

บทวิทยากร

ประสิทธิภาพของฟังก์ชันอลมोनอเมอร์ต่างชนิดในเซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์ต่อกำลังแรงยึดบนโลหะผสมพื้นฐาน

Efficiency of Different Functional Monomers in Self-adhesive Resin Cements on Base Metal Alloy Bond Strengths

อวิรุทธิ์ คล้ายศิริ^{1,2}, ตุลย์ ศรีอัมพร³, นิยม อารังค่อนันต์สกุล⁴, นันทวรรณ กระจำงตา¹

Awiruth Klaisiri^{1,2}, Tool Sriamporn³, Niyom Thamrongananskul⁴, Nantawan Krajangta¹

¹สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, ประเทศไทย

¹Division of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University, Pathumthani, Thailand

²แผนกทันตกรรมผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ, ปทุมธานี, ประเทศไทย

²Out patient dental department, Thammasat University Hospital, Pathumthani, Thailand

³ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, ประเทศไทย

³Department of Prosthodontics, College of Dental Medicine, Rangsit University, Pathumthani, Thailand

⁴ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

⁴Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ที่มีสารฟังก์ชันอลมोनอเมอร์ต่างชนิด ใช้เซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ (แม็กเซ็มอีลิท พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส และจีเซ็ม) ร่วมกับสารไพรเมอร์ 1 ผลิตภัณฑ์ (เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส) เตรียมแท่งโลหะผสมพื้นฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรหนา 4 มิลลิเมตร ผึงลงในยิปซัมทางทันตกรรม จากนั้นนำไปพ่นด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอนเมตร เป็นเวลา 10 วินาที ที่ความดัน 3 บาร์ ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ทำการแบ่งกลุ่มแบบสุ่มออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 10 ชิ้นทดสอบตามเรซินซีเมนต์ กลุ่มที่ 1 แม็กเซ็มอีลิท (MC) กลุ่มที่ 2 พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส (SA) กลุ่มที่ 3 จีเซ็ม (GC) กลุ่มที่ 4 เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส+แม็กเซ็มอีลิท (P+MC) กลุ่มที่ 5 เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส+พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส (P+SA) กลุ่มที่ 6 เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส+จีเซ็ม (P+GC) ใช้แม่แบบซิลิโคนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4 มิลลิเมตร วางบนผิวหน้าของชิ้นงาน นำเรซินซีเมนต์ฉีดลงในแม่แบบ ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที แกะแม่แบบออกและนำชิ้นงานแช่ในน้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิกที่ความเร็วหัวกดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ความแปรปรวนสองทาง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทุกคู่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 1-6 คือ 8.15 ± 1.26 14.74 ± 2.51 15.08 ± 1.47 20.83 ± 1.63 21.57 ± 1.93 และ 20.69 ± 2.41 เมกะพาสกาลตามลำดับ ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 4-6 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 1-3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 1 มีค่าต่ำสุด โดยแตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า เซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์ที่มี MPD หรือ 4-MET จะให้ค่าการยึดติดที่สูงเมื่อยึดติดกับโลหะผสมพื้นฐาน ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์จะให้ค่าที่สูงขึ้นเมื่อทำการปรับสภาพผิวโลหะผสมพื้นฐานด้วยสารไพรเมอร์ก่อนการยึดติดด้วยเซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์

คำสำคัญ: กำลังแรงยึด, เซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์, ฟังก์ชันอลมोनอเมอร์, โลหะผสมพื้นฐาน

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the efficiency of different functional monomers in three self-adhesive resin cements on bond strength to base metal alloy. Three self-adhesive resin cements [Maxcem elite (MC), Panavia SA luting plus (SA), G-Cem (GC)] and one primer [Clearfil ceramic primer plus (P)] were used in this study. Sixty base metal alloy discs (10 mm diameter, 4 mm thick) were prepared and embedded in dental gypsum. All specimens were sandblasted with 50 μ m of alumina for 10 seconds under 3 bar pressure and 10 mm distance. The samples were randomly divided into six groups (N=10 each) according to different resin cements and either with or without primer application: Group1 (MC), Group2 (SA), Group3 (GC), Group4 (P+MC), Group5 (P+SA) and Group6 (P+GC). A silicone template (2 mm diameter, 4 mm high) was placed on the top of base metal alloy surface. The resin cement was filled into the mold and then light-cured for 40 seconds. All bonded specimens were kept in distilled water at 37°C for 24 hours and subjected to shear bond strength measurement using a universal testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. The data were statistically analyzed using two-way ANOVA and Tukey's test ($\alpha=0.05$). The shear bond strengths of Group 1 to Group 6 were 8.15 ± 1.26 , 14.74 ± 2.51 , 15.08 ± 1.47 , 20.83 ± 1.63 , 21.57 ± 1.93 and 20.69 ± 2.41 MPa, respectively. The bond strengths of Group 4-6 were significantly higher than those of Group 1-3 ($p<0.05$). However, Group 1 showed the lowest bond strength ($p<0.05$) and significantly different from Group 2 and 3. In conclusion, MDP/4MET-containing self-adhesive resin cement showed increased bonding values in base metal alloy interface. The shear bond strength of self-adhesive resin cement was also positively affected by prior application of primer.

