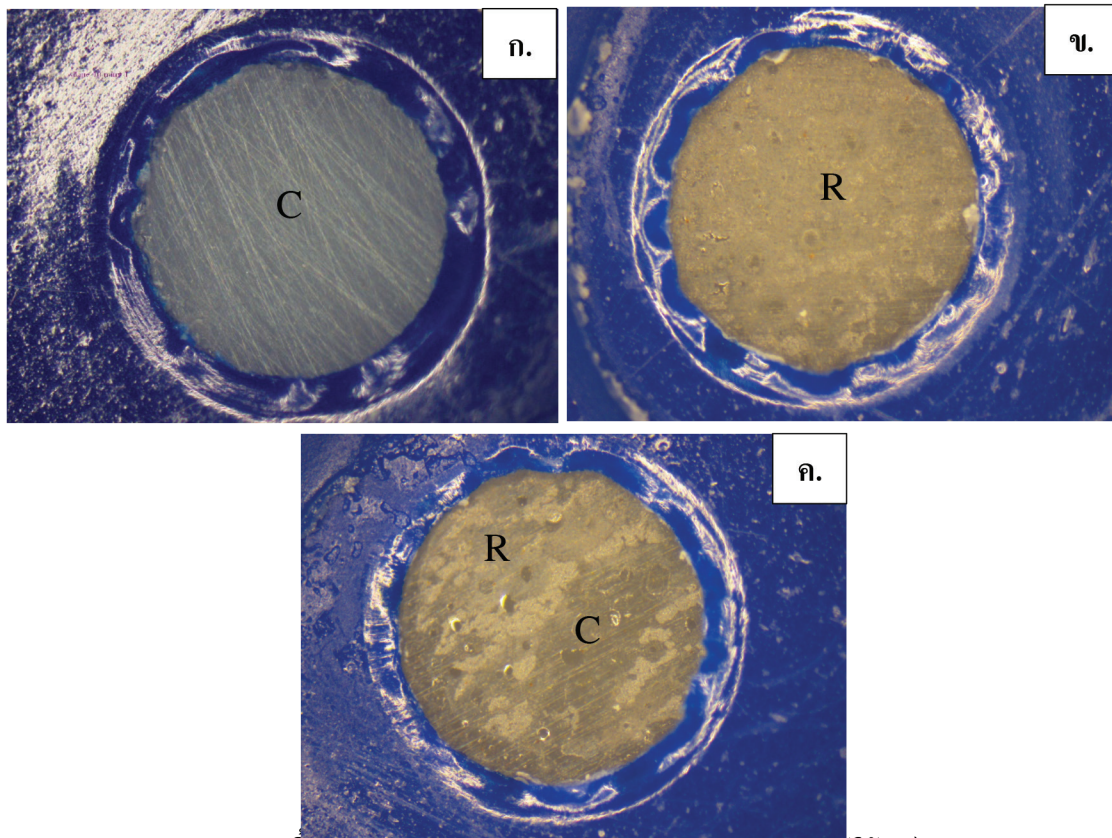
ตารางที่ ๒ แสดงค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวในแต่ละกลุ่มทดสอบ

กลุ่มทดสอบ	ค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยว และส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (เมกะพาสกาล)	ชั้นทดสอบที่ แตกหักก่อน การทดสอบต่อ จำนวนชั้น ทดสอบ	ร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวของชั้นทดสอบ			
			การไม่ยึดอยู่	การเชื่อมแน่นล้มเหลว		การล้มเหลวแบบผสม
				ในเซรามิก	ในเนื้อ เรซินซีเมนต์	
กลุ่มที่ ๑						
ไม่ทำสารคู่ควบไซเลน	$1.79 (1.20)^a$	๓/๑๐	๕๐	๐	๐	๕๐
กลุ่มที่ ๒						
ทำสารคู่ควบไซเลน ๑๐ นาที	$15.01 (4.03)^b$	๐/๑๐	๒๐	๐	๐	๘๐
กลุ่มที่ ๓						
ทำสารคู่ควบไซเลน ๗ วัน	$16.44 (5.57)^b$	๐/๑๐	๐	๐	๓๐	๗๐
กลุ่มที่ ๔						
ทำสารคู่ควบไซเลน ๑๔ วัน	$15.61 (6.40)^b$	๐/๑๐	๐	๐	๓๐	๗๐

