

ความแข็งแรงแบบยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอรโคเนีย เซรามิกส์ที่เตรียมผิวด้วยเมทัลแอตช์อีซีไพร์เมอร์ Adhesive Bond Strength between Resin Cements and Zirconia Ceramics with Metal Adhesive Primers

พนัสยา จตุรานนท์¹, ปาวิศุทธิ์ แก่นจันทร์², นภาพร อัจฉริยะพิทักษ์²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Phanassaya Jaturanont¹, Pavisuth Kanjantra², Napaporn Adchariyapitak²

¹Postgraduate Student in Master of Science Program, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

²Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม.ทันตสาร 2554; 32(2) : 53-70

CM Dent J 2011; 32(2) : 53-70

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์แอตช์อีซีฟ (รีไลเอ็กซ์ยูร้อย) และเรซินซีเมนต์ที่เชื่อมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอซ (พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์) กับเซอรโคเนียเซรามิกส์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยเมทัลแอตช์อีซีไพร์เมอร์ 2 ชนิด (อัลลอยด์ไพร์เมอร์และเมทัลเซอรโคเนียไพร์เมอร์) หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและเทอร์โมไซเคิล การศึกษาใช้ชิ้นทดสอบเซอรโคเนียเซรามิกส์ขนาด 15x15x2 มม.จำนวน 120 ชิ้น แบ่งกลุ่มการทดลองโดยการสุ่มตามการเตรียมพื้นผิวเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 40 ชิ้น กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ (NT) กลุ่มที่ 2 เตรียมพื้นผิวด้วยการทา

Abstract

The purpose of this study was to compare shear bond strength between self adhesive resin cement (Rely X™ U100) and resin cement with self-etch system (Panavia® F 2.0) to zirconia ceramics, treated with two metal adhesive primers (ALLOY PRIMER®, Metal/Zirconia Primer®) after water storage 24 hours and thermocycling. One hundred and twenty zirconia ceramic specimens (15x15x2 mm.) were used in this study, randomly divided into three groups of forty by type of surface treatment. Group 1 was a control group (no treatment-NT). Group 2 was

Corresponding Author:

ปาวิศุทธิ์ แก่นจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Pavisuth Kanjantra

Assistant Professor Dr., Department of Restorative Dentistry
and Periodontology, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.
Tel. 66-5394-4457 E-Mail: dnrti002@chiangmai.ac.th

อัลลอยด์ไพโรเมอร์ (AP) กลุ่มที่ 3 เตรียมพื้นผิวด้วย เมทัลเซอริโคเนียไพโรเมอร์ (MZ) แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 20 ชิ้น ยึดแท่งเรซินคอมโพสิต 2 แท่งบนชิ้นทดสอบเซอริโคเนียเซรามิกส์ชิ้นละ 2 จุดเรียงตามแนวเส้นทแยงมุมด้วยเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด (รีไลเอ็กซ์ยูร์รอยและพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์) แต่ละกลุ่มย่อยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้นงาน (20 ชิ้นทดสอบ) ตามชนิดของการเก็บชิ้นทดสอบ กลุ่มแรกนำไปแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 นำไปเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิกจำนวน 1000 รอบที่น้ำอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส นำชิ้นงานไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน ผลการศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์รีไลเอ็กซ์ยูร์รอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยอัลลอยด์ไพโรเมอร์ ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าเมทัลเซอริโคเนียไพโรเมอร์และกลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวใดๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่ากลุ่มเทอร์โมไซคลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 เซอริโคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำสุดทั้งหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและเทอร์โมไซคลิก สรุปผลการศึกษาพบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์โดยทั่วไปดีกว่ารีไลเอ็กซ์ยูร์รอย การใช้เมทัลแอดฮีซีฟไพโรเมอร์มีส่วนช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเซอริโคเนียเซรามิกส์กับเรซินซีเมนต์ ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอริโคเนียเซรามิกส์กับเรซินซีเมนต์ลดลง

คำสำคัญ : เซอริโคเนียเซรามิกส์ เรซินซีเมนต์ ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว

treated with ALLOY PRIMER®(AP), Group 3 with Metal/Zirconia Primer®(MZ). Each group was divided into two subgroups of twenty by type of resin cement (Rely X™ U100 and Panavia® F 2.0), luted two resin composite rods on a diagonal line of the zirconia ceramic specimens. Each group was then divided into two subgroups of ten (20 specimens) by storage type: either in water at 37°C for 24 hours or thermocycling for 1000 cycles at 5°C and 55°C. The shear bond strength of all test groups were tested by Instron® testing machine. The result of this study found that the mean of the shear bond strength of Panavia® F 2.0 was significantly higher than that of Rely X™ U100 ($p<0.01$). The mean of the shear bond strength of the ALLOY PRIMER® treated surface group was significantly higher than those of the Metal/Zirconia Primer® and the control group ($p<0.01$). The mean of the shear bond strength of the water storage group was significantly higher than that of the thermocycling group ($p<0.01$). The bonding potential of each control group after water storage and thermocycling was the lowest. In conclusion, the shear bond strength of Panavia® F 2.0 seems better than Rely X™ U100. Metal adhesive primers seem to promote the shear bond strength between zirconia ceramics and resin cements. Aging condition such as thermocycling process decreases the shear bond strength between zirconia ceramics and resin cements.

Keywords : zirconia ceramics, resin cements, shear bond strength

บทนำ

ปัจจุบันงานบูรณะทางทันตกรรมคำนึงถึงความสะดวกเพิ่มมากขึ้น โดยเลือกบูรณะด้วยครอบฟันเซรามิกล้วน (all-ceramic crowns) มากกว่าครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (porcelain fused-to-metal crown) เพราะชิ้นงานบูรณะ (restorations) ที่ได้มีความสวยงามมากกว่า การบูรณะด้วยครอบฟันเซรามิกล้วนจะประสบความสำเร็จและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขั้นตอนการยึดชิ้นงานบูรณะเซรามิกล้วนติดกับพื้นหลักมักเกิดพื้นผิวที่ยึดติดกัน 2 ส่วน ส่วนแรกคือพื้นผิวของตัวฟันกับเรซินซีเมนต์ (resin cements) อีกส่วนหนึ่งคือเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซรามิก (ceramics) ปัจจุบันเรซินซีเมนต์มีหลายรูปแบบและหลายประเภทและมีส่วนประกอบแตกต่างกันไป ถ้าแบ่งตามระบบการยึดติดแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบโททอลเอช (total-etch adhesive system) เช่น รีไลเอกซ์เออาร์ซี (Rely X™ ARC, 3M ESPE, USA) วาริโอลิงค์ทู (Variolink® II, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอช (self-etch adhesive system) เช่น พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ (Panavia® F 2.0, Kuraray, Japan) และเซลฟ์แอตช์เรซินซีเมนต์ (self adhesive resin cements) เช่น รีไลเอกซ์ยูร้อย (Rely X™ U100, 3M ESPE, USA) รีไลเอกซ์ยูนิเซม (Rely X™ Unicem, 3M ESPE, USA) มัลติลิงค์สปรีนท์ (Multilink® Sprint, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) แมกเซ็มอีลิท (MaxCem® Elite, Kerr, USA) ซึ่งเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดให้ค่าแรงยึดติดกับเซรามิกที่แตกต่างกัน⁽¹⁻⁴⁾ ก่อนการยึดชิ้นงานเซรามิกด้วยเรซินซีเมนต์ต้องปรับสภาพพื้นผิว (surface treatment) ด้วยวิธีการต่างๆ ตามลักษณะของเซรามิกแต่ละชนิด โดยเซรามิกแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามความไวต่อการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กัดพื้นผิว คือ ใช้กรดกัดได้ (acid sensitive) และต้านทานต่อการกัดด้วยกรด (acid resistance)⁽⁵⁻⁷⁾ เซรามิกที่ใช้กรดกัดได้ ได้แก่ แก้วเซรามิก (glass ceramics) และแก้วอินฟิลเตรตเซรามิก (glass infiltrated ceramics) มีงานวิจัยสนับสนุนการปรับ