Keywords: Bond strength, Self-adhesive resin cement, Functional monomer, Base metal alloy

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

อวิรุทธิ์ คล้ายศิริ สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 ถ.พหลโยธิน อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย โทรศัพท์: 02-9869051 โทรสาร: 02-9869205 อีเมล: Dentton@staff.tu.ac.th

Correspondence to:

Awiruth Klaisiri Division of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University 99 M.18 Klongluang, Pathumthani, 12120, Thailand. Tel: 02-9869051 Fax: 02-9869205 E-mail: Dentton@staff.tu.ac.th

บทนำ

การประสมผลสำเร็จของการบูรณะฟันทางอ้อม (Indirect restoration) เช่น ครอบฟัน (Crown) สะพานฟัน (Bridge) ออนเลย์ (Onlay) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ความชำนาญของทันตแพทย์ ความร่วมมือในการรักษาของผู้ป่วย ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการบูรณะฟัน ชนิดของซีเมนต์ทางทันตกรรม (Dental cement) ตลอดจนขั้นตอนการยึดติดชิ้นงาน¹ แม้ว่าซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional cement)

เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement) จะเป็นที่ยอมรับใช้กันมาอย่างยาวนานในทางทันตกรรม แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จทางคลินิก เช่น มีการละลายตัวสูง มีค่าความแข็งแรงต่ำ และมีความสวยงามน้อย เป็นต้น² จากข้อจำกัดของซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมจึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงเป็นเรซินซีเมนต์ (Resin cement) ขึ้นมา โดยเรซินซีเมนต์จะมีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น มีค่าความ

แข็งแรงสูง มีการละลายตัวต่ำ มีการยึดติดที่ดี และมีความสวยงามสูง³ ดังนั้นเรซินซีเมนต์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้งานบูรณะฟันทางอ้อมประสบความสำเร็จในทางคลินิกที่ดี

เรซินซีเมนต์แบ่งได้ออกเป็น 3 ระบบ⁴ คือ 1. เอตช์แอนด์รินส์เรซินซีเมนต์ (Etch and rinse resin cement) 2. เซลฟ์เอตช์เรซินซีเมนต์ (Self-etch resin cement) และ 3. เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (Self-adhesive resin cement) โดยเซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เป็นซีเมนต์ระบบที่ไม่ต้องมีการปรับสภาพผิวฟัน สามารถใช้ยึดชิ้นงานได้ทันทีเนื่องจากในซีเมนต์มีสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (Functional monomer) อยู่ จึงทำให้สามารถปรับสภาพผิวฟันด้วยตัวซีเมนต์เองได้ ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน ลดความผิดพลาดทางเทคนิคในการยึดติดชิ้นงาน (Technique sensitivity) ทำให้ทันตแพทย์สามารถใช้งานได้อย่างง่ายขึ้น รวมทั้งมีแรงยึดติดที่เพียงพอต่อการใช้งานในช่องปาก⁴ แม้ว่าจะให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำกว่าอีก 2 ระบบของเรซินซีเมนต์ที่กล่าวมาข้างต้นก็ตาม^{4,5}

เซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์เป็นสารสำคัญทำให้เกิดการยึดติดทั้งแบบเชิงกลระดับจุลภาค (Micro-mechanical bond) และการยึดติดทางเคมี (Chemical bond) โดยสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์เหล่านี้จะมีกลุ่มฟอสเฟต (Phosphate group) หรือกลุ่มคาร์บอกซิเลต (Carboxylate group) เป็นหมู่ฟังก์ชันทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีกับโครงสร้างของฟัน^{6,7} และวัสดุฟันธรรมชาติที่มีชั้นออกไซด์ (Oxide layer) เช่น เซอร์โคเนีย (Zirconia)^{8,9} โลหะผสมพื้นฐาน (Base metal alloy)¹⁰⁻¹⁴ เป็นต้น มีรายงานหลายการศึกษาพบว่าสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่อยู่ในเซลล์แอดฮีซีฟ

