

ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับ สารยึดติดต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน The Effect of Dual-Cured Activator with Adhesive on Shear Bond Strength of Resin Cement and Dentin

ศิวพร ศุภประภาวณิชย์¹, วีรนุช ทองงาม²

¹ทันตแพทย์ประจำคลินิกเอกชน

²ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Siwaphon Suphaphawanit¹, Weeranuch Thong-ngarm²

¹Private Practice

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

ชม. ทันตสาร 2557; 35(2) : 123-134

CM Dent J 2014; 35(2) : 123-134

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีไอ) ใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ชนิดรีเลย์เอ็กซ์อัลทิเมทกับเนื้อฟัน

วัสดุและวิธีการ: นำฟันกรามแท้ล่างซี่ที่สามของมนุษย์จำนวน 34 ซี่ ตัดแบ่งครึ่งในแนวใกล้กลางไกลกลาง ตัดผิวฟันบริเวณกึ่งกลางด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้นให้เนื้อฟันเผยผิงเป็นระนาบ สุ่มขึ้นทดสอบแบ่งเป็น 4 กลุ่ม (n=17) นำมากัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 34 นาน 15 วินาทีแล้วล้างออก กลุ่มที่ 1 (NDCA+LC) และกลุ่มที่ 2 (NDCA+NLC) ทาซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟบน

Abstract

Purpose: To investigate the effect of dual-cured activator (Single Bond Universal DCA) combined with Single Bond Universal adhesive on shear bond strength of RelyX™ Ultimate resin cement and dentin.

Materials and Methods: Thirty-four third molars were sectioned mesio-distally. Their external of mid-buccal and lingual surfaces were ground into the flat plane to expose dentin. They were randomly divided into four groups (n=17) and etched with 34% phosphoric acid for 15 seconds. Single Bond Universal adhesive was applied to

Corresponding Author:

วีรนุช ทองงาม

อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Weeranuch Thong-ngarm

Instructor, Department of Restorative Dentistry
and Periodontology, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.
E-mail: weeranuch.th@cmu.ac.th

ผิวฟัน กลุ่มที่ 3 (DCA+LC) และกลุ่มที่ 4 (DCA+NLC) ทาซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟผสมซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอบนผิวฟัน ยึดแท่งเรซินคอมโพสิตลงบนชิ้นทดสอบด้วยรีไลย์เอ็กซ์อัลทิเมท จากนั้นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ฉายแสงผ่านแท่งเรซินคอมโพสิต กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 ทั้งไว้ในกล่องทึบแสงนาน 15 นาที นำชิ้นงานทั้งหมดแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบกลุ่มละ 15 ชิ้นทดสอบค่ากำลังแรงยึดเดือนโดยใช้เครื่องทดสอบสากล นำค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเดือนที่ได้ของแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูที ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จำแนกพื้นผิวการแตกหักของแต่ละตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง นำชิ้นทดสอบกลุ่มละ 2 ชิ้นมาตัดกึ่งกลางและส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อดูลักษณะพื้นผิวการยึดติดของเรซินและเนื้อฟัน

ผลการศึกษา: กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเดือนมากที่สุดคือ กลุ่มที่ 3 (25.18±6.42 เมกะปาสคาล) ตามด้วยกลุ่มที่ 1 (22.18±2.73 เมกะปาสคาล) กลุ่มที่ 4 (6.27±3.96 เมกะปาสคาล) และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเดือนน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 2 (4.48±2.73 เมกะปาสคาล) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ แต่ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเดือนของกลุ่มที่มีการฉายแสงมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการฉายแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ลักษณะความล้มเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบผสม

สรุป: การใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอบนผิวฟันซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดเดือนของเรซินซีเมนต์รีไลย์เอ็กซ์อัลทิเมทกับเนื้อฟัน

คำสำคัญ: สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ เรซินซีเมนต์ ค่ากำลังแรงยึดเดือน

Group 1 (NDCA+LC) and Group 2 (NDCA+NLC). A mixture of Single Bond Universal adhesive and Single Bond Universal DCA was applied to Group 3 (DCA+LC) and Group 4 (DCA+NLC). Resin composite rods were bonded to the specimen with RelyX™ Ultimate. Groups 1 and 3 specimens were light-cured through the resin composite rods. Groups 2 and 4 specimens were kept in an dark box for 15 minutes. All specimens were then stored in 37°C distilled water for 24 hours. Fifteen specimens from each group were loaded in a Universal Testing Machine for shear bond strength testing. Mean shear bond strength from each group was analyzed by One-way ANOVA and Tukey multiple comparison test (p<0.05). The failure surfaces of resin cement and dentin were examined by light stereomicroscope. Two pieces of specimens in each group were cross-section at the middle and observed the resin-dentin interface by SEM.