กลุ่มที่มีตัวกเหมือนกันแสดงถึงค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวของชั้นทดสอบหลัง การแตกหักแต่ละกลุ่มจำแนกตามตารางที่ ๒ ส่วนใหญ่เป็นความ ล้มเหลวแบบผสมโดยพบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเนื้อวัสดุเรซิน

ซีเมนต์มากกว่าความล้มเหลวแบบการไม่ยึดอยู่ การศึกษานี้ ไม่พบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกในทุกกลุ่มทดสอบ (รูปที่ ๓)



รูปที่ ๓ ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย ๔๐ เท่าแสดงรูปแบบความล้มเหลวบนด้านตัดขวางของชิ้นทดสอบหลังการแตกหัก ก. การไม่ยึดอยู่ ข. การเชื่อมแน่นล้มเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์ ค. การล้มเหลวแบบผสม (C = เซรามิก R = เรซินซีเมนต์)

วิจารณ์ และสรุปผลการศึกษา

กำลังยึดติดที่สูงระหว่างชิ้นงานเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ซึ่งได้จากการปรับสภาพผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การบูรณะฟันด้วยเซรามิกมีความสำเร็จในระยะยาว^{๗-๑๐} แม้การทดสอบกำลังยึดติด (tensile bond strength test) และการทดสอบกำลังยึดติดระดับจุลภาค (micro tensile bond strength test) จะให้แรงทดสอบที่กระจายบนพื้นที่ยึดติดเกิดได้สม่ำเสมอ (uniform stress distribution) จึงสะท้อนคุณภาพการยึดติดที่แท้จริงมากกว่าการทดสอบกำลังยึดติด^{๒๐๙, ๓๑๑, ๔๓, ๔๔} แต่การสร้างชิ้นทดสอบสำหรับวัสดุกลุ่มเซรามิกทำได้ยาก โอกาสเกิดความเสียหายต่อชิ้นทดสอบทำให้มีจุดบกพร่อง (flaw) บนพื้นที่ยึดติดสูง^{๔๔} การศึกษานี้ใช้การทดสอบกำลังยึดติดเพื่อประเมินคุณภาพการยึดติดเพราะ

แรงเค้นเป็นแรงที่ทำให้ชิ้นงานในช่องปากเกิดการหลุดหรือแตกหักมากกว่าแรงดึง นอกจากนี้การสร้างชิ้นทดสอบยังทำได้ง่าย ได้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดพื้นที่ยึดติดใกล้เคียงกัน และง่ายต่อการดูหน้าตัดขวางของชิ้นทดสอบภายหลังการแตกหัก^{๑๓๗, ๑๘, ๔๔, ๔๕} อย่างไรก็ตามแรงเค้นทำให้กระจายของแรงบนพื้นที่ยึดติดเกิดไม่สม่ำเสมอ กำลังยึดเค้นจึงมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง การสร้างชิ้นงานที่มีขนาดพื้นที่ยึดติดเท่ากันช่วยให้ค่าความแปรปรวนลดลงได้^{๔๕}

นอกจากเรื่องความสวยงามแล้วเหตุผลประการหนึ่งที่ใช้เซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิกเนตนิยมใช้เพราะขั้นตอนการปรับสภาพผิวก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ทำได้ง่ายและให้กำลังยึดติดระหว่างชิ้นงานเซรามิกกับเรซินซีเมนต์สูง โดยการกัดผิวด้านในเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น