เรซินซีเมนต์สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับโลหะผสมพื้นฐาน¹⁵⁻¹⁷ โดยสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ดังกล่าวมีสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilicity) ทำให้มีผิวสัมผัสที่ดี รวมทั้งเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะผสมพื้นฐานได้¹⁵ นอกจากนี้การทาสารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (Phosphate functional monomer primer) ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์จะให้ค่าแรงยึดติดที่สูงขึ้น¹⁷ โดยมีรายงานการศึกษาที่พบฟอสเฟตที่ผิวโลหะภายหลังการทาสารไพรเมอร์ ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการยึดติดของเรซินซีเมนต์ได้¹⁸ เพื่อเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของเซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ชนิดต่าง ๆ กับโลหะผสมพื้นฐาน รวมไปถึงการใช้สารไพรเมอร์ในการปรับสภาพผิวโลหะผสมพื้นฐานก่อนการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ จึงเป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยมีคำถามการวิจัยคือ เซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน ร่วมกับการใช้สารไพรเมอร์ จะมีประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวโลหะผสมพื้นฐานต่างกันหรือไม่ และมีสมมติฐานการวิจัยคือ การเตรียมผิวโลหะผสมพื้นฐานเพื่อการยึดติดโดยการทาด้วยสารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน และการใช้เซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน จะมีประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวโลหะผสมพื้นฐานไม่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์และวิธีการ

เรซินซีเมนต์และสารไพรเมอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เรซินซีเมนต์และสารไพรเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Resin cements and primer used in this study

Material	Composition
Maxcem elite (Kerr Corporation, California, USA) Shade: Clear Lot: 7056081	GPDM, methacrylate ester monomers, proprietary self-curing redox activator, camphorquinone, fluoroaluminosilicate glass filler, barium glass filler, silica, activators, stabilizers
Panavia SA luting plus (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) Shade: Translucent Lot: 4C0173	10-MDP, Bis-GMA, TEGDMA, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate dl-camphorquinone, benzoyl peroxide, initiator, silanated barium glass filler, silanated colloidal silica, accelerators, pigments, surface treated sodium fluoride
G-cem (GC Corporation, Tokyo, Japan) Shade: Translucent Lot: 1905072	4-MET, phosphoric acid ester monomer, UDMA, water, dimethacrylate, silica powder, stabilizers, initiator, glass filler, calcium hydroxide, pigments
Clearfil ceramic primer plus (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) Lot: 9G0048	Ethanol, 10-MDP, 3-trimethoxysilylpropyl methacrylate

Abbreviations: GPDM; glycerol phosphate dimethacrylate, 10-MDP; 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, Bis-GMA; bisphenol A-glycidyl methacrylate, TEGDMA; triethylene glycol dimethacrylate, 4-MET; 4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid, UDMA; urethane dimethacrylate

การเตรียมชิ้นงานโลหะผสมพื้นฐาน

ชิ้นงานโลหะผสมพื้นฐานจำนวน 60 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (Millimetre) และสูง 4 มิลลิเมตร เตรียมโดยเด็นทัลอาร์ตแล็บ ประเทศไทย (Dental art lab, Bangkok, Thailand) โดยมีส่วนประกอบของโลหะผสมพื้นฐานดังนี้ เหล็ก (Iron) ซิลิกอน (Silicon) และคาร์บอน (Carbon) น้อยกว่าร้อยละ 3 แบเรียม (Barium) ร้อยละ 1.8 อะลูมิเนียม (Aluminium) ร้อยละ 2 โมลิบดีนัม (Molybdenum) ร้อยละ 9 โครเมียม (Chromium) ร้อยละ 15 และนิกเกิล (Nickel) ร้อยละ 72 นำโลหะผสมพื้นฐานฝังลงในท่อพีวีซีแล้วยึดด้วยยิปซัมทางทันตกรรมชนิดที่ 4 (Type 4 dental gypsum) โดยให้ชิ้นโลหะผสมพื้นฐานสูงจากผิวของยิปซัมไม่เกิน 1 มิลลิเมตร¹⁹ จากนั้นนำชิ้นงานไปขัดผิวหน้าด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide) ที่ความหยาบ 600 กริต (Grit) (3M Wetordry abrasive sheet, 3M, Minnesota, USA) ภายใต้น้ำหล่อเลี้ยงด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ (Nano 2000 grinder-polisher with a FEMTO 1000 polishing head, Pace Technologies, Arizona, USA) ใช้เวลาขัด 2 นาทีต่อชิ้นงาน โดยให้มีผิวหน้าโลหะเรียบเสมอยิปซัมโมลด์ จากนั้นนำชิ้นงานไปพ่นด้วยอนุภาคอะลูมินา (Alumina) ขนาด 50 ไมโครเมตร (Micrometre) เป็นเวลา 10 วินาที ที่ความดัน 3 บาร์ (Bar) ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมโลหะผสมพื้นฐานสำหรับการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคในทุกชิ้นงาน จากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic cleaner VI, Yoshida dental trade distribution Co., Tokyo, Japan) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแบ่งชิ้นงานออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ตามผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ และการใช้สารไพรเมอร์ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์แม็กเซ็มอีลิต (MC)

กลุ่มที่ 2 เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส (SA)

กลุ่มที่ 3 เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์จีเซ็ม (GC)

กลุ่มที่ 4 สารไพรเมอร์ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส +เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์แม็กเซ็มอีลิต (P+MC)

กลุ่มที่ 5 สารไพรเมอร์ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส +เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส (P+SA)