Results: The highest mean shear bond strength was Group 3 (25.18±6.42 Mpa) followed by Group 1 (22.18±2.73 Mpa), Group 4 (6.27±3.96 Mpa) and Group 2 (4.48±2.73 Mpa). No statistical differences were found between group which use and not use dual-cured activator. The statistical significantly higher bond strength was found in light cured groups. Mixed failure mode presented in almost all specimens.

Conclusions: Using Single Bond Universal DCA with Single Bond Universal adhesive has no effect on the shear bond strength of RelyX™ Ultimate resin cement and dentin.

Key words: dual-cured activator, resin cement, shear bond strength

บทนำ

การยึดชิ้นงานบูรณะโดยอ้อม (indirect restoration) กับฟันหลัก (abutment) ด้วยซีเมนต์ (cementation) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้เกิดการยึดติด (retention) ความแนบสนิทตามขอบ (marginal seal) และความคงทน (durability) ในปัจจุบันเรซินซีเมนต์ (resin cement) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ที่ดี เช่น มีความแข็งแรงสูง มีการละลายตัว (solubility) ต่ำ สามารถยึดติดกับฟันและวัสดุบูรณะได้ดี เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในปัจจุบันมีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) หลายรูปแบบคือการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากการกระตุ้นด้วยแสง (light cured polymerization) การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมี (chemical cured polymerization) และการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (dual cured polymerization)^(1,2) การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์ส่งผลต่อการมีคุณสมบัติที่ดีและประสบความสำเร็จเมื่อนำไปใช้งานทางคลินิก^(3,4)

เรซินซีเมนต์ที่เกิดพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อดีคือมีระยะเวลาการทำงานสั้นสามารถเร่งให้เริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ด้วยแสง ส่วนบริเวณที่การฉายแสงไม่เข้าถึง เช่นการยึดชิ้นงานบูรณะที่มีความทึบแสง ยังสามารถเกิดพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาเคมี^(2,4) โดยการฉายแสงนอกจากเป็นการเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาแล้วยังช่วยเพิ่มระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion)⁽⁵⁾ และมีการยึดติดที่ดีกว่าการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว⁽⁶⁾

การใช้งานเรซินซีเมนต์ร่วมกับระบบสารยึดติด (adhesive system) สามารถแบ่งได้เป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติด (bonding agent) ระบบโททอลเอทช์ (total etch) และระบบเซลฟ์เอทช์ (self etch)^(2,7,8) การเกิดพอลิเมอร์ของสารยึดติดมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติด ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินซีเมนต์⁽⁵⁾ มักใช้ยึดชิ้นงานบูรณะโดยไม่แนะนำให้ฉายแสงชั้นสารยึดติดก่อนยึดชิ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์ เนื่องจากความหนาของชั้นสารยึดติดอาจส่งผลต่อความแนบสนิทของชิ้นงานได้^(5,9) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับสารยึดติดที่มีสารกระตุ้นปฏิกิริยาบ่มตัว

สองแบบ (dual-cured activator) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่ดีขึ้น ลดผลกระทบจากการลดลงของแสงได้⁽⁹⁾ โดยการนำสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม (co-initiator) มาใช้ร่วมกับสารยึดติดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมีในบริเวณที่แสงเข้าถึงได้น้อย ซึ่งพบว่าการใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมทำให้เกิดการยึดติดที่ดี สารที่นำมาใช้คือ เกลือโซเดียมอโรมาติคซัลไฟเนต (aromatic sulfinate sodium salts)⁽⁹⁾