สภาพพื้นผิวเซรามิกชนิดกรดกัดได้ เพื่อให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกกัดส่วนที่เป็นซิลิกา (silica) ออกบางส่วน ตามด้วยการทาไซเลน (silane) เพื่อให้เกิดการยึดติดทางเคมี (chemical bond) ให้ค่าแรงยึดติดที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ⁽⁷⁻¹⁰⁾ แต่การปรับสภาพแบบเดียวกันนี้ไม่สามารถใช้ได้กับเซรามิกกลุ่มที่ต้านทานต่อการกัดด้วยกรด เช่น อลูมินาเซรามิก (alumina ceramics) และเซอร์โคเนียเซรามิก (zirconia ceramics) เนื่องจากออลูมินาเซรามิกและเซอร์โคเนียเซรามิกไม่มีส่วนของซิลิกาเป็นองค์ประกอบ กรดไม่สามารถกัดพื้นผิวเซรามิกได้และไม่เกิดการยึดติดทางเคมีกับไซเลน⁽¹¹⁻¹³⁾ ปัจจุบันมีการใช้เซอร์โคเนียเซรามิกเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีความสวยงาม ไม่ทำอันตรายต่ออวัยวะปริทันต์ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ส่งผ่านความร้อนได้น้อยกว่าครอบฟันโลหะ จึงลดการเกิดอาการเสียวและการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้⁽¹⁴⁾ มีความแข็งแรงและมีความต้านทานต่อการแตกหักสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติทรานส์ฟอร์มเมชันฮาร์ดเทนนิ่ง (transformation toughening)⁽¹⁵⁾ จึงสามารถนำมาใช้เป็นครอบฟันและฟันเทียมติดแน่นทั้งฟันหน้าและฟันหลังได้ มีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพพื้นผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มการยึดติด ได้แก่ การเป่าทราย (airborne particle abrasion, sandblasting)⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ การใช้ซิลิกาเคลือบทับบนผิวเซรามิก (silica coating) ด้วยอุปกรณ์โรคาเทค (Rocatec®, 3M ESPE, USA) ตามด้วยทาไซเลน^(3,6,19-21) ทำให้เพิ่มค่าแรงยึดติดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ขบวนการเป่าทรายหรือใช้ซิลิกาเคลือบทับบนผิวเซรามิก ทันตแพทย์ต้องส่งชิ้นงานเซรามิกให้ห้องปฏิบัติการทันตกรรมปรับสภาพพื้นผิว หรือเสียค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเพื่อซื้ออุปกรณ์ข้างเก๊าอี ดังนั้นผู้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เมทัลแอตช์ซีฟไพรเมอร์ (metal adhesive primers) ที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย ซึ่งเดิมนำมาใช้ปรับสภาพผิวครอบฟันที่มีส่วนประกอบของโลหะ องค์ประกอบของเมทัลแอตช์ซีฟไพรเมอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก⁽²²⁾ คือ ส่วนเรซินโมโนเมอร์ (resin monomer) และตัวทำละลาย โดยเมทัลแอตช์ซีฟไพรเมอร์แต่ละชนิด แต่ละบริษัทมีกลุ่มทำงานที่

แตกต่างกันตามชนิดของเรซินโมโนเมอร์ที่ใช้ กลุ่มทำงานของเรซินโมโนเมอร์แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid derivative) กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่เป็นกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl, -COOH) ยึดด้วยพันธะเคมีกับโลหะผสมพื้นฐาน (predominantly base alloy) ในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ⁽²³⁾

2. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid derivative) กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่เป็นกลุ่มฟอสเฟต ยึดด้วยพันธะเคมีกับโลหะผสมพื้นฐานในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ

3. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กลุ่มไธโอน หรือ ไธอัล (thione or thiol group) กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นไธโอน (=S) สามารถเปลี่ยนเป็นไธอัล (-SH)⁽²⁴⁾ ได้โดยไธอัลสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะผสมมีตระกูล (noble alloy) ได้ด้วยกลุ่มทำงานเมอร์แคปแทน (mercaptan functional group)

4. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดไธโอฟอสฟอริก (thiophosphoric acid derivative) กลุ่มนี้มีกลุ่มทำงาน 2 แบบรวมอยู่ในสายโครงสร้างเดียวกัน คือ กลุ่มเมอร์แคปแทนในการสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะผสมมีตระกูล และกลุ่มฟอสเฟตที่สร้างพันธะเคมีกับออกไซด์ของโลหะผสมพื้นฐาน

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระหว่างเตรียมผิวโลหะด้วยเมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์ชนิดต่างๆ กับโลหะผสมพื้นฐาน⁽²⁵⁾ และโลหะผสมมีตระกูล^(26,27) พบว่าการใช้เมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์ให้ค่าแรงยึดติดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงได้มีผู้ริมนำเมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์มาใช้ในการเตรียมพื้นผิวของเซอรโคเนียเซรามิกส์ เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างเซอรโคเนียเซรามิกส์และเรซินซีเมนต์ ดังการศึกษาของ Lindgren และคณะ⁽²⁸⁾ แต่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้เมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์ในการปรับสภาพพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์นั้นมีน้อยและยังมีข้อถกเถียงกันอยู่ เนื่องจากบางการศึกษาให้ผลที่ดีในสภาวะที่แห้ง แต่บางการศึกษาก็กล่าวถึงปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลติก (hydrolytic) ของเมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์เมื่อนำไปแช่น้ำ⁽²⁹⁻³¹⁾ วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบค่า

กำลังแรงยึดเค้น (shear bond strength, SBS) ระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอรโคเนียเซรามิกส์ที่ปรับสภาพผิวด้วยเมทัลแอตตีฟไฟพรเมอร์ต่างชนิด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพิจารณาเลือกวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์ที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ซินเซอรโคเนียเซรามิกส์โรโบแคม (Robocam, Warszawa, Germany) จากห้องปฏิบัติการทันตกรรม ขนาด 15x15x2 มม. จำนวน 120 ชิ้น แบ่งชิ้นงานเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 40 ชิ้น ตามการเตรียมพื้นผิว กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (control) ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ (NT) กลุ่มที่ 2 ทาอัลลอยด์ไฟพรเมอร์ (ALLOY PRIMER® (AP), Kuraray, Japan) กลุ่มที่ 3 ทาเมทัลเซอรโคเนียไฟพรเมอร์ (Metal/Zirconia Primer®(MZ), Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ชิ้น ตามชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึดแท่งเรซินคอมโพสิตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. สูง 2 มม. 2 จุด ที่สร้างโดยใช้แบบหล่อโลหะไร้สนิม (stainless steel mold) ฐานเรียบ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร้อย และพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ โดยยึดเรียงขึ้นทดสอบ 2 แท่งตามแนวเส้นทแยงมุมห่างกัน 3 มม. ดังรูปที่ 1