กลุ่มที่ 6 สารไพรเมอร์ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส +เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์จีเซ็ม (P+GC)

การเตรียมขึ้นทดสอบ

กลุ่มที่ 1-3: นำแม่แบบซิลิโคน (Silicone mold) ทิบบาง (Elite HD, Zhermack, Badia Polesine, Italy) ที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4 มิลลิเมตร วางลงบนตำแหน่งกึ่งกลาง

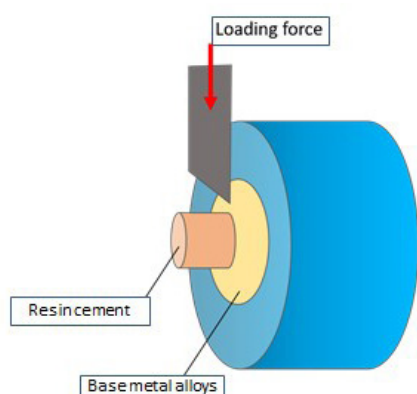
ผิวหน้าของโลหะผสมพื้นฐาน จากนั้นฉีดเรซินซีเมนต์ลงในแม่แบบ ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที เพื่อให้เกิดการบ่มตัวด้วยเครื่องฉายแสง (Elipar Freelight 2 LED curing light, 3M ESPE, Minnesota, USA) ที่ความเข้มแสง 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Milliwatt/cm²) โดยให้ปลายท่อนำแสงตั้งฉากและแนบชิดกับผิวหน้าของแม่แบบ โดยเรซินซีเมนต์ที่ใช้ทุกผลิตภัณฑ์เป็นชนิดที่มีสีใส (Translucent) เพื่อให้แสงผ่านได้ จากนั้นค่อย ๆ แกะแม่แบบออกด้วยความระมัดระวัง ฉายแสงซ้ำอีกครั้งเป็นเวลา 40 วินาที ทิ้งไว้อีก 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) อย่างสมบูรณ์

กลุ่มที่ 4-6: ใช้พู่กันไมโครบรัช (Microbrush) ขนาดเล็ก (Applicator Tips, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) ชุบเคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัสแล้วทาที่ผิวของโลหะผสมพื้นฐาน ให้ทั่วทั้งผิวหน้าของโลหะ แล้วใช้พู่กันไมโครบรัชตามใหม่ซับสารไพรเมอร์ส่วนเกินออก จากนั้นเป่าด้วยลมจากทริปปิเลไซริง (Triple syringe) ที่ปราศจากละอองน้ำและน้ำมัน ด้วยแรงดัน 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Pound/inch²) ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร นาน 5 วินาที จนสารไพรเมอร์บนผิวหน้าโลหะแห้งสนิท จากนั้นนำแม่แบบซิลิโคนที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4 มิลลิเมตร วางลงบนตำแหน่งกึ่งกลางผิวหน้าของโลหะผสมพื้นฐาน จากนั้นฉีดเรซินซีเมนต์ลงในแม่แบบ ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที เพื่อให้เกิดการบ่มตัว โดยให้ปลายท่อนำแสงตั้งฉากและแนบชิดกับผิวหน้าของแม่แบบ จากนั้นค่อย ๆ แกะแม่แบบออกด้วยความระมัดระวัง ฉายแสงซ้ำอีกครั้งเป็นเวลา 40 วินาที ทิ้งไว้อีก 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์

นำชิ้นทดสอบในทุกกลุ่มแช่ในน้ำกลั่น โดยเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator; Humanlab instrument Co., Suwon, Korea) ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบค่ากำลังแรงยึดเฉือน (Shear bond strength test)

นำชิ้นทดสอบยึดเข้ากับอุปกรณ์เพื่อทดสอบกำลังแรงยึดเฉือน โดยให้แนวระนาบของปลายมีดที่จะใช้ทดสอบแรงเฉือน (Shearing blade) ขนานกับรอยต่อระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ และสัมผัสกับบริเวณที่จะทำการทดสอบ (รูปที่ 1) ทำการทดสอบกำลังแรงยึดเฉือนระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิก (Universal testing machine; AGS-X 500N, Shimadzu corporation, Kyoto, Japan) ที่ความเร็วของหัวกด (Crosshead speed) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณค่ากำลังแรงยึดเฉือนโดยนำแรงเฉือนสูงสุดหารด้วยพื้นที่ของเรซินซีเมนต์ที่สัมผัสกับโลหะผสมพื้นฐาน ซึ่งค่าที่ได้มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (Megapascal, MPa)



รูปที่ 1 ภาพแผนผังการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว
Figure 1 Schematic of shear bond strength test

การศึกษารูปแบบความล้มเหลว (Mode of failure)