รีไลเอ็กซ์อัลทิเมท (RelyX™ Ultimate, 3M ESPE, Germany) เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่ จัดอยู่ในกลุ่มที่มีการบ่มตัวสองแบบและต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด ซึ่งใช้ได้ทั้งระบบเซลฟ์เอทช์ โททอลเอทช์ และซีเลกทีฟเอทช์ (selective etch) แตกต่างกับรีไลเอ็กซ์ยูนิเคม (RelyX™ Unicem, 3M ESPE, Germany) ที่เป็นเรซินซีเมนต์ในกลุ่มเซลฟ์แอตเชิซีฟ (self adhesive) ไม่ต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด ส่วนประกอบของรีไลเอ็กซ์อัลทิเมทดังแสดงในตารางที่ 1 ทางบริษัทแนะนำให้ใช้รีไลเอ็กซ์อัลทิเมทร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอตเชิซีฟ (Single Bond Universal adhesive, 3M ESPE, Germany) ซึ่งมีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสง ในส่วนของรีไลเอ็กซ์อัลทิเมทได้มีการเติมสารที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาที่ปราศจากแสง (dark cure activator) ทำให้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอตเชิซีฟสามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีได้ ถ้าใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอตเชิซีฟร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นทางบริษัทได้แนะนำให้ใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ (Single Bond Universal DCA, 3M ESPE, Germany) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบในการใช้ยึดชิ้นงานบูรณะโดยอ้อม ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอตเชิซีฟต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเปรียบเทียบจากค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์อัลทิเมทกับเนื้อฟัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ฟันกรามแท้ซี่ที่สามของมนุษย์จำนวน 34 ซี่ เก็บในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (0.1% thymal solution) ตัดแบ่งฟันบริเวณคอฟัน และนำส่วนของตัวฟันมาแบ่งครึ่งตามแนวใกล้กลางไกลกลาง (mesio-distal) ตัด

ตารางที่ 1 ชื่อทางการค้า บริษัทผู้ผลิต ส่วนประกอบ และวิธีการใช้งานของเรซินซีเมนต์และสารยึดติด

Table 1 Trade names, manufacturers, compositions and application techniques of resin cements and adhesive agents

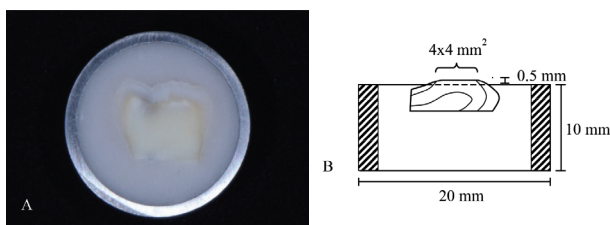
Product names and manufacturers	Compositions	Application technique*	Batch number
Scotchbond™ Etchant (3M ESPE St. Paul, MN, USA)	34% Phosphoric acid	Apply etchant for 15 s. Rinse for 10 s. Air dry to remove excess water. (keep dentin moist)	N411480
Single Bond Universal DCA (3M ESPE 3M Deutshland GmbH, Neuss-Germany)	Sodium toluene sulfinate and ethanol	Place one drop each of Single Bond Universal and Single Bond Universal DCA mix for 5 s. Apply the mixtuer to the tooth structure and rub it in for 20 s. direct a gentle stream of air over the liquid for 5 s.	465192
Single Bond Universal adhesive (3M ESPE 3M Deutshland GmbH, Neuss-Germany)	Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, phosphate monomer, dimethacrylate resins, hydroxyethyl methacrylate-modified polyalkenoic acid copolymer, filler, ethanol, water, initiators, silane	Apply the adhesive to the tooth structure and rub it in for 20 s. direct a gentle stream of air over the liquid for 5 s.	41282
RelyX™ Ultimate Clicker™ (3M ESPE 3M Deutshland GmbH, Neuss-Germany)	Base paste : methacrylate monomers, radiopaque silanated fillers, initiator, stabilizer, rheological additives Catalyst paste : methacrylate monomers, radiopaque alkaline (basic) fillers, initiator, stabilizer, pigments, rheological additives, fluorescence dye, dark cure activator for Scotchbond Universal	Mix base and catalyst paste into a homogenous paste 10 s. using a spatula.	498914
*According to the manufacturer's instructions.			