ร้อยละ ๕ เป็นเวลา ๒๐ วินาทีและตามด้วยการทาสารคูควบไซเลน^(๑๖-๑๘, ๒๐, ๒๔) การศึกษานี้ไม่ได้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดผิวเซรามิกก่อนทาสารคูควบไซเลน เนื่องจากต้องการศึกษาผลของสารคูควบไซเลนที่มีต่อกำลังยึดติดเพียงอย่างเดียวเพราะมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าผิวเซรามิกที่ถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ให้กำลังยึดติดสูงกว่าผิวเซรามิกที่ไม่ถูกกัดด้วยกรด^(๑๖-๑๘, ๒๐, ๒๒-๒๔) นอกจากนี้ยังเลือกใช้สารคูควบไซเลนผลิตภัณฑ์ฟอร์เซลเนลเลอร์เอ็มซึ่งมี γ -MPTS เป็นสารองค์ประกอบเพียงอย่างเดียวแทนการใช้ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิวเซรามิกไพรเมอร์ (Clearfil™ ceramic primer, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) ซึ่งมีสารเติมเต็มที่มีผลเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวเซรามิกกับเรซินซีเมนต์^(๑๗, ๓๐) เพราะต้องการศึกษาผลของ γ -MPTS ที่มีต่อกำลังยึดติดเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้พบว่าการทาสารคูควบไซเลนเพียงอย่างเดียวก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนทดสอบที่ไม่ได้ทาสารคูควบไซเลนโดยไม่ต้องมีการกัดผิวเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก สอดคล้องกับการศึกษาในอดีต^(๑๐, ๑๘, ๒๔, ๒๘, ๒๙) จึงสนับสนุนว่าการยึดเกาะเคมีจากสารคูควบไซเลนมีผลต่อการยึดติดของเรซินซีเมนต์บนผิวเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตมากกว่าการยึดติดด้วยรูปทรงระดับจุลภาคจากการกัดผิวเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก โดยสารคูควบไซเลนซึ่งมีสองหมู่ฟังก์ชัน (bifunctional molecule) ปลายข้างหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยมีกรดเป็นตัวเริ่มต้น (initiate) และเร่ง (accelerate) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่เมทอกซีไซเลน (methoxy silane, $-Si-OCH_3$) ไปเป็นหมู่ไซลันอลเพื่อทำปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบควบแน่นสร้างพันธะไซลันกับหมู่ไฮดรอกซิลของซิลิกาบนผิวเซรามิก ในขณะที่ปลายอีกข้างที่เป็นสารอินทรีย์กลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate groups) จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบรวมตัวสร้างพันธะโควาเลนต์กับสารอินทรีย์กลุ่มไดเมทาคริเลต (dimethacrylate groups) ในเรซินซีเมนต์^(๑๓, ๑๔, ๒๖, ๓๑, ๓๓)

แนวโน้มการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดผิวเซรามิกในคลินิกทันตกรรมลดลง^(๒๔, ๒๗-๓๐) เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกมีความเป็นพิษ^(๓๑) การกัดผิวเซรามิกด้วยกรดมีโอกาสดังกล่าวได้ง่ายเพราะพบว่าผลการทดสอบที่ไว้ระยะเวลานานทำให้กำลังยึดติดของเซรามิกลดลง^(๓๒) เกลือซิลิกาฟลูออไรด์ (silica fluoride salt) บนผิวเซรามิกที่ถูกกัดด้วยกรดขัดขวางการยึดติด^(๔๗)

จึงควรทำความสะอาดชิ้นงานเซรามิกในเครื่องล้างอัลตราโซนิคส์ (ultrasonic cleaner) หรือทำความสะอาดผิวเซรามิกด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดเกลือ ซิลิกาฟลูออไรด์ให้หมดก่อนทาสารคูควบไซเลน^(๔๘) ขั้นตอนในคลินิกทันตกรรมจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เซรามิกชนิดเซอรโคเนียซึ่งนิยมใช้มากอีกชนิดในปัจจุบันมีความเป็นผลึกสูงกรดไฮโดรฟลูออริกไม่สามารถกัดผิวให้เกิดความขรุขระได้ในสภาวะปกติ^(๒๖, ๔๙)

ผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกที่ถูกขึ้นรูปจากห้องปฏิบัติการทางทันตกรรมมีความขรุขระจากการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการศึกษาของ Hooshmand T และคณะ^(๒๔) แสดงให้เห็นว่าการทาสารคูควบไซเลนบนผิวเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิโธไฟท์ที่ถูกขัดมันหรือพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ให้กำลังยึดติดที่ดีและมีความเสถียรต่อการย่อยสลายพันธะด้วยน้ำและการเร่งอายุโดยการสลับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นรอบๆ ไม่ต่างจากผิวเซรามิกที่ถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจึงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกัดด้วยกรดก่อนยึดชิ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์ การทาสารคูควบไซเลนที่ถูกวิธีโดยใช้พู่กันขนาดเล็กทาเป็นชั้นบางๆ บนผิวเซรามิกตามด้วยการเป่าด้วยลมร้อนหรือการล้างด้วยน้ำร้อนและเป่าด้วยลมร้อนทำให้กำลังยึดติดสูงโดยไม่จำเป็นต้องสร้างให้เกิดการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาคทั้งการกัดด้วยกรดและหรือการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์บนผิวเซรามิก^(๒๗, ๒๙, ๓๐) อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดผิวเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิโธไฟท์และทาสารคูควบไซเลนให้กำลังยึดติดสูงกว่าการทาสารไซเลนและเป่าด้วยลมร้อน^(๑๗, ๒๓)

ผลจากการศึกษานี้ยังพบว่าระยะเวลาตั้งแต่ ๑๐ นาทีจนถึง ๑๔ วันภายหลังทาสารคูควบไซเลนแบบสองขวดผสมกันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ไม่มีผลต่อกำลังยึดเหนี่ยว กำลังยึดเหนี่ยวเมื่อทาสารคูควบไซเลนทิ้งไว้ ๑๐ นาที ๗ วันและ ๑๔ วันก่อนยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาในอดีต^(๒๔) กำลังยึดเหนี่ยวของสารคูควบไซเลนแบบสองขวดผสมกันมีค่าสูงภายหลังทาสารคูควบไซเลนทิ้งไว้ ๑๐ นาทีก่อนยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์อธิบายได้ว่าเมื่อสารคูควบไซเลนสองขวดผสมกันสารละลายในสภาวะที่เป็นกรดเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่เมทอกซีไซเลนเพื่อสร้างพันธะไซลันและเร่งปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ และความเป็นกรดของซิลิกาในเซรามิกก็ช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เกิดได้อย่างทันที (catalytic effect) ภายหลังทาสารคูควบไซเลนบนผิวเซรามิก^(๓๑) แม้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อสร้างพันธะ

ไฮดรอกซีและปฏิกิริยาโพลิเมอร์แบบควบแน่นจะเกิดสมบูรณ์เมื่อส่วนประกอบของสารคู่ควบไฮดรอกซีและซิลานเข้าด้วยกันหลัง ๒๔ ชั่วโมงแล้วก็ตาม^{๓๓} กำลังยึดติดของสารคู่ควบไฮดรอกซีมีความสัมพันธ์กับระดับการถูกย่อยสลายพันธะโดยน้ำ^{๕๐} การยึดทางเคมีของสารคู่ควบไฮดรอกซีต่อการสลายพันธะโดยน้ำและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปากไม่ถูกย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป กลุ่มเมทาคริลเลทในโครงสร้างของสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนยังคงอยู่บนผิวเซรามิกที่ทาสารไฮดรอกซีเลนทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ยังเกิดต่อเนื่องสร้างพันธะกับเรซินซีเมนต์ได้ตลอดเวลา^{๒๔, ๒๙, ๓๑, ๓๔} กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์เมื่อทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนทั้งไว้ ๗ วันและ ๑๔ วันจึงยังมีค่าสูงไม่ต่างกับชิ้นงานเซรามิกที่ทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนทั้งไว้ ๑๐ นาทีก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ กำลังยึดเหนี่ยวจากการศึกษานี้อาจสูงขึ้นหากเป่าผิวเซรามิกหลังทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนด้วยลมร้อนแทนการเป่าด้วยลมจากเครื่องกรอฟัน^{๑๗, ๒๗ - ๓๐, ๔๐, ๔๑}