การศึกษารูปแบบความล้มเหลวภายหลังการแตกหัก โดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope; ML 9300, Meiji Techno Co. Ltd., Saitama, Japan) กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อศึกษารูปแบบความล้มเหลวของแรงยึดระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ สามารถแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. การยึดไม่อยู่ (Adhesive failure) เกิดความล้มเหลวระหว่างรอยต่อของโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ เมื่อดูบนผิวโลหะผสมพื้นฐานจะไม่พบเรซินซีเมนต์หลงเหลืออยู่เลย (โดยมีพื้นที่ของการยึดไม่อยู่ร้อยละ 80 ขึ้นไป)
2. การเชื่อมแน่นล้มเหลว (Cohesive failure) เกิดความล้มเหลวในเนื้อวัสดุเรซินซีเมนต์ เมื่อดูบนผิวโลหะผสมพื้นฐานจะพบเรซินซีเมนต์อยู่ทั้งหมด (โดยมีพื้นที่ของการเชื่อมแน่นล้มเหลวร้อยละ 80 ขึ้นไป)
3. การล้มเหลวแบบผสม (Mixed failure) เกิดความล้มเหลวทั้งแบบการยึดไม่อยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว เมื่อดูผิว

ตารางที่ 2 ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละรูปแบบความล้มเหลว

Table 2 Mean shear bond strength, standard deviation, and percentage of failure mode

Group	Mean bond strength and standard deviation	Mode of failure (%)		
		Adhesive	Mixed	Cohesive
1. (MC)	8.15±1.26 ^A	100	0	0
2. (SA)	14.74±2.51 ^B	100	0	0
3. (GC)	15.08±1.47 ^B	100	0	0
4. (P+MC)	20.83±1.63 ^C	80	20	0
5. (P+SA)	21.57±1.93 ^C	70	30	0
6. (P+GC)	20.69±2.41 ^C	80	20	0

The value with the same superscript letters indicates no statistically significant difference

โลหะผสมพื้นฐานจะพบเรซินซีเมนต์ติดบนผิวโลหะผสมพื้นฐานอยู่เป็นหย่อม ๆ

สถิติที่ใช้ทดสอบ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ความแปรปรวนสองทาง (Two-way analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey's multiple comparisons) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา

การทดลองนี้ไม่พบการแตกหักของชิ้นงานก่อนการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว (Prematurely failed specimen) ในทุกกลุ่มการทดสอบ

ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย (Mean shear bond strengths) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviations) แสดงไว้ในตารางที่ 2 การวิเคราะห์ทางสถิติพบอิทธิพลของการทาสารไพรเมอร์ต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเซลฟ์แอตทิงซ์เรซินซีเมนต์ที่ใช้กับผิวโลหะผสมพื้นฐาน และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแต่ละกลุ่มพบว่า ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มที่ 4-6 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 1-3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกลุ่ม 4-6 มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และพบว่ากลุ่มที่ 1 มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

รูปแบบความล้มเหลวที่พบภายหลังจากการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ (ตารางที่ 2) โดยพบว่ากลุ่มการทดสอบที่ไม่ได้ใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตทา ก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะพบการล้มเหลวแบบยึดไม่อยู่ร้อยละ 100 และพบว่ากลุ่มที่ใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตทา ก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะพบการล้มเหลวแบบยึดไม่อยู่ร้อยละ 70-80 และแบบผสมร้อยละ 20-30

บทวิจารณ์

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การใช้สารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันเตรียมผิวโลหะผสมพื้นฐานเพื่อการยึดติด รวมไปถึงการใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ที่มีสารฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ต่างชนิดมีประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวโลหะผสมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งไว้

การเตรียมพื้นผิวของโลหะผสมพื้นฐานเพื่อการยึดติดสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ 1. เตรียมพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค 2. เตรียมพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี โดยการเตรียมพื้นผิวเพื่อการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคโดยการเป่าผงอะลูมินาจะทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวของโลหะผสมพื้นฐาน เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) และเพิ่มการไหลแผ่ (Wettability) ของเรซินซีเมนต์ ทำให้สามารถเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคและการยึดติดทางเคมีที่ระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะผสมพื้นฐานได้^{20,21} Shafiei และคณะ¹⁷ แนะนำให้ใช้อุณหภูมิขนาด 50 ไมโครเมตร ที่ความดัน 3 บาร์ เป็นเวลา 10 วินาที ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ในการเตรียมพื้นผิวเพื่อการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคของโลหะผสมพื้นฐานจากการศึกษาของ Shafiei และคณะ¹⁷ และ Sarafianou และคณะ²² พบว่าการพ่นอนุภาคอะลูมินาเพื่อให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวโลหะผสมพื้นฐาน ซึ่งเป็นการส่งเสริมการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคจะสามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมพื้นฐานได้