ผิวฟันในตำแหน่งกึ่งกลางใกล้แก้ม (buccal) และกึ่งกลางใกล้ลิ้น (lingual) ให้ได้เนื้อฟันเผยผิงเป็นระนาบ ขนาดพื้นที่ประมาณ 4x4 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นยึดชิ้นงานด้วยเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวเองในแบบหล่อโลหะทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร โดยวางผิวหน้าตัดของฟันให้สูงกว่าเรซินอะคริลิก 0.5 มิลลิเมตร ได้ชิ้นงานทดลอง 68 ชิ้น ชัดผิวเนื้อฟันโดยใช้เครื่องขัดกระดาษทราย (Grinding/Polishing Machine, MEGA Advance Co.,Ltd., China) ถึงความละเอียด 600 กริต (grits) ให้พื้นผิวเนื้อฟันอยู่ระนาบเดียวกับผิวเรซินอะคริลิกและเกิดลักษณะของชั้นเสมียร์ (standardized smear layer) ได้ลักษณะชิ้นงานดังรูปที่ 1

เตรียมชิ้นงานเรซินเรซินคอมโพสิต สีเอ 3.5 (Fil-tex Z350XT, 3M ESPE, USA) ด้วยแบบหล่อ (split mold) ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร ออกเป็นชั้นเดียว ฉายแสง 40 วินาที

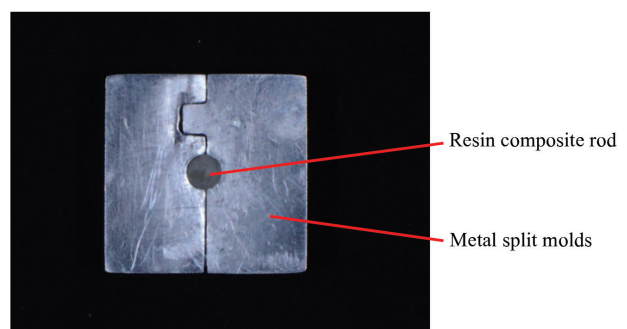
ติดกระดาษแก้วเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรบนเนื้อฟันเพื่อกำหนดพื้นที่ยึดเกาะของแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ แบ่งกลุ่มทดลองโดยวิธีการสุ่มเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 17 ตัวอย่าง เตรียมผิวฟันทั้งหมดด้วยกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 34 เป็นเวลา 15 วินาที ล้างด้วยน้ำ 10 วินาที เป่าลมเบาๆ โดยไม่ให้ฟันแห้งเกินไป กลุ่มที่ 1 (non-dark cure activator and light cure; NDCA+LC) และกลุ่มที่ 2 (non-dark

cure activator and non-light cure; NDCA+NLC) ทาซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟบนผิวฟัน 20 วินาที เป่าลมเบาๆ เพื่อกำจัดตัวทำละลาย (solvent) 5 วินาที กลุ่มที่ 3 (dark cure activator and light cure; DCA+LC) และกลุ่มที่ 4 (dark cure activator and non-light cure; DCA+NLC) ทาซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟที่ผสมซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากันนาน 5 วินาที ทาบนผิวฟัน 20 วินาที เป่าลมเบาๆ ผสมเรซินซีเมนต์ (RelyXT™ Ultimate Clicker™) เป็นเวลา 10 วินาที ป้ายลงบนผิวฟันบริเวณกระดาษแก้วเจาะรูทุกชิ้น ทดสอบ วางแท่งเรซินคอมโพสิตและวางทับด้วยตุ้มน้ำหนัก 200 กรัม กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินโดยใช้ฟู่กัน ประคบด้านข้างของแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยแบบหล่อโลหะ เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกดังรูปที่ 2 ในกลุ่มที่ 1 และ 3 ฉายแสงผ่านชิ้นงานเรซินคอมโพสิตเป็นเวลา 20 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัท ส่วนในกลุ่มที่ 2 และ 4 ไม่ฉายแสงแต่ทิ้งไว้ในกล่องทึบแสงนาน 15 นาที แخذชิ้นงานทดสอบทั้งหมดในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังสรุปในรูปที่ 3 รายละเอียดส่วนประกอบและวิธีการใช้เรซินซีเมนต์และสารยึดติดแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างกลุ่มละ 15 ตัวอย่างมาทดสอบค่ากำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength) โดยใช้เครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน (Universal Testing Machine, Instron® 5566; Instron Limited, Thailand) ด้วยอัตราเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อ



รูปที่ 1 A; ชิ้นงานที่เตรียมเสร็จสมบูรณ์ **B;** แผนภาพตัดขวางของชิ้นงานก่อนนำไปติดกระดาษแก้ว