ผิวเซรามิกที่ติดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกมีโอกาสปนเปื้อนจากของเหลวในช่องปากในขั้นตอนการลองชิ้นงานในช่องปากในขณะที่การทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนทำให้ผิวเซรามิกมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น^๔ การล้างด้วยน้ำร้อนและหรือการเป่าด้วยลมร้อนหลังทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนบนผิวเซรามิกช่วยกำจัดสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนส่วนเกินที่ไม่เกิดปฏิกิริยา สารประกอบโอลิโกเมอร์และสารพลอยได้จากปฏิกิริยา (by products) ได้แก่ น้ำ แอลกอฮอล์และกรดอะซิติกบนผิวเซรามิกได้สมบูรณ์ การกำจัดน้ำทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบควบแน่นของเซรามิกกับสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนเกิดสมบูรณ์กำลังยึดติดจึงสูงขึ้น^{๒๘ - ๓๑, ๔๐, ๔๑} การระเหยของแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนกับซิลิกาในเซรามิกทำให้เหลือซิลิกาที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนมากขึ้น^{๒๘} การล้างด้วยน้ำร้อนตามด้วยการเป่าด้วยลมร้อน^{๒๙, ๔๑} หรือการเป่าด้วยลมร้อนอย่างเดียว^{๒๗ - ๓๐, ๔๐, ๔๑} ยังช่วยกำจัดชั้นนอกสุดและชั้นกลางของสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนบนผิวเซรามิก (outermost and middle layers of the silane film) ซึ่งมีสารประกอบโอลิโกเมอร์ที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายและไม่เกิดพันธะเคมีกับเรซินซีเมนต์ออกไป ทำให้ชั้นในสุดของสารคู่ควบไฮดรอกซีเลน (innermost layer of the silane film) ที่อยู่ติดกับผิวเซรามิกซึ่งเป็นชั้นที่เสถียรต่อการย่อยสลายพันธะโดยน้ำเกิดการยึดทางเคมีกับเรซินซีเมนต์ กำลังยึดติดระหว่างกับเรซินซีเมนต์กับเซรามิกจึงสูงขึ้นและความล้นเหลวที่ชั้นรอยต่อลดลง ดังนั้นการทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนร่วมกับการให้ความร้อนกับผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกจากห้องปฏิบัติการทันตกรรมก่อนการลองชิ้นงานในช่องปากจึงเป็นวิธีที่

เหมาะสมเพื่อปรับสภาพผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกก่อนการลองชิ้นงานในช่องปากและยึดด้วยเรซินซีเมนต์ โดยอาจไม่ต้องกัดผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก^{๒๗, ๒๙, ๓๐} เพราะผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์หลังทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนทั้งไว้สองสัปดาห์ก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ยังคงมีค่าสูงไม่ต่างจากชิ้นงานเซรามิกที่ทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนและยึดด้วยเรซินซีเมนต์ทันที วิธีการดังกล่าวยังลดขั้นตอนการทำงานในคลินิก ลดความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของกรดไฮโดรฟลูออริกในคลินิกทันตกรรม ป้องกันการปนเปื้อนจากของเหลวในช่องปากบนผิวด้านในเซรามิกที่จะยึดกับเรซินซีเมนต์ และยังช่วยให้ชั้นในสุดของสารคู่ควบไฮดรอกซีเลนที่อยู่ติดกับผิวด้านในของเซรามิกยึดทางเคมีกับเรซินซีเมนต์เพราะชั้นนอกสุดและชั้นกลางถูกกำจัดออกไปจากการเตรียมผิวเซรามิกด้วยความร้อน^{๔, ๒๙}

คุณภาพการยึดติดยังประเมินได้จากรูปแบบความล้นเหลวภายหลังการแตกหัก การศึกษานี้ตรวจสอบด้านตัดขวางของชิ้นทดสอบหลังการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย ๔๐ เท่า ซึ่งให้ความชัดเจนเพียงพอที่จะจำแนกความแตกต่างของรูปแบบความล้นเหลวทั้ง ๔ แบบได้^{๒๙} พบว่าส่วนใหญ่เป็นความล้นเหลวแบบผสมโดยพบการเชื่อมแน่นล้นเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์มากกว่าการไม่ยึดอยู่ กำลังยึดเหนี่ยวที่มีค่าต่ำจะพบการไม่ยึดอยู่ขณะที่กำลังยึดเหนี่ยวที่มีค่าสูงจะพบการเชื่อมแน่นล้นเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์มากขึ้น เนื่องจากการแตกหักภายในชั้นซีเมนต์จะเกิดขึ้นเมื่อกำลังยึดติดของรอยต่อสูงเกินกว่ากำลังยึดติดในตัวซีเมนต์เองสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา^{๑๘, ๒๗ - ๒๙, ๔๑} การศึกษานี้ไม่พบการเชื่อมแน่นล้นเหลวในเซรามิกในทุกกลุ่มทดสอบเพราะไม่ได้กัดผิวเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกก่อนทาสารคู่ควบไฮดรอกซีเลน^{๑๗, ๑๘}

ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือการใช้เรซินซีเมนต์เพียงชนิดเดียวในการทดสอบเพราะสารที่เป็นองค์ประกอบในเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกันทำให้วิธีเตรียมผิวเซรามิกก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ต่างกันและการทดสอบนี้ทำในห้องปฏิบัติการซึ่งแรงกระทำต่อชิ้นทดสอบเป็นแรงเฉือนจังหวะเดียว (monotonic loading) แตกต่างจากสภาวะในช่องปากซึ่งมีความล้าจากแรงซ้ำๆ (cyclic fatigue)^{๑๗, ๑๘} นอกจากนี้ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปากอาจมีผลต่อคุณภาพการยึดติดระหว่างกับเรซินซีเมนต์กับเซรามิกที่ถูกปรับสภาพผิวแล้ว^{๑๖, ๑๘, ๓๖} โดยเฉพาะสารยึดที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มี

ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic monomer) เช่น สารอีมา^{๑๗} การศึกษาต่อไปจึงควรนำขึ้นทดสอบเข้าเครื่องเร่งอายุโดยการสลับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นรอบๆ ก่อนทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว

ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้สรุปได้ว่าการหาสารคู่ควบไซเลนทำให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์สูงขึ้น และระยะเวลาหลังหาสารคู่ควบไซเลนทิ้งไว้ ๑๐ นาที ๗ วันและ ๑๔ วันก่อนยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ไม่มีผลต่อกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์

เอกสารอ้างอิง

๑. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res* 2000;53:297-303.
๒. Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Biaxial flexural strength, elastic moduli, and x-ray diffraction characterization of three pressable all-ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2003;89:374-80.
๓. Piowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthetic restorative materials. *J Prosthet Dent* 2004;92:265-73.
๔. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007;28:3757-85.
๕. Peutzfeldt A, Sahafi A, Flury S. Bonding of restorative materials to dentin with various luting agents. *Oper Dent* 2011;36:266-73.
๖. Alber FE, El-Mowafy OM. Marginal adaptation and microleakage of Procera AllCeram crowns with four resin cements. *Int J Prosthodont* 2004;17:529-35.
๗. Sunico-Segarra M, Segarra A. A practical clinical guide to resin cements. Verlag Berlin Heidelberg: Springer; 2015; p. 9-22.
๘. Panah FG, Rezai SM, Ahmadian L. The influence of ceramic surface treatments on the micro-shear bond strength of composite resin to IPS Empress 2. *J Prosthodont* 2008;17:409-14.
๙. Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am* 2011;55:311-32.
๑๐. Lise DP, Perdigão J, Van Ende A, Zidan O, Lopes GC. Microshear bond strength of resin cements to lithium disilicate substrates as a function of surface preparation. *Oper Dent* 2015;40:524-32.
๑๑. Heintze SD, Cavalleri A, Zellweger G, Buchler A, Zappini G. Fracture frequency of all-ceramic crowns during dynamic loading in a chewing simulator using different loading and luting protocols. *Dent Mater* 2008;24:1352-61.
๑๒. Xiaoping L, Dongfeng R, Silikas N. Effect of etching time and resin bond on the flexural strength of IPS e.max press glass ceramic. *Dent Mater* 2014;30:e330-6.
๑๓. Soares CJ, Soares PV, Pereira JC, Fonseca RB. Surface treatment protocols in the cementation process of ceramic and laboratory-processed composite restorations. A literature review. *J Esthet Restor Dent* 2005;17:224-35.
๑๔. Martinlinna JP, Lassila LVJ, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004;17:155-64.
๑๕. Martinlinna JP, Vallittu PK. Bonding of resin composites to etchable ceramic surface: An insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *J Oral Rehabil* 2007;34:622-30.
๑๖. Ozcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 2003;19:725-31.