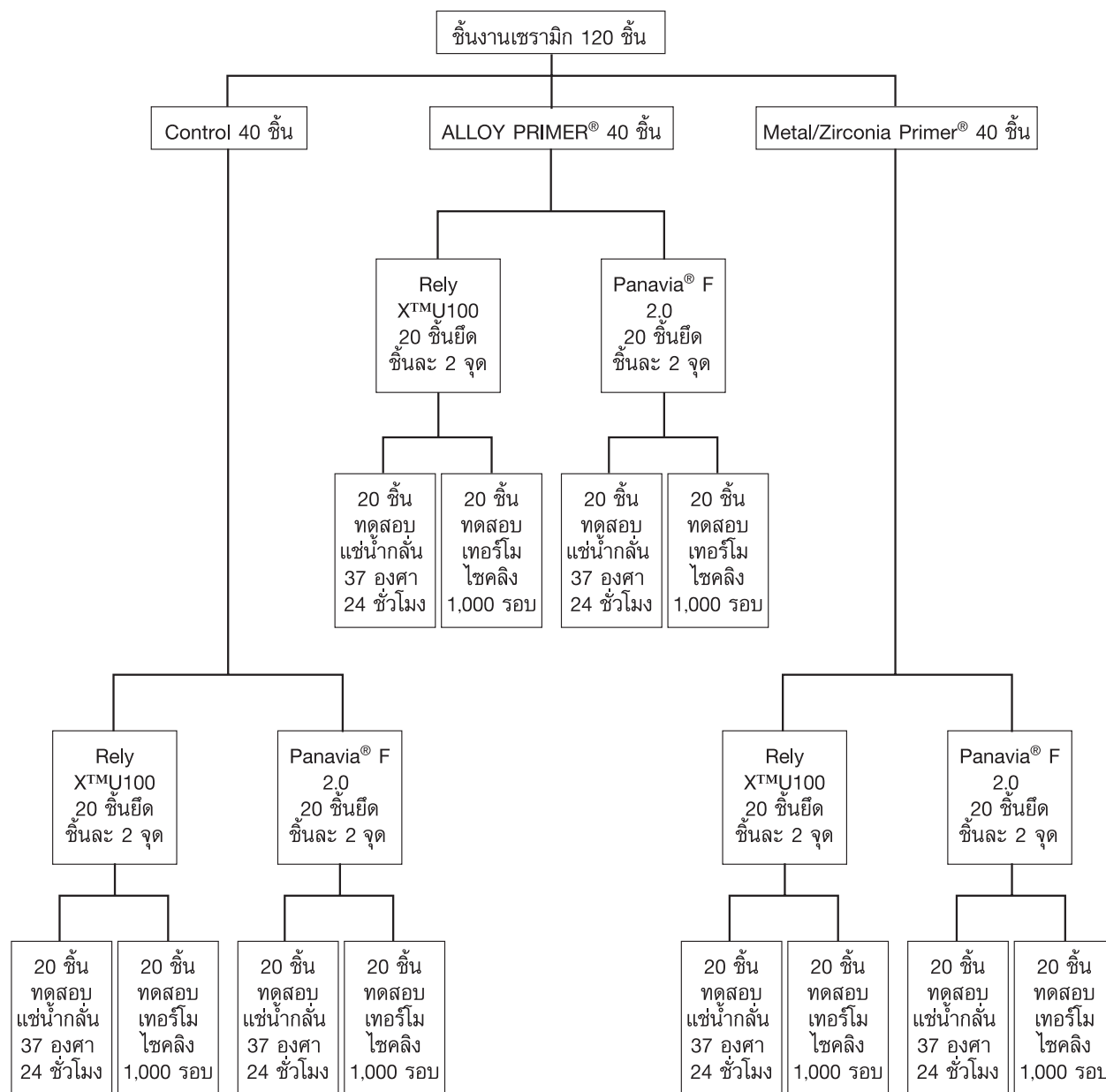


รูปที่ 1 การยึดติดแท่งเรซินคอมโพสิต 2 แท่งตามแนวเส้นทแยงมุมของชิ้นทดสอบเซอรโคเนียเซรามิกส์

Figure 1 Resin cement luted with two resin composite rods on a diagonal line of the zirconia ceramic specimens

ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงบลูเฟส (Bluephase, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) ด้านละ 20 วินาทีได้ชิ้นงานที่

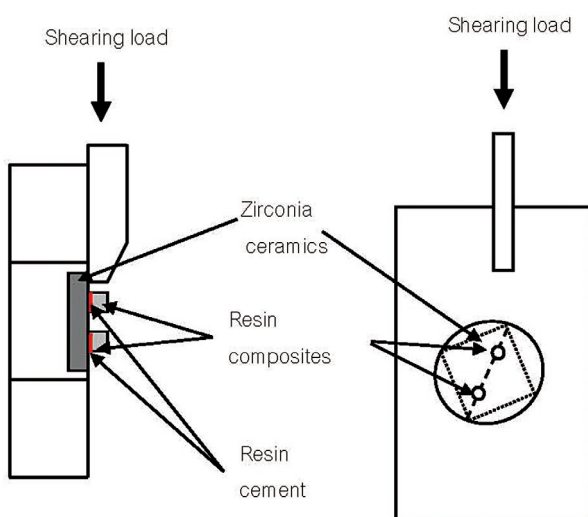
จะนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว จำนวน 240 ชิ้นงาน (n=240) ดังแผนภาพรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการแบ่งกลุ่มชิ้นงานเซรามิกส์ตามชนิดการเตรียมพื้นผิวและชนิดเรซินซีเมนต์

Figure 2 Diagram of test groups

นำชิ้นงานไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน (Instron® Universal Testing Machine, Instron 5560 Series, U.S.A.) หัวกดด้วยแรง 50 นิวตัน ความเร็วของหัวกดเท่ากับ 0.5 มม./นาที วางชิ้นงานให้หัวกดขึ้นทดสอบที่ละชิ้นในตำแหน่งดังรูปที่ 3 บันทึกค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้เรซินซีเมนต์หลุดออกจากเซรามิกส์เป็นหน่วยเมกะปาสคาล ($\text{Newton/mm}^2 = \text{MPa}$)



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงการทดสอบกำลังแรงเหนี่ยวบนชิ้นทดสอบ

Figure 3 Diagram of shear bond strength test on specimen

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการกดแรงเหนี่ยวไปส่องด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope, Olympus, UK) เพื่อตรวจดูลักษณะการหลุดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์ เป็นแบบแอตชีฟ (adhesive failure) โคฮีซีฟ (cohesive failure) หรือรวมกันทั้งสองแบบ (mixed failure) และศึกษาลักษณะพื้นผิวของเซอรโคเนียเซรามิกส์ที่เตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ หลังจากเรซินซีเมนต์หลุดออกจากเซรามิกส์ด้วยการส่องขึ้นทดสอบแต่ละกลุ่มโดยการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM, JEOL JSM-5910LV SEM, Tokyo, Japan)

นำค่ากำลังแรงเหนี่ยวที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการจำแนกความแปรปรวนแบบสามทาง (Three-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$) เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์แอตชีฟเรซินซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอซกับเซอรโคเนียเซรามิกส์ที่ปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและหลังขบวนการเทอร์โมไซคลิงว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม (Multiple comparisons) ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูเก้ (Tukey Multiple Comparison Test)

ผลการศึกษา

การทดสอบค่ากำลังแรงเหนี่ยว

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มทดลองทั้ง 12 กลุ่มและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าสูงสุดที่ได้คือ เซอรโคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ชนิดอัลลอยด์ไพรเมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์แช่น้ำ 24 ชั่วโมง ($20.20 \pm 1.38 \text{ MPa}$) ค่าต่ำสุดที่ได้คือ กลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ ยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร่อยหลังเทอร์โมไซคลิง ($4.67 \pm 0.73 \text{ MPa}$)

จากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ Three-Way ANOVA ดังตารางที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$) เนื่องจากค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าชนิดของเรซินซีเมนต์การปรับสภาพพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์แบบต่างๆ ความขึ้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว

การเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูเก้ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังแรงเหนี่ยวของแต่ละกลุ่มทดลองดังตารางที่ 3-5 พบว่าเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว (11.65 เมกะปาสคาล) ที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร่อย (10.92 เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของการปรับสภาพพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ชนิดอัลลอยด์ไพรเมอร์มีค่าสูงสุด คือเท่ากับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังแรงยึดเหนี่ยวกลุ่มทดลอง 12 กลุ่ม

Table 1 Means and standard deviations of shear bond strength of 12 groups

เรซินซีเมนต์	การเตรียมพื้นผิว	ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว (MPa)	
		แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	เทอร์โมไซคลิก 1,000 รอบ
Panavia F 2.0	NT	9.65 ^E ± 1.60	6.15 ^G ± 1.52
Panavia F 2.0	AP	20.20 ^A ± 1.38	12.16 ^D ± 1.55
Panavia F 2.0	MZ	12.52 ^D ± 1.52	9.19 ^E ± 0.87
Rely X U100	NT	6.75 ^G ± 0.79	4.67 ^H ± 0.73
Rely X U100	AP	18.52 ^B ± 1.55	11.88 ^D ± 1.18
Rely X U100	MZ	16.26 ^C ± 1.09	7.44 ^F ± 1.48

Values are means ± standard deviations. Group with the same upper case superscripts are not significantly different (p<0.01)

ตารางที่ 2 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวทางสถิติของปัจจัยต่างๆ

Table 2 Statistic test between mean shear bond strength of each factor

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Error	Error				
Corrected Model	5431.331	11	493.757	287.585	0.000
Intercept	30552.319	1	30552.319	17794.939	0.000
Surface_treatment	3157.764	2	1578.882	919.606	0.000
Resin_cement	31.680	1	31.680	18.452	0.000
TC	1748.338	1	1748.338	1018.304	0.000
Surface_treatment * resin_cement	102.889	2	51.445	29.964	0.000
Surface_treatment * TC	220.233	2	110.117	64.136	0.000
Resin_cement * TC	11.773	1	11.773	6.857	0.009
Surface_treatment * Resin_cement * TC	158.653	2	79.326	46.203	0.000
Error	391.456	228	1.717		
Total	36375.105	240			
Corrected Total	5822.786	239			

15.65 เมกะปาสคาล รองลงมา คือ ปรับสภาพพื้นผิวด้วย เมทัลแอตตีฟไฟเบอร์เมอริซินด์เมทัลเซอริโคเนียไฟเบอร์คือ เท่ากับ 11.35 เมกะปาสคาล และกลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพ พื้นผิวใดๆ ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดต่ำสุดคือเท่ากับ 6.81 เมกะปาสคาล โดยค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กลุ่มที่ผ่านการเทอร์โมไซคลิกมีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว

ที่ต่ำกว่ากลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง คือ 8.58 เมกะปาสคาล และ 13.99 เมกะปาสคาล ตามลำดับ กลุ่มแช่น้ำให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ผ่านการเทอร์โมไซคลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ขั้นตอนทดสอบที่ผ่านการกดแรงเหนี่ยวแล้วนำไปส่องด้วย กล้องสเตอริโอไมโครสโคปเพื่อตรวจ ดูลักษณะการหลุด ของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอริโคเนียเซรามิกส์ได้ผล

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ของปัจจัยเรซินซีเมนต์

Table 3 Show the mean difference of resin cements factor

(I) Resin cement (MPa)	(J) Resin cement (MPa)	Mean Difference (I-J)	SE.	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
					Lower Bound	Upper Bound
Panavia F 2.0 11.65	Rely X U100 10.92	0.73	0.169	0.000	0.393	1.060

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ของปัจจัยการเตรียมพื้นผิว

Table 4 Show the mean difference of surface treatment factor

(I) Surface treatment (MPa)	(J) Surface Treatment (MPa)	Mean Difference (I-J)	SE.	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
					Lower Bound	Upper Bound
AP 15.65	NT 6.81	8.84	0.207	0.000	8.476	9.292
	MZ 11.35	4.30	0.207	0.000	3.927	4.744
MZ 11.35	NT 6.81	4.54	0.207	0.000	4.140	4.957

ตารางที่ 5 แสดงการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ของปัจจัยการแช่น้ำและเทอร์โมไซเคิล

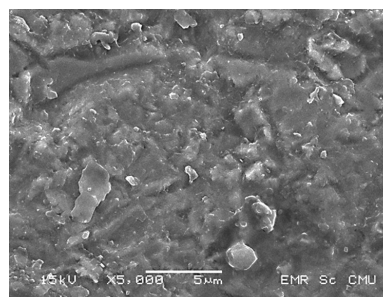
Table 5 Show the mean difference of water storage and thermocycling

(I) Water storage 24 hrs. (MPa)	(J) Thermo-cycling (MPa)	Mean Difference (I-J)	SE.	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
					Lower Bound	Upper Bound
13.99	8.58	5.41	0.169	0.000	5.065	5.731

ดังตารางที่ 6 ส่วนมากเป็นการหลุดแบบแอตชีฟและไม่มีกลุ่มใดเป็นโคอีชีฟเลย

ผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของเซรามิกเคลือบเซรามิกที่เตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ หลังจากเรซินซีเมนต์หลุดออกจากเซรามิกหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4-9 ที่ขนาดกำลังขยาย 5000 เท่า



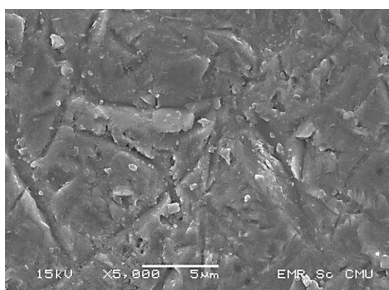
รูปที่ 4 กลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์

Figure 4 Non treatment surface group luted with Panavia® F 2.0

ตารางที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์ของลักษณะการหลุดหลังการทดสอบแรงเฉือน

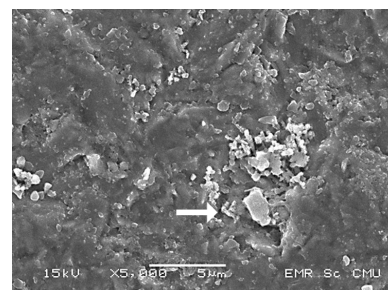
Table 6 Show the percentage of failure mode after shear testing

Percentage of failure mode after shear testing						
Failure Mode Test groups	Adhesive		Cohesive		Mixed	
	หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	หลังเทอริโม ไซคลิง 1,000 รอบ	หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	หลังเทอริโม ไซคลิง 1,000 รอบ	หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	หลังเทอริโม ไซคลิง 1,000 รอบ
Panavia F 2.0 NT	100%	100%				
Panavia F 2.0 AP	75%	50%			25%	50%
Panavia F 2.0 MZ	85%	35%			15%	65%
Rely X U100 NT	100%					
Rely X U100 AP	65%	50%			35%	50%
Rely X U100 MZ	80%	40%			20%	60%



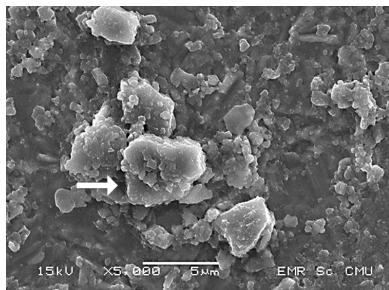
รูปที่ 5 กลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ รีไลเอกซ์ยูร้อย

Figure 5 Non treatment surface group luted with Rely X™U100



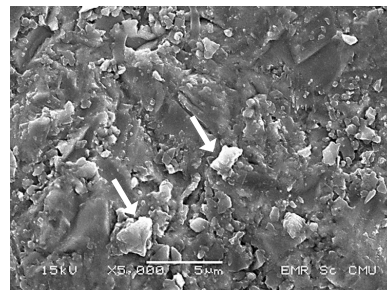
รูปที่ 6 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยอัลลอยด์ไพรมเมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ (ลูกศรชี้เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวเซอโรโคเนียเซรามิกส์หลังการทดสอบ)

Figure 6 Zirconia ceramics specimen treated with ALLOY PRIMER® and luted with Panavia® F 2.0 (Arrow points at remaining cements on zirconia ceramic surface after shear test.)