Figure 1 A; Specimen was prepared completely. **B;** Cross sectional specimen diagram before adhering with punched sticker



รูปที่ 2 แสดงการป้องกันแสงจากภายนอกด้วยการประกบแบบหล่อโลหะก่อนฉายแสงผ่านแท่งเรซินคอมโพสิต

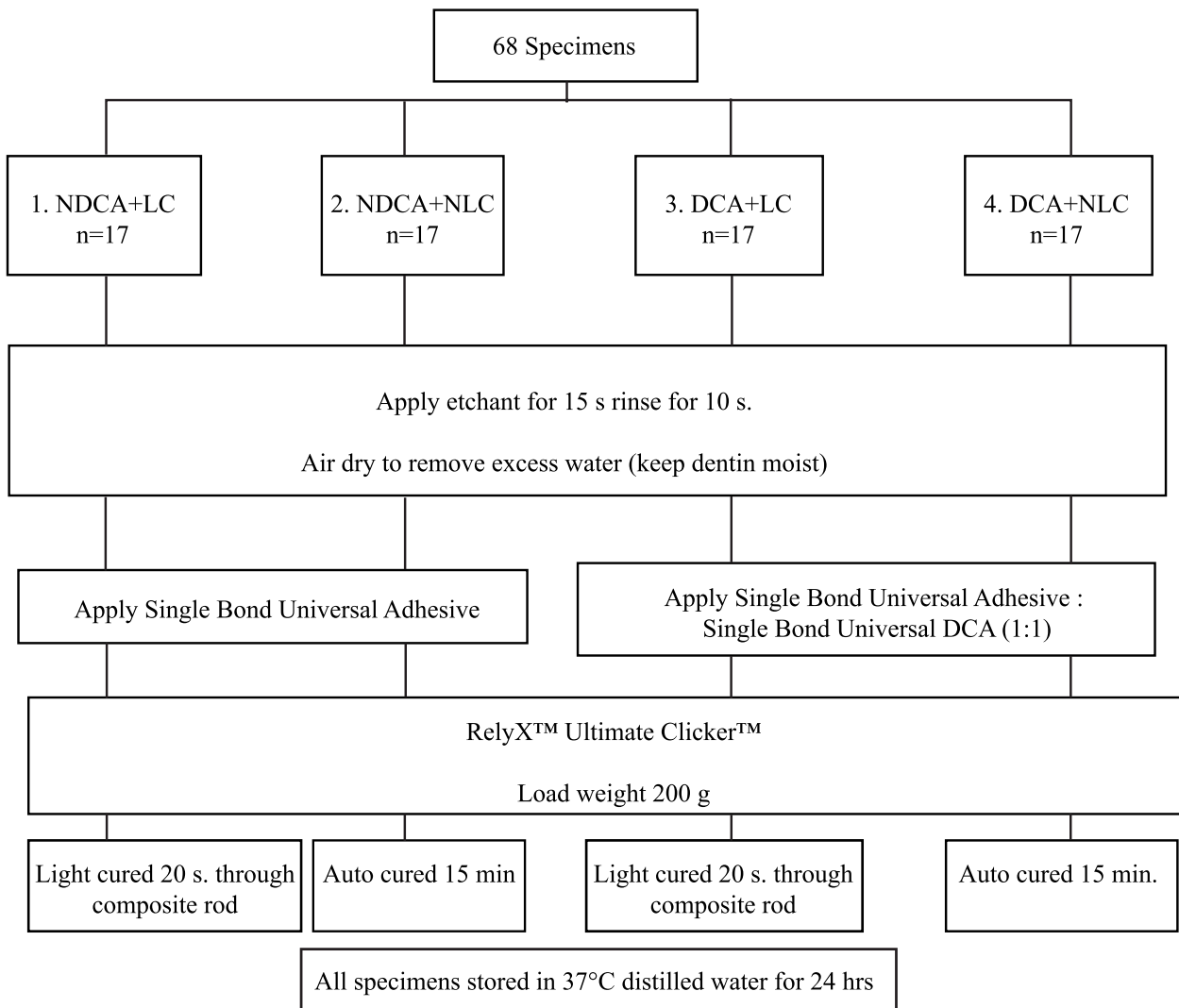
Figure 2 Resin composite rod were covered by metal split molds before light curing to protect the light from another source.