ชั้นออกไซด์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโลหะผสมพื้นฐานในการเกิดการยึดติดทางเคมีกับสารที่มีหมู่ฟอสเฟต/คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชัน¹⁰⁻¹⁴ เช่น สารเคลียร์ฟิลเซรามิกไพรเมอร์พลัส สารยึดติดแบบยูนิเวอร์ซอล (Universal adhesive) หรือเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ เป็นต้น โดยเมื่อทาสารที่มีหมู่ฟอสเฟต/คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชันลงบนผิวของโลหะผสมพื้นฐาน ปลายข้างที่มีหมู่ฟอสเฟต/คาร์บอกซิเลตจะเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์ของโลหะผสมพื้นฐาน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นเมทาโครเลตที่มีคาร์บอนพันธะคู่ (C=C) จะเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวเป็นพอลิเมอร์กับสารก่อพอลิเมอร์ได้

เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของสารที่มีหมู่ฟอสเฟต/คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชันรวมอยู่ในส่วนผสมของเรซินซีเมนต์⁴ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์คือ 1. แม็กซีเอ็มอีลีต มีสารกลีเซอรอลฟอสเฟตไดเมทาโครเลตหรือจีพีดีเอ็ม (Glycerol phosphate dimethacrylate, GPDM) ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน 2. พานาเวียเอสเอลูตติงพลัส มีสารเท็น-เมทาโครโลอิลออกไซด์ซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟตหรือเอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate,

MDP) ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน 3. จีเซ็ม มีกรดโพรเมทาโครโลอิลออกซีเอทิลไตรเมลลิติกแอโนไฮโดรด์หรือโพรเมต (4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid, 4-MET) ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชันและมีเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid ester) ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันร่วมด้วย โดยพบว่าค่ากำลังแรงยึดของแม็กซีเอ็มอีลีตมีค่าต่ำกว่าพานาเวียเอสเอลูตติงพลัสและจีเซ็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทำการยึดติดกับโลหะผสมพื้นฐาน เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างโมเลกุลของจีพีดีเอ็มพบว่าหมู่สเปซเซอร์ (Spacer) ที่สั้นกว่าเอ็มดีพีและโพรเมต อาจส่งผลทำให้ความคงทน (Durability) ของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะผสมพื้นฐานมีค่าต่ำได้ นอกจากนี้จีพีดีเอ็มยังมีสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilicity) ที่ค่อนข้างสูงกว่าสารที่มีหมู่ฟังก์ชันตัวอื่น ๆ และมีความเสถียรของการเกิดการยึดติดกับชั้นออกไซด์ที่ค่อนข้างต่ำกว่าสารที่มีหมู่ฟังก์ชันตัวอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน²³⁻²⁶ ยิ่งไปกว่านั้นได้มีการศึกษาถึงสมบัติอื่น ๆ ของเรซินซีเมนต์โดย Zorzin และคณะ²⁷ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแม็กซีเอ็มอีลีตมีค่าต่ำถึง 3.9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถเกิดความเป็นกลางได้อย่างเพียงพอ จึงส่งผลต่อสมบัติของเรซินซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferracane และคณะ²⁸ พบว่าการมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ จะทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติที่ชอบน้ำ เป็นสาเหตุของการดูดน้ำและการบวมตัวของเรซินซีเมนต์ได้ ยิ่งไปกว่านั้น Go และคณะ²⁹ พบว่าเมื่อนำชิ้นทดสอบของแม็กซีเอ็มอีลีตไปผ่านการเร่งอายุ (Aging) ด้วยวิธีเทอร์โมไซคลิง (Thermocycling) 5000 รอบ จะมีอัตราการสูญเสียเนื้อเรซินซีเมนต์ไปร้อยละ 90 จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้แม็กซีเอ็มอีลีตมีค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่าพานาเวียเอสเอลูตติงพลัสและจีเซ็มอย่างมีนัยสำคัญ

ค่ากำลังแรงยึดของพานาเวียเอสเอลูตติงพลัสและจีเซ็มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าแม็กซีเอ็มอีลีตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากพานาเวียเอสเอลูตติงพลัสมีสารเอ็มดีพีซึ่งปลายข้างหนึ่งมีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน ทำให้สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์บนผิวโลหะผสมพื้นฐานได้^{12,13,30} และปลายอีกข้างหนึ่งเป็นเมทาโครเลตที่มีคาร์บอนพันธะคู่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับสารก่อพอลิเมอร์ได้ โดยจะเกิดพอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-link polymerization) เพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของเรซินซีเมนต์ได้อีกด้วย¹⁷ ยิ่งไปกว่านั้นสารเอ็มดีพีที่มีหมู่สเปซเซอร์ที่ยาว (Long chain spacer) ทำให้มีความคงทนของการยึดติดที่สูง^{23,31} จึงส่งผลทำให้พานาเวียเอสเอลูตติงพลัสมีค่ากำลังแรงยึดที่สูง ในขณะที่จีเซ็มมี 4-MET ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชันและมีเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริกซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็น