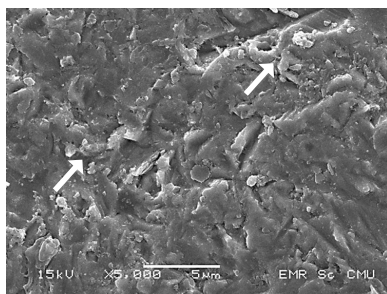
รูปที่ 7 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยอัลลอยด์ไพรม์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีเลย์เอกซ์ยูร้อย (ลูกศรชี้เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์หลังการทดสอบ)

Figure 7 Zirconia ceramic specimen treated with ALLOY PRIMER® and luted with Rely X™ U100. (Arrow points at remaining cements on zirconia ceramic surface after shear test.)



รูปที่ 9 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลเซอร์โคเนียไพรม์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีเลย์เอกซ์ยูร้อย (ลูกศรชี้เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์หลังการทดสอบ)

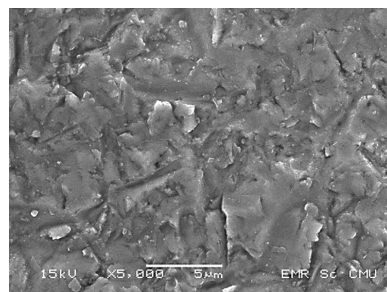
Figure 9 Zirconia ceramic specimen treated with Metal/Zirconia Primer® and luted with Rely X™ U100. (Arrows point at remaining cements on zirconia ceramic surface after shear test.)



รูปที่ 8 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลเซอร์โคเนียไพรม์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ (ลูกศรชี้เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์หลังการทดสอบ)

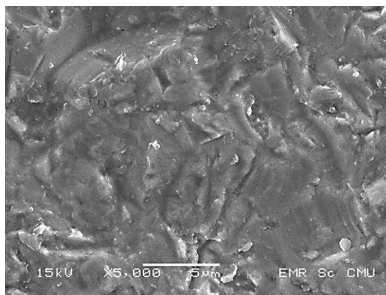
Figure 8 Zirconia ceramic specimen treated with Metal/Zirconia Primer® and luted with Panavia® F 2.0. (Arrows point at remaining cements on zirconia ceramic surface after shear test.)

ภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่เตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ หลังจากเรซินซีเมนต์หลุดออกจากเซรามิกส์หลังเทอร์โมไซเคิล 1000 รอบ แสดงดังรูปที่ 10-15 ที่ขนาดกำลังขยาย 5000 เท่า

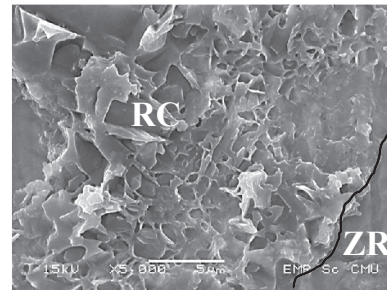


รูปที่ 10 กลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ หลังผ่านการเทอร์โมไซเคิล

Figure 10 Non treatment surface group luted with Panavia® F 2.0 after thermocycling.

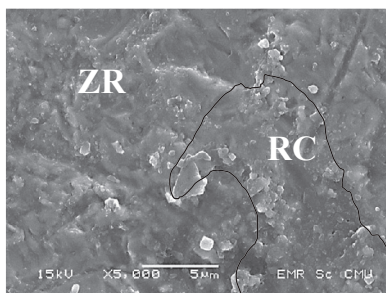


รูปที่ 11 กลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ ยึดด้วยเรซิน-ซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อย หลังผ่านการเทอร์โมไซคลิง
Figure 11 Non treatment surface group luted with Rely X™ U100 after thermocycling.



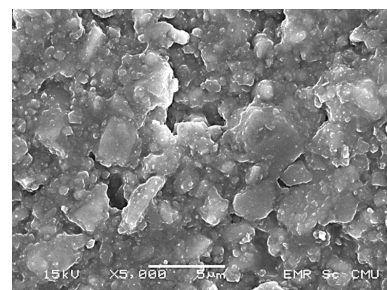
รูปที่ 13 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยอัลลอยด์ไพร์เมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อย หลังผ่านการเทอร์โมไซคลิง (ZR = พื้นผิวเซอร์โคเนีย, RC = เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่หลังการทดสอบ)

Figure 13 Zirconia ceramic specimen treated with ALLOY PRIMER® and luted with Rely X™ U100 after thermocycling. (ZR = zirconia ceramic surface, RC = remaining resin cement after shear test.)



รูปที่ 12 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยอัลลอยด์ไพร์เมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ หลังผ่านการเทอร์โมไซคลิง (ZR = พื้นผิวเซอร์โคเนีย, RC = เรซินซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่หลังการทดสอบ)

Figure 12 Zirconia ceramic specimen treated with ALLOY PRIMER® and luted with Panavia® F 2.0 after thermocycling. (ZR = zirconia ceramic surface, RC = remaining resin cements after shear test.)



รูปที่ 14 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลแอตซีฟไพร์เมอร์ชนิดเมทัลเซอร์โคเนียไพร์เมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ หลังผ่านการเทอร์โมไซคลิง พบลักษณะของเรซินซีเมนต์ที่ครอบคลุมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์

Figure 14 Zirconia ceramic specimen treated with Metal/Zirconia Primer® and luted with Panavia® F 2.0 after thermocycling, remaining resin cement found on zirconia ceramic surface.



รูปที่ 15 กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลเซอร์โคเนียไพรเมอร์ยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อย หลังจากการเทอร์โมไซคลิง พบลักษณะของเรซินซีเมนต์ที่ครอบคลุมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์

Figure 15 Zirconia ceramic specimen treated with Metal/Zirconia Primer[®] and luted with Rely XTM U100 after thermo-cycling, remaining resin cement found on zirconia ceramic surface.