นาที จนแห่งเรซินคอมโพสิตที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์หลุด บันทึกค่ากำลังแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละตัวอย่างหน่วยเป็นเมกะปาสคาล (Mpa) นำค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการจำแนกความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey multiple comparison) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาส่องดูลักษณะพื้นผิวของการแตกหักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light stereo microscope) ที่กำลังขยาย 8 เท่า เพื่อจำแนกลักษณะความล้มเหลวของชั้นทดสอบ (failure mode) เป็น 4 รูปแบบ

ได้แก่ ความล้มเหลวในชั้นเนื้อฟัน (cohesive failure within dentin) ความล้มเหลวระหว่างพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟัน (adhesive failure at the cement-dentine interface) ความล้มเหลวในชั้นเรซินซีเมนต์ (cohesive failure within cement layer) ความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure at cement-dentin surface interface and within cement)

นำตัวอย่างจากกลุ่มทดลองกลุ่มละ 2 ตัวอย่างมาตัดผ่ากลาง (cross sectioned) บริเวณพื้นผิวการยึดติด นำไปส่องดูพื้นผิวการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) เพื่อดูลักษณะการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน



รูปที่ 3 แผนผังวิธีการเตรียมชิ้นทดลองแต่ละกลุ่ม

Figure 3 Diagram of manipulation methods of each experimental group

ผลการศึกษา

ผลทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุดคือ กลุ่มที่ 3 (DCA+LC) ตามด้วยกลุ่มที่ 1 (NDCA+LC) กลุ่มที่ 4 (DCA+NLC) และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนื่อนน้อยที่สุดคือ กลุ่มที่ 2 (NDCA+NLC) โดยค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ที่มีการฉายแสงมีค่ามากกว่า กลุ่มที่ 2 และกลุ่ม 4 ที่ไม่ได้ฉายแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับกลุ่มที่ใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ (กลุ่มที่ 3 และ 4) มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ ใช้แต่ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟอย่างเดียว (กลุ่มที่ 1 และ 2) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในกลุ่มที่มีการฉายแสงและไม่มีการฉายแสง

ลักษณะความล้มเหลว

เมื่อนำชิ้นทดสอบมาตรวจดูลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ความล้มเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบผสม โดยที่ในกลุ่มที่ 3 พบว่ามีความล้มเหลวในชั้นเนื้อฟันร้อยละ 6.67 และในกลุ่มที่ 1 พบว่ามีความล้มเหลวในชั้นเรซินซีเมนต์ร้อยละ 6.67 ส่วนในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นแบบผสม ร้อยละ

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลอง

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

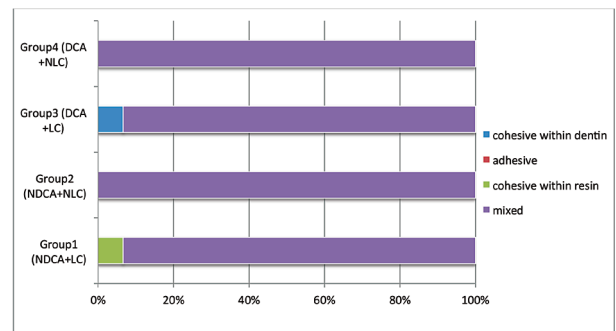
กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว (Mpa)
1. Singlebond, Light cure (NDCA+LC)	22.18±2.73 ^a
2. Singlebond, no light cure (NDCA+NLC)	4.48±2.73 ^b
3. Singlebond + DCA, light cure (DCA+LC)	25.18±6.42 ^a
4. Singlebond + DCA, no light cure (DCA+NLC)	6.27±3.96 ^b

Significant differences are represented by different letter.

ของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มจำแนกตามแผนภาพดังรูปที่ 4 และจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 5-8

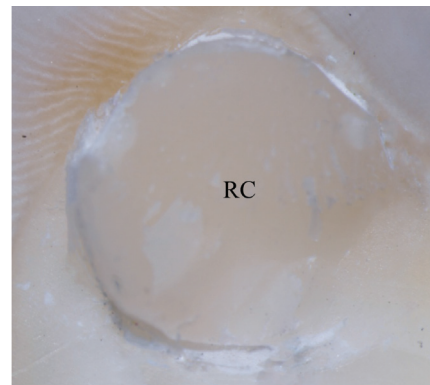
ผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวการยึดติดแบบตัดขวางของเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์แต่ละกลุ่มการทดลองที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า พบ