หมู่ฟังก์ชัน 4-META (4-Methacryloxyethyl trimellitate anhydride) เป็นสารมอนอเมอร์ตัวแรกที่สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์บนผิวโลหะผสมพื้นฐานได้¹⁴ โดยเมื่อ 4-META ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับน้ำจะเกิดเป็น 4-MET ที่สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์ได้³² มีรายงานการศึกษามากมายพบว่า 4-META/4-MET สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์บนผิวโลหะผสมพื้นฐานได้^{10,11,14,32} จึงส่งผลทำให้จึงเชื่อมั่นในค่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมพื้นฐานที่สูงเช่นกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เมื่อทาสารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันก่อนการยึดด้วยเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์จะทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมพื้นฐานมีค่าสูงขึ้นในทุกผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kapoor และคณะ³³ โดยพบว่าสารไพรเมอร์ปลายข้างที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันจะเกิดการยึดติดทางเคมีกับชั้นออกไซด์ของโลหะผสมพื้นฐาน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นเมทาโครเลตที่มีคาร์บอนพันธะคู่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้นสารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันจะช่วยเพิ่มการไหลแผ่ของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์บนผิวโลหะผสมพื้นฐานได้อีกด้วย จากเหตุผลข้างต้นทั้ง 2 ประการ จึงทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมพื้นฐานมีค่าสูงขึ้นในทุกผลิตภัณฑ์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์จากการศึกษาของ Shafiei และคณะ¹⁷ กลับพบว่าการใช้สารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันทาาก่อนการยึดติดด้วยซีเมนต์ไม่มีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ทาสารไพรเมอร์ก่อนการยึดติด เนื่องจากซีเมนต์มีปริมาณวัสดุอุดแทรกที่ต่ำ ทำให้เรซินซีเมนต์มีความหนืดต่ำ จึงสามารถไหลแผ่บนผิวโลหะผสมพื้นฐานได้เป็นอย่างดี

รูปแบบความล้มเหลวที่พบภายหลังจากการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตทาาก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะพบการล้มเหลวแบบแบบยึดไม่อยู่ร้อยละ 100 และพบว่ากลุ่มที่ใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตทาาก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะพบการล้มเหลวแบบยึดไม่อยู่ร้อยละ 70-80 และแบบผสมร้อยละ 20-30 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shafiei และคณะ¹⁷ ที่รายงานว่า การใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตทาาก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์จะพบรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมที่เพิ่มขึ้น

ข้อจำกัดของงานวิจัยในครั้งนี้คือการกระตุ้นให้เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสงเป็นหลัก แม้ว่าเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์จะเป็นวัสดุที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ด้วยการบ่มตัวสองรูปแบบ (Dual-cured resin

cement) แต่ก็มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นของวัสดุภายหลังการฉายแสง³⁴ อันอาจส่งผลให้เกิดความสมบูรณ์ที่ขอบของชิ้นงานที่ดีขึ้นภายหลังการยึดติดได้³⁵ อย่างไรก็ตาม การศึกษาต่อไปในอนาคตควรออกแบบงานวิจัยในการกระตุ้นให้เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีเป็นหลัก เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานทางคลินิกในการยึดติดกับโลหะผสมพื้นฐาน

บทสรุป

เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของสารเอมีดีฟหรือโพรเมตให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวกับโลหะผสมพื้นฐานที่สูงกว่าเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีส่วนประกอบของสารเอมีดีฟหรือโพรเมต ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์จะให้ค่าที่สูงขึ้นเมื่อทำการปรับสภาพผิวโลหะผสมพื้นฐานด้วยสารไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันก่อนการยึดติดด้วยเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์

เอกสารอ้างอิง

- Hickel R, Manhart J. Longevity of restorations in posterior teeth and reasons for failure. *J Adhes Dent* 2001;3(1):45-64.
- Dias-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1999;81(2):135-41.
- Stamatacos C, Simon JF. Cementation of indirect restorations: An overview of resin cements. *Compend Contin Educ Dent* 2013;34(1):42-6.
- Klaisiri A, Krajangta N. Self-adhesive resin cements. *J Dent Assoc Thai* 2015;65(1):11-20.
- Klaisiri A, Oonsombat C, Thamrongananskul N. Effect of dentin dryness on shear bond strengths of self-adhesive resin cements. *J Dent Assoc Thai* 2015;65(3):167-80.
- Amaral M, Belli R, Cesar PF, Valandro LF, Petschelt A, Lohbauer U. The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia. *J Dent* 2014;42(1):90-8.
- Yokota Y, Nishiyama N. Determination of molecular species of calcium salts of MDP produced through decalcification of enamel and dentin by MDP-based one-step adhesive. *Dent Mater J* 2015;34(2):270-9.
- Klaisiri A, Krajangta N, Sriamporn T, Thamrongananskul N. Shear bond strengths of zirconia/resin cement using different adhesives. *J Dent Assoc Thai* 2019;69(3):353-60.
- Klaisiri A, Krajangta N, Sriamporn T, Thamrongananskul N. The effects of universal adhesives on zirconia/resin composite shear bond strengths. *Khon kaen Dent J* 2019;22(2):135-43.
- Matsumura H, Tanaka T, Taira Y, Atsuta M. Bonding of a cobalt-chromium alloy with acidic primers and tri-n-butylborane-initiated luting agents. *J Prosthet Dent* 1996;76(2):194-9.
- Canay S, Hersek N, Tulunoglu I, Uzun G. Effect of 4-META adhesive

on the bond strength of different metal framework designs and acrylic resins. *J Oral Rehabil* 1997;24(12):913-9.