บทวิจารณ์

การยึดติดครอบฟันเซอร์โคเนียเซรามิกส์กับตัวฟันหลักด้วยเรซินซีเมนต์ ให้ผลที่ดีกว่าซีเมนต์ทั่วไปหลายประการ เช่น ทำให้เกิดความแนบของขอบ ป้องกันการรั่วซึมตามขอบ (microleakage) และเพิ่มการยึดอยู่ (retention) ของครอบฟันได้^(1,32,33) การใช้เรซินซีเมนต์ชนิดไดเมทาครีเลตซีเมนต์พวกบิสฟีนอลอีเอ็มเอ ที่ไม่มีกลุ่มทำงานพวกฟอสเฟตโมโนเมอร์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์นั้น ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับใช้เรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟตโมโนเมอร์ และเมื่อผ่านการเทอร์โมไซคลิงมักเกิดการหลุดของซีเมนต์ก่อนนำไปทดสอบเป็นส่วนใหญ่⁽¹⁶⁾ มีหลายการศึกษาที่แนะนำให้เป่าทรายและใช้เรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟตโมโนเมอร์ในการยึดเซอร์โคเนียเซรามิกส์^(14,16,17,34) เนื่องจากให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟตและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางคลินิก คือ อยู่ระหว่าง 10 -13 เมกกะปาสกาล⁽³⁵⁾ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์และรีไลเอกซ์ยูร้อยเป็นชนิดที่มีฟอสเฟตโมโนเมอร์ทั้งคู่ ส่วนของพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์นั้นจะ

ประกอบด้วยบิสโพลีเอทอกซีเลตเรซิน (bispolyethoxylated resin) ปริมาณร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก โดยมีกลุ่มทำงานคือ เอ็มดีพี (MDP:10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate)⁽³⁶⁾ ส่วนรีไลเอกซ์ยูร้อยประกอบด้วยเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่มีกลุ่มทำงาน เป็นกรดฟอสฟอริก⁽³⁷⁾ (methacrylate monomers containing phosphoric acid groups) ซึ่งกลุ่มทำงานทั้งสองตัวนี้มีความแตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวทั้งกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและกลุ่มที่ผ่านเทอร์โมไซคลิง การใช้เรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อยให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่ากำลังแรงดัด (flexural strength) ของเรซินซีเมนต์ ขนาดและปริมาณของวัสดุอุดแทรกในเรซินซีเมนต์ส่งผลต่อค่าแรงยึดติด โดยวัสดุอุดแทรกที่มีขนาดใหญ่อาจไปขัดขวางไม่ให้เรซินเมทริกซ์แทรกซึมเข้าไปในพื้นที่ซอกซอระ ทำให้ค่าแรงยึดติดลดลง⁽³⁸⁾ และเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อยมักดูดน้ำมากกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูง ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของเรซินซีเมนต์ ทำให้ค่าแรงยึดติดลดลง⁽³⁹⁾ จากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบขนาดของวัสดุอุดแทรกในเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิด พบว่าเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อยมีขนาดของวัสดุอุดแทรกโดยเฉลี่ย 12.5 ไมโครเมตรและมีปริมาณวัสดุอุดแทรกร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก⁽⁴⁰⁾ เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มีขนาดของวัสดุอุดแทรกระหว่าง 0.04 ถึง 0.9 ไมโครเมตร และมีปริมาณวัสดุอุดแทรกร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก⁽³⁶⁾ ขนาดของวัสดุอุดแทรกที่ใหญ่ของเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร้อย อาจไปขัดขวางการแทรกซึมของเรซินเมทริกซ์ร่วมกับมีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อย ทำให้ดูดน้ำสูงเกิดการสลาย (degradation) ของตัวเรซินซีเมนต์ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ สำหรับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวหลังเทอร์โมไซคลิงเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ไม่ว่าจะเป็นเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์หรือรีไลเอกซ์ยูร้อยก็ให้ค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของตัวเรซินซีเมนต์เอง⁽⁴¹⁾ หรือเกิดพลาสติไซส์เซชัน (plasticization effect) ของ

เรซินเมทริกซ์เมื่อมีน้ำเข้าแทรก โดยน้ำที่มีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างอิสระระดับนาโน (nano-size free-volume space) ระหว่างสายโพลีเมอร์หรือเข้าไปแทรกรอบๆ กลุ่มทำงานที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้ความเสถียรต่ออุณหภูมิ (thermal stability) ลดลง⁽⁴²⁻⁴⁴⁾ เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ (mechanical properties) ของเรซินซีเมนต์⁽⁴⁵⁾ นอกจากนี้เมื่อมีการดูดซึมน้ำ (water sorption) ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายโดยน้ำและอุณหภูมิ (hydrothermal degradation) ซึ่งเกิดจากขบวนการเทอร์โมไฮโดลิ่ง ทำให้ชั้นเรซินซีเมนต์เกิดการอ่อนตัวลงและมีการกระจายแรงบริเวณรอยต่อ (interface) ระหว่างเรซินซีเมนต์และพื้นผิวของเซอโรโคเนียเซรามิกส์เปลี่ยนแปลงไป แม้มีแรงมากระทำเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดการหลุดได้^(39,41) ซึ่งสอดคล้องกับรูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดว่าหลังการผ่านเทอร์โมไฮโดลิ่งจะพบลักษณะการแตกหักเป็นแบบรวมที่มากขึ้น

นอกจากการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่เหมาะสมแล้ว การยึดติดที่ดีจะเกิดขึ้นได้ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของตัวเซรามิกส์ด้วย เซอโรโคเนียเซรามิกส์ที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ เลยจะมีความเฉื่อย (inert) มีพลังงานพื้นผิวและการไหลแผ่ต่ำ^(46,47) สำหรับการใช้เมทัลแอตชีฟไพรเมอร์จากการทดลองนี้ กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวในกรณีแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและกลุ่มที่ผ่านการเทอร์โมไฮโดลิ่ง ผลตรวจวัดลักษณะการหลุดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอโรโคเนียเซรามิกส์ที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ พบว่าลักษณะการหลุดบางส่วนเป็นแบบผสม ไม่เป็นแบบแอตชีฟทั้งหมดดังที่พบในกลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ แสดงว่าเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์มีส่วนช่วยเพิ่มการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอโรโคเนียเซรามิกส์ โดยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ ชนิดอัลลอยด์ไพรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่ากลุ่มที่ใช้เมทัลเซอโรโคเนียไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอมดีพีซึ่งเป็นส่วนประกอบในอัลลอยด์ไพรเมอร์ สามารถยึดติดโดยตรงได้กับเซอโรโคเนียออกไซด์และเกิดพันธะทางเคมีที่ต้านทานต่อการถูกน้ำได้ (water-resistant bond)⁽¹⁶⁾ ต่างจากเมทัลเซอโรโคเนียไพร-

เมอร์ ที่มีกลุ่มทำงานที่เกิดพันธะทางเคมีกับเซอโรโคเนียออกไซด์ แต่ก็เป็นพันธะที่ไม่คงทนและมีลักษณะที่ชอบน้ำ (hydrophilic) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yang และคณะ⁽⁴⁸⁾ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงยึดติดระหว่างการเตรียมพื้นผิวเซอโรโคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ 3 ชนิด (เมทัลเซอโรโคเนียไพรเมอร์ อัลลอยด์ไพรเมอร์และเคลียร์ฟิลเซรามิกส์ไพรเมอร์ (Clearfil Ceramic Primer®, Kuraray, Japan) และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ หลังแช่น้ำ 3 วัน และ 150 วัน พบว่าหลังแช่น้ำ 150 วัน กลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไพรเมอร์และเคลียร์ฟิลเซรามิกส์ไพรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวและกลุ่มเมทัลเซอโรโคเนียไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีหลายการศึกษากล่าวหาว่าเอมดีพีสามารถยึดติดโดยตรงได้กับออกไซด์ของโลหะ ได้แก่ โครเมียม (chromium) นิกเกิล (nickel) อลูมิเนียมไทเทเนียม (titanium) และเซอโรโคเนีย⁽⁴⁹⁾ การยึดติดทางเคมีระหว่างเอมดีพีกับเซอโรโคเนียเซรามิกส์อาจมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl) ในเอมดีพีและกลุ่มไฮดรอกซิลที่พื้นผิวเซอโรโคเนียเซรามิกส์⁽⁵⁰⁾