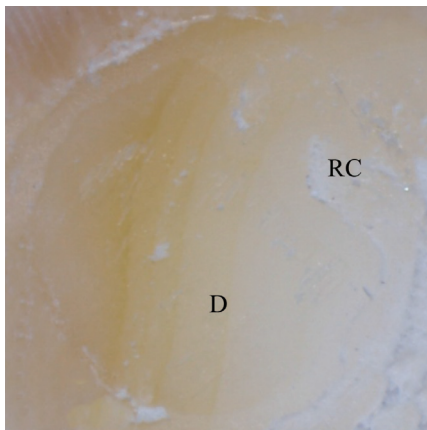
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มการทดลอง

Figure 4 Diagram shows the mode of failure of each experimental group.



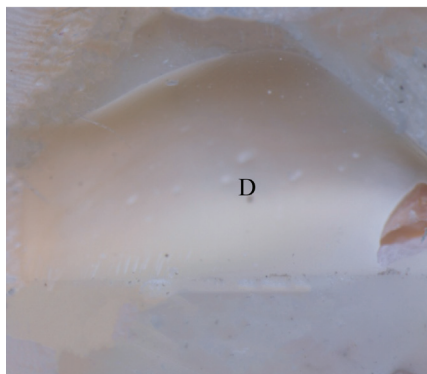
รูปที่ 5 ภาพพื้นผิวการแตกหักโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงความล้มเหลวในชั้นเรซินซีเมนต์ที่พบในกลุ่มที่ 1 ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว 34.19 เมกะปาสคาล ค่าเฉลี่ย 22.18±2.73 เมกะปาสคาล (RC: เรซินซีเมนต์)

Figure 5 Light stereomicroscope image of cohesive failure within cement layer found in group 1 specimen; shear bond strength 34.19 Mpa, mean 22.18±2.73 Mpa. (RC: resin cement)



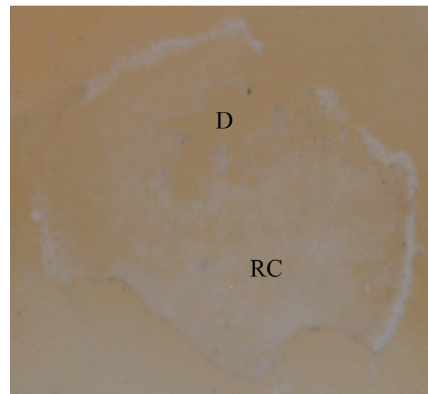
รูปที่ 6 ภาพพื้นผิวการแตกหักโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงความล้มเหลวแบบผสมที่พบในกลุ่มที่ 2 โดยมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 4.48 ± 2.73 เมกะปาสคาล (RC: เรซินซีเมนต์, D: เนื้อฟัน)

Figure 6 Light stereomicroscope image of mixed failure found in group 2 specimen; mean shear bond strength 4.48 ± 2.73 Mpa. (RC: resin cement, D: dentin)



รูปที่ 7 ภาพพื้นผิวการแตกหักโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงความล้มเหลวในชั้นเนื้อฟัน ที่พบในกลุ่มที่ 3 โดยมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว 38.92 เมกะปาสคาล ค่าเฉลี่ย 25.18 ± 6.42 เมกะปาสคาล (D: เนื้อฟัน)

Figure 7 Light stereomicroscope image of cohesive failure within dentine found in group 3 specimen; shear bond strength 38.92 Mpa, mean 25.18 ± 6.42 Mpa (D: dentin)



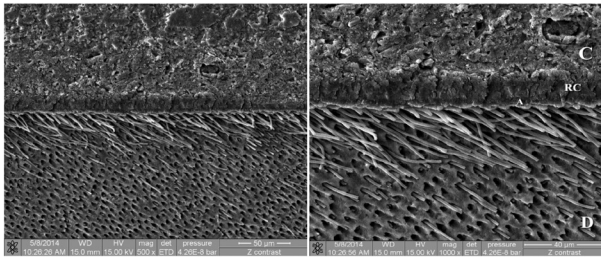
รูปที่ 8 ภาพพื้นผิวการแตกหักโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงความล้มเหลวแบบผสมที่พบในกลุ่มที่ 4 โดยมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 6.27 ± 3.96 เมกะปาสคาล (RC: เรซินซีเมนต์, D: เนื้อฟัน)