12. Yoshida K, Tanagawa M, Atsuta M. *In-vitro* solubility of three types of resin and conventional luting cements. *J Oral Rehabil* 1998;25(4):285-91.

13. Mansour A, Ercoli C, Graser G, Tallents R, Moss M. Comparative evaluation of casting retention using the ITI solid abutment with six cements. *Clin Oral Impl Res* 2002;13(4):343-8.

14. Minami H, Tanaka T. History and current state of metal adhesion systems used in prosthesis fabrication and placement. *J Oral Sci* 2013;55(1):1-7.

15. Hattar S, Hatamleh M, Khraisat A, Al-Rabab'ah M. Shear bond strength of self-adhesive resin cements to base metal alloy. *J Prosthet Dent* 2014;111(5):411-5.

16. Falcão Filho HBL, Ribeiro RF, Souza RF, Macedo AP, Almeida RP. Tensile strength of resin cements used with base metals in a simulating passive cementation technique for implant-supported prostheses. *Braz Dent J* 2016;27(6):739-43.

17. Shafiei F, Behroozibakhsh M, Abbasian A, Shahnavaizi S. Bond strength of self-adhesive resin cement to base metal alloys having different surface treatments. *Dent Res J (Isfahan)* 2018;15(1):63-70.

18. Tsuchimoto Y, Yoshida Y, Mine A, Nakamura M, Nishiyama N, Van Meerbeek B, *et al.* Effect of 4-MET- and 10-MDP-based primers on resin bonding to titanium. *Dent Mater J* 2006;25(1):120-4.

19. International Organization for Standardization. ISO/TR 11405 Dental materials-Guidance on testing of adhesion to tooth structure. Geneva:ISO;2003.

20. 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(7):650-8.

21. Marshall SJ, Bayne SC, Baier R, Tomsia AP, Marshall GW. A review of adhesion science. *Dent Mater* 2010;26(2):e11-6.

22. 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(5):377-87.

23. Feitosa VP, Ogliari FA, Van Meerbeek B, Watson TF, Yoshihara K, Ogliari AO, *et al.* Can the hydrophilicity of functional monomer affect chemical interaction? *J Dent Res* 2014;93(2):201-6.

24. Wang R, Shi Y, Li T, Pan Y, Cui Y, Xia W. Adhesive interfacial

characteristics and the related bonding performance of four self-etching adhesives with different functional monomers applied to dentin. *J Dent* 2017;62:72-80.

25. Arai M, Takagaki T, Takahashi A, Tagami J. The role of functional phosphoric acid ester monomers in the surface treatment of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals. *Dent Mater J* 2017;36(2):190-4.

26. Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Chemical interaction of glycerophosphate dimethacrylate (GPDM) with hydroxyapatite and dentin. *Dent Mater* 2018;34(7):1072-81.

27. Zorzin J, Petschelt A, Ebert J, Lohbauer U. pH neutralization and influence on mechanical strength in self-adhesive resin luting agents. *Dent Mater* 2012;28(6):672-9.

28. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil* 2011;38(4):295-314.

29. Go EJ, Shin Y, Park JW. Evaluation of the microshear bond strength of MDP-containing and non-MDP-containing self-adhesive resin cement on zirconia restoration. *Oper Dent* 2019;44(4):379-85.

30. NaBadalung DP, Powers JM, Connelly ME. Comparison of bond strengths of denture base resins to nickel-chromium-beryllium removable partial denture alloy. *J Prosthet Dent* 1997;78(6):566-73.

31. Feitosa VP, Sauro S, Ogliari FA, Ogliari AO, Yoshihara K, Zanchi CH, *et al.* Impact of hydrophilicity and length of spacer chains on the bonding of functional monomers. *Dent Mater* 2017;30(12):e317-23.

32. 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(26):3757-85.

33. Kapoor S, Prabhu N, Balakrishnan D. Comparison of the effect of different surface treatments on the bond strength of different cements with nickel chromium metal alloy: An *in vitro* study. *J Clin Exp Dent* 2017;9(7):e912-8.

34. Ilie N, Simon A. Effect of curing mode on the micro-mechanical properties of dual-cured self-adhesive resin cements. *Clin Oral Investig* 2012;16(2):505-12.

35. Irie M, Suzuki I. Current luting cements: marginal gap formation of composite inlay and their mechanical properties. *Dent Mater* 2001;17(4):347-53.