ส่วนประกอบของอัลลอยด์ไพรเมอร์นอกจากประกอบด้วยเอมดีพียังมีวีบีเอทีดีที (VBATDT = VTD: 6-(4-vinylbenzyl-n-propyl)amino-1,3,5-triazine-2,4-dithione) มีรายงานว่า วีบีเอทีดีทีอาจจะยับยั้งการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เอมีน (benzoyl peroxide-amine initiator system) เช่น ปานาเวียอีลิบเอ็ด (Panavia® 21, Kuraray, Japan) และปานาเวียเอฟสองจุดศูนย์^(51,52) ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดไม่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Yun และคณะ⁽⁵³⁾ ที่พบว่ากลุ่มที่ใช้เมทัลแอตชีฟไพรเมอร์ที่มีเพียงวีบีเอทีดีทีอย่างเดียวให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ไพรเมอร์ที่มีเอมดีพีเป็นส่วนประกอบ จากการศึกษารังนี้พบว่าการแตกหักที่เกิดขึ้นในกลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไพรเมอร์มักเป็นแบบแอตชีฟมีแบบผสมบ้างเล็กน้อย แสดงว่าวีบีเอทีดีทีอาจมีผลต่อการโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์เพียงเล็กน้อย เพราะการแตกหักที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นแบบแอตชีฟ แสดงว่าจุดอ่อนไม่ได้อยู่ที่ตัวเรซินซีเมนต์ การที่เรซินซีเมนต์และอัลลอยด์ไพรเมอร์มี

ส่วนผสมของเอ็มดีพีเป็นส่วนสำคัญทำให้แรงยึดติดกับเซอรโคเนียเซรามิกส์ดีขึ้น เห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนในกลุ่มอัลลอยด์ไฟรเมอร์สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจสรุปได้ว่าวีบีเอทีดีทีเพียงอย่างเดียวไม่ช่วยให้ค่าแรงยึดติดดีขึ้น แต่ถ้ามีทั้งเอ็มดีพีและวีบีเอทีดีทีค่าแรงยึดติดที่ได้สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ de Souza และคณะ⁽⁵⁴⁾

เอ็มดีพีที่มีในพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์และอัลลอยด์ไฟรเมอร์นั้นประกอบด้วย 3 องค์ประกอบที่ทำงานแตกต่างกัน คือ เมต้าครีลิล (methacryloyl) กลุ่มเดซิลหรืออัลคิล (decyl or alkyl groups) และ กลุ่มไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (dihydrogen phosphate)⁽⁵⁵⁾ เมต้าครีลิลเป็นสิ่งจำเป็นทำให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันร่วมกันระหว่างเอ็มดีพีโมโนเมอร์กับเรซินเมทริกซ์ของเรซินซีเมนต์ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นส่วนที่ทำให้เกิดพันธะทางเคมีกับออกไซด์ของโลหะ และกลุ่มเดซิลซึ่งเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำจะเป็นตัวป้องกันการแทรกซึมของน้ำบริเวณรอยต่อ (adhesive interface) ลดการเกิดไฮโดรไลซิสหรือเกิดช่องว่าง สอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่ากลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอรโคเนียเซรามิกส์ด้วยอัลลอยด์ไฟรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนที่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ถึงแม้จะผ่านการเทอร์โมไซเคิลมาแล้วก็ตาม

เมทัลเซอรโคเนียไฟรเมอร์ประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ กรดฟอสโฟนิก (phosphonic acid : $-P(=O)(OH)_2$) กรดฟอสโฟนิกมีประสิทธิภาพทำให้ค่ากำลังแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์และเซอรโคเนียเซรามิกส์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การยึดติดทางเคมีระหว่างกรดฟอสโฟนิกกับเซอรโคเนียเซรามิกส์อาจเกิดจากการยึดติดด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) ระหว่างกรดฟอสโฟนิกกับออกไซด์ของโลหะ⁽⁵⁶⁾

กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลเซอรโคเนียไฟรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไฟรเมอร์ อาจเนื่องจากกลุ่มทำงานที่มีความเป็นกรดในเมทัลเซอรโคเนียไฟรเมอร์ทำปฏิกิริยากับเทอร์เชียรีเอมีน (tertiary amine) ที่เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ในเรซินซีเมนต์ เกิดตะกอนสีเหลือง (yellowish salts) ไปยับยั้งปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ได้⁽⁵⁷⁾ ทำให้พบ

ว่าภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มที่ใช้เมทัลเซอรโคเนียไฟรเมอร์มีการหลุดของซีเมนต์แบบรวมมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความสามารถในการยึดติดของไฟรเมอร์แต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อความเป็นขั้วของโมโนเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยกรดฟอสโฟนิกมีลักษณะที่เป็นขั้วและชอบน้ำ อาจดูดน้ำแม้เกิดการโพลีเมอร์ไรเซชันไปแล้ว ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดลดลงได้ ซึ่งแตกต่างจากอัลลอยด์ไฟรเมอร์ที่มีกลุ่มสเปซเซอร์ (spacer group) เป็นสายคาร์บอนที่อิ่มตัว (saturated carbon chain) ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ ส่วนนี้เองเป็นตัวกั้นไม่ให้โมเลกุลน้ำเข้าไประหว่างพันธะที่เกิดขึ้นและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้⁽⁵⁸⁾

บทสรุป

จากขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า เซอรโคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนที่ต่ำที่สุดทั้งหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและหลังเทอร์โมไซเคิล เซอรโคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์โดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนที่ดีกว่าวิโรเอกซ์ยูร้อย

การใช้เมทัลแอตตีฟไฟรเมอร์มีส่วนช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอรโคเนียเซรามิกส์ โดยกลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไฟรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนที่ดีกว่าเมทัลเซอรโคเนียไฟรเมอร์ ความขึ้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนลดลง

การยึดติดที่ดีจะเกิดขึ้นได้ขึ้นอยู่กับทางเลือกชนิดของเมทัลแอตตีฟไฟรเมอร์และเรซินซีเมนต์ที่เหมาะสมกับเซอรโคเนียเซรามิกส์ เมทัลแอตตีฟไฟรเมอร์ในการศึกษานี้มีประสิทธิภาพทำให้เกิดการยึดติดที่ดีและคงทนระหว่างชั้นออกไซด์บนพื้นผิวของเซอรโคเนียเซรามิกส์กับเรซินซีเมนต์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้านี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณ

อาจารย์ทันตแพทย์เทพรัตน์ เขมาลีลากุล ที่ได้กรุณาแนะนำการใช้เครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน ขอขอบคุณบริษัท 3M ESPE, Acteon และ Unity ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุบางส่วนเพื่อทำการศึกษา ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารอ้างอิง