Figure 8 Light stereomicroscope image of mixed failure found in group 2 specimen; mean shear bond strength 6.27 ± 3.96 Mpa. (RC: resin cement, D: dentin)

ความล้มเหลวเกือบทั้งหมดเป็นแบบผสม โดยกลุ่มที่ 1 และ 3 มีลักษณะของเรซินซีเมนต์เป็นแผ่นขนาดใหญ่หลายกลุ่มปกคลุมอยู่ แต่กลุ่มที่ 2 และ 4 พบลักษณะของเรซินซีเมนต์เป็นจุดเล็กๆ กระจายทั่วไป ดังรูปที่ 9-12

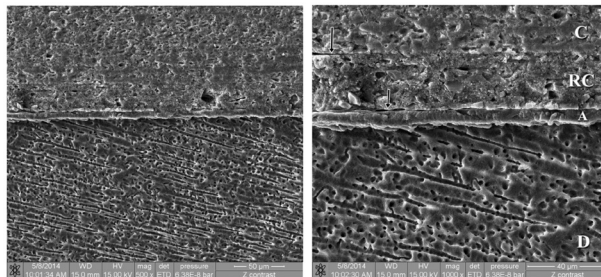
บทวิจารณ์

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลของสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่ใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟ โดยสารที่นำมาศึกษาคือซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือโซเดียมโทลูอินซัลไฟเนต (sodium toluene sulfinate) สารนี้ทำงานโดยการทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์อีกทางหนึ่งนอกเหนือจากการฉายแสง⁽¹⁰⁾ ซึ่งการศึกษานี้ได้เปรียบเทียบกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอ ในสภาวะที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น โดยในกลุ่มที่มีการฉายแสงนั้นกำหนดให้แสงถูกฉายผ่านแท่งเรซินคอมโพสิต โดยมีการป้องกันแสงจากภายนอกด้วยการประกบแบบหล่อโลหะรอบแท่งเรซินคอมโพสิตเพื่อให้มีลักษณะใกล้



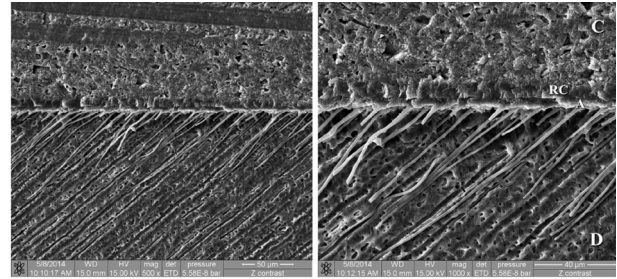
รูปที่ 9 ภาพตัดขวางพื้นผิวการยึดติดของเนื้อฟันและแท่งเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่ 1 (NDCA+LC) กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า พบการเกิดเรซินแท้กของซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน ไม่พบช่องว่างการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับแท่งเรซินคอมโพสิต (C: เรซินคอมโพสิต, RC: เรซินซีเมนต์, A: แอดฮีซีฟ, D: เนื้อฟัน)

Figure 9 Cross-section of resin-dentin interface in group 1 (NDCA+LC) at 500x and 1000x magnifications show resin tags of Single Bond Universal adhesive in dentin. No gap was found between resin-dentin interface. (C: resin composite, RC: resin cement, A: adhesive, D: dentin)



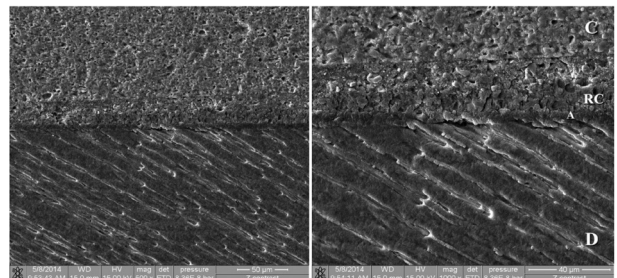
รูปที่ 11 ภาพตัดขวางพื้นผิวการยึดติดของเนื้อฟันและแท่งเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่ 3 (DCA+LC) กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า พบการเกิดเรซินแท้กของซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน ไม่พบช่องว่างการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับแท่งเรซินคอมโพสิต

Figure 