๑๗. Yavuz T, Eraslan O. The effect of silane applied to glass ceramics on surface structure and bonding strength at different temperatures. *J Adv Prosthodont* 2016;8:75-84.
๑๘. Lee HY, Han GJ, Chang J, Son HH. Bonding of the silane containing multi-mode universal adhesive for lithium disilicate ceramics. *Restor Dent Endod* 2017;42:95-104.
๑๙. Phoenix S, Shen C. Characterization of treated porcelain surfaces via dynamic contact angle analysis. *Int J Prosthodont* 1995;8:187-94.
๒๐. Nagai T, Kawamoto Y, Kakehashi Y, Matsumura H. Adhesive bonding of a lithium disilicate ceramic material with resin-based luting agents. *J Oral Rehabil* 2005;32:598-605.
๒๑. Meng X, Yoshida K, 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 machineable ceramic. *J Adhes Dent* 2011;11:71-8.
๒๒. Chung KH, Hwang YC. Bonding strengths of porcelain repair systems with various surface treatments. *J Prosthet Dent* 1997;78:267-74.
๒๓. de Carvalho RF, Martins ME, de Queiroz JR, Leite FP, Ozcan M. Influence of silane heat treatment on bond strength of resin cement to a feldspathic ceramic. *Dent Mater* 2011;30:392-7.
๒๔. Kalavacharla VK, Lawson NC, Ramp LC, Burgess JO. Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength. *Oper Dent* 2015;40:372-8.
๒๕. Menees TS, Lawson NC, Beck PR, Burgess JO. Influence of particle abrasion or hydrofluoric acid etching on lithium disilicate ceramic flexural strength. *J Prosthet Dent* 2014;112:1164-70.
๒๖. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dent Mater* 2012;28:467-77.
๒๗. Abduljabbar T, Alqahtani MA, Al Jeaidi Z, Vohra F. Influence of silane and heated silane on the bond strength of lithium disilicate ceramics-An in vitro study. *Pak J Med Sci* 2016;30:550-4.
๒๘. Barghi N, Berry T, Chung K. Effects of timing and heat treatment of silanated porcelain on the bond strength. *J Oral Rehabil* 2000;27:407-12.
๒๙. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002;18:179-88.
๓๐. de Carvalho RF, Cotes C, Kimpara ET, Leite FPP, Ozcan M. Heat treatment of pre-hydrolyzed silane increases adhesion of phosphate monomer-based resin cement to glass ceramic. *Braz Dent J* 2015;26:44-9.
๓๑. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Storage effect of a pre-activated silane on the resin to ceramic bond. *Dent Mater* 2004;20:635-42.
๓๒. Pleuddemann EP. Nature of adhesive though silane coupling agents: *Silane Coupling Agents*, 2nd ed. New York: Springer Science+Business Media; 1991; p. 115-52.
๓๓. Anagnostopoulos T, Eliades G, Palaghias G. Composition, reactivity and surface interactions of three dental silane primers. *Dent Mater* 1993;9:182-90.
๓๔. Matsumara H, Kato H, Atsuta M. Shear bond strength of feldspathic porcelain of two luting cements in combination with three surface treatments. *J Prosthet Dent* 1997;78:511-7.
๓๕. Blum FD, Meesiri W, Kang H, Gambogi JE. Hydrolysis, adsorption, and dynamics of silane coupling agents on silica surfaces. *J Adhesion Sci Technol* 1991;5:479-96.
๓๖. Kato H, Matsumara H, Tanaka T, Atsuta M. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *J Prosthet Dent* 1996;75:163-8.
๓๗. Berry T, Barghi N, Chung K. Effect of water storage on the silanization in porcelain repair strength. *J Oral Rehabil* 1999;26:459-63.

๓๘. Chambers RC, Jones WE, Haruvy Y, Webber SE, Fox MA. Influence of steric effects on the kinetics of ethyltrimethoxysilane hydrolysis in a fast sol-gel system. *Chem Mater* 1993;5:1481-6.
๓๙. Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 2006;22:195-200.
๔๐. Shen C, Oh WS, William JR. Effect of post-silani-zation drying on the bond strength of composite to ceramic. *J Prosthet Dent* 2004;90:453-8.
๔๑. Baratto SSP, Spina DRF, Gonzaga CC, daCunha LF, Furuse AY, Filho FB, et al. Silanated surface treatment: Effects on the bond strength to lithium disilicate glass-ceramic. *Braz Dent J* 2015;26:474-7.
๔๒. McDonough WG, Antonucci JM, Dunkers JP. Interfacial shear strengths of dental resin-glass fibers by the microbond test. *Dent Mater* 2001;17:492-8.
๔๓. Della Bona A, van Noort R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite to ceramic. *J Dent Res* 1995;74:1591-6.
๔๔. Braga RR, Meira JB, Boara LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of “macro” test methods. *Dent Mater* 2010;26:e38-e49.
๔๕. Choi BK, Han JS, Yang JH, Lee JB, Kim SH. Shear bond strength of veneering porcelain to zirconia and metal cores. *J Adv Prosthodont* 2009;1:129-35.
๔๖. Bertolini JC. Hydrofluoric acid: a review of toxicity. *J Emerg Med* 1992;10:163-8.
๔๗. Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. *Dent Mater* 2002;18:380-8.
๔๘. Alex G. Preparing porcelain surfaces for optimal bonding. *Funct Esthet Restor Dent* 2008;1:38-46.
๔๙. Borges GA, Sophr AM, de Goes MF, Sobrinho LC, Chan DC. Effect of etching and air borne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2003;89:479-88.
๕๐. Culler SR, Krueger DD, Joos RW. Investigations of silane priming solutions to repair fractured porcelain crown. *J Dent Res* 1986;65:191(abstract No. 193).

Abstract

Effect of post-silanization time intervals on shear bond strength of resin cement to lithium disilicate-reinforced glass ceramic

Sudarat Nubdee, Niyom Thamrongananskul, Kamolporn Wattanasrimkit, Trakol Mekayarajjananonth

Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn university

Introduction: The purpose of this study was to compare shear bond strength between resin cement and lithium disilicate-reinforced glass ceramic varying time intervals after silane application prior to bonding.

Method: Forty lithium disilicate-reinforced glass ceramic discs (6 mm diameter, 3 mm thick) were embedded into PVC pipes using dental gypsum. To create uniform flat surfaces for bonding, the ceramic surfaces were sequentially polished with wet 400- and 600- grit SiC papers. All specimens were cleaned with 35% phosphoric acid, then rinsed with distilled water and dried. They were then randomly divided into four groups (n = 10), according to timing between silanization and adhesive cementation process. No silane treatment was used as a control group (group 1) while the other three groups were treated with commercial silane solution and stored in the dry sealed containers for 10 minutes (group 2), 7 days (group 3) and 14 days (group 4) before bonded to resin composite with resin cement. All specimens were light-cured for 20 seconds in four directions, kept dry at room temperature for 10 minutes and then immersed in 37 °C distilled water for 24 hours before subjecting to the shear bond strength test. The shear bond strength test was carried out in a universal testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. One-way ANOVA followed by Tukey's post hoc analysis were used to analyze the differences in the bond strength values based on the time intervals between silanization and the adhesive cementation process at the 95% level of confidence. The fractured surfaces were examined under a stereomicroscope at 40X magnification in order to determine the mode of failure.

Result: The mean shear bond strengths between resin cement and lithium disilicate-reinforced glass ceramic of group 1 to group 4 were 1.79 ± 1.20 , 15.01 ± 4.03 , 16.49 ± 5.97 , 15.61 ± 6.40 MPa, respectively. Group 1 showed significantly lower shear bond strength compared with group 2, group 3 and group 4 ($p < 0.05$). No significant differences in shear bond strengths were found among silanization groups (group 2, group 3 and group 4) ($p > 0.05$). Even though mixed failure mode was mostly found in this study, cohesive failure in the resin cement was more noticeable than adhesive failure in each sample.

Discussion and Conclusion: Silanated surface treatment of lithium disilicate-reinforced glass ceramic significantly improved the shear bond strength between lithium disilicate-reinforced glass ceramic and resin cement, regardless of the post-silanization time intervals (10 minutes - 14 days) before bonded to resin cement.

Key words: Lithium disilicate-reinforced glass ceramic, Resin cement, Shear bond strength, Silane coupling agent