- Dérand P, Dérand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 2000; 13: 131-135.
- Wolfart M, Lehmann F, Wolfart S, Kern M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater* 2007; 23: 45-50.
- Ernst CP, Cohnen U, Stender E, Willershausen B. In vitro retentive strength of zirconium oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 551-558.
- Nakamura S, Yoshida K, Kamada K, Atsuta M. Bonding between resin luting cement and glass infiltrated alumina-reinforced ceramics with silane coupling agent. *J Oral Rehabil* 2004; 31: 785-789.
- Valandro LF, Leite FP, Scotti R, Bottino MA, Neisser MP. Effect of ceramic surface treatment on the microtensile bond strength between a resin cement and an alumina-based ceramic. *J Adhes Dent* 2004; 6: 327-332.
- Bottino MA, Valandro LF, Scotti R, Buso L. Effect of surface treatments on the resin bond to zirconium-based ceramic. *Int J Prosthodont* 2005; 18: 60-65.
- Jardel V, Degrange M, Picard B, Derrien G. Correlation of topography to bond strength of etched ceramic. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 59-64.
- Söderholm KJ, Shang SW. Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. *J Dent Res* 1993; 72: 1050-1054.
- Della Bona A, Anusavice KJ, Shen C. Microtensile strength of composite bonded to hot-pressed ceramics. *J Adhes Dent* 2000; 2: 305-313.
- Debnath S, Wundera SL, McCool JJ, Baran GR. Silane treatment effects on glass/resin interfacial shear strengths. *Dent Mater* 2003; 19: 441-448.
- Madani M, Chu FC, McDonald AV, Smales RJ. Effects of surface treatments on shear bond strengths between a resin cement and an alumina core. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 644-647.
- Özcan M, Alkumru HN, Gemalmaz D. The effect of surface treatment on the shear bond strength of luting cement to a glass-infiltrated alumina ceramic. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 335-339.
- Qualtrough AJ, Piddock V. Dental ceramics: what's new? *Dent Update* 2002; 29: 25-33.
- Pilathadka S, Vahalova D. Contemporary all-ceramic systems, Part-2. *Acta Medica* 2007; 50: 105-107.
- Kelly JR. Dental Ceramics: current thinking and trends. *Dent Clin North Am* 2004; 48: 513-530.
- Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 1998; 14: 64-71.
- Wegner SM, Kern M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent* 2000; 2: 139-147.
- Wegner SM, Gerdes W, Kern M. Effect of different artificial aging conditions on ceramic-composite bond strength. *Int J Prosthodont* 2002; 15: 267-272.

19. Özcan, M. The use of chairside silica coating for different dental applications: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2002; 87: 469-472.
20. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. The shear bond strength between luting cements and zirconia ceramics after two pre-treatments. *Oper Dent* 2005; 30: 382-388.
21. Tsuo Y, Yoshida K, Atsuta M. Effects of alumina-blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *Dent Mater* 2006 ; 25: 669-674.
22. Sirimongkolwattana S. Metal adhesive primer. *CM Dent J* 2005; 26: 73-82.
23. Yoshida K, Taira Y, Matsumura H, Atsuta M. Effect of adhesive primers on bonding a prosthetic composite resin to metals. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 357-362.
24. Matsumura H, Shimoe S, Nagano K, Atsuta M. Effect of noble metal conditioners on bonding between prosthetic composite material and silver-palladium-copper-gold alloy. *J Prosthet Dent* 1999 ; 81: 710-714.
25. Sarafianou A, Seimenis I, Papadopoulos T. Effectiveness of different adhesive primers on the bond strength between an indirect composite resin and a base metal alloy. *J Prosthet Dent* 2008; 99: 377-387.
26. Watanabe I, Matsumura H, Atsuta M. Effect of two metal primers on adhesive bonding with type IV gold alloys. *J Prosthet Dent* 1995; 73: 299-303.
27. Silikas N, Wincott PL, Vaughan D, Watts DC, Eliades G. Surface characterization of precious alloys treated with thione metal primers. *Dent Mater* 2007; 23: 665-673.
28. Lindgren J, Smeds J, Sjögren G. Effect of surface treatments and aging in water on bond strength to zirconia. *Oper Dent* 2008; 33: 675-681.
29. Yoshida K, Atsuta M. Effects of adhesive primers for noble metals on shear bond strengths of resin cements. *J Dent* 1997; 25: 53-58.
30. Yanagida H, Matsumura H, Taira Y, Atsuta M, Shimoe S. Adhesive bonding of composite material to cast titanium with varying surface preparations. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 121-126.
31. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res part B: Appl Biomater* 2006; 77: 28-33.
32. Edelhoff D, Özcan M. To what extent does the longevity of fixed dental prostheses depend on the function of the cement? Working group 4 materials: cementation. *Clin Oral Implants Res* 2007; 18: 193-204.
33. Burke FJ, Fleming GJ, Nathanson D, Marquis PM. Are adhesive technologies needed to support ceramics? An assessment of the current evidence. *J Adhes Dent* 2002; 4: 7-22.
34. Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent* 2004; 91: 356-362.
35. Thurmond JW, Barkmeier WW, Wildwender TM. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 355-359.
36. Kuraray Co., Ltd. *Panavia Technical Information*. Report No. US089, Osaka, Japan; 1999.
37. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting materials to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004; 20: 963-971.

38. Phark JH, Duarte S Jr, Blatz M, Sadan A. An in vitro evaluation of the long-term resin bond to a new densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic surface. *J Prosthet Dent* 2009; 101: 29-38.
39. Mese A, Burrow MF, Tyas MJ. Sorption and solubility of luting cements in different solutions. *Dent Mater* 2008; 27: 702-709.
40. Technical product profile Rely X™ Unicem. Available from URL <http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?66666660Zjcf6lVs6EVs666iFPCOrrrrQ-> (2007, March)
41. Söderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res* 1990; 69: 1812-1816.
42. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 268-274.
43. Mair LH. Surface permeability and degradation of dental composites resulting from oral temperature changes. *Dent Mater* 1989; 5: 247-255.
44. Musto P, Ragosta G, Scarinza G, Mascia L. Probing the molecular interactions in the diffusion of water through epoxy and epoxy-bismaleimide networks. *J Polym Sci Part B: Polym Phys* 2002; 40: 922-938.
45. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK. Fracture toughness of water-aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 1995; 11: 201-207.
46. Özcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 2003; 19: 725-731.
47. Matinlinna JP, Lassila LV, Vallittu PK. Pilot evaluation of resin composite cement adhesion to zirconia using a novel silane system. *Acta Odontol Scand* 2007; 65: 44-51.
48. Yang B, Barloi A, Kern M. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. *Dent Mater* 2010; 26: 44-50.
49. Polat ZS, Tacir IH, Eskimez S, Celik MY. Retentive force of three fiber-reinforced resin composite posts and a zirconia post cemented with two adhesive luting agents: in vitro study. *Dent Mater J* 2007; 26: 672-676.
50. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res part B: Appl Biomater* 2006; 77: 28-33.
51. Kern M, Thompson VP. Durability of resin bonds to pure titanium. *J Prosthodont* 1995; 4: 16-22.
52. Koizumi H, Furuchi M, Tanoue N, Yanagida H, Yoneyama T, Matsumura H. Bond strength to primed Ti-6Al-7Nb alloy of two acrylic resin adhesives. *Dent Mater J* 2006; 25: 286-290.
53. Yun JY, Ha SR, Lee JB, Kim SH. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. *Dent Mater* 2010; 26: 650-658.
54. de Souza GM, Silva NR, Paulillo LA, De Goes MF, Rekow ED, Thompson VP. Bond strength to high-crystalline content zirconia after different surface treatments. *J Biomed Mater Res part B: Appl Biomater* 2010; 93: 318-323.
55. Taira Y, Yanagida H, Matsumura H, Yoshida K, Atsuta M, Suzuki S. Adhesive bonding of titanium with a thione-phosphate dual functional primer and self-curing luting agents. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 456-460.
56. Ikemura K, Endo T. A review of our development of dental adhesives - effects of radical polymerization initiators and adhesive

- monomers on adhesion. *Dent Mater J* 2010; 29: 109-121.
57. Ikemura K, Tay FR, Nishiyama N, Pashley DH, Endo T. Design of new phosphonic acid monomers for dental adhesives - synthesis of (meth) acryloxyalkyl 3-phosphonopropionates and evaluation of their adhesion-promoting functions. *Dent Mater* 2006; 25: 566-575.
58. Van Landuyt KL, Yoshida Y, Hirata I, Snauwaert J, De Munck J, Okazaki M, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance. *J Dent Res* 2008; 87: 757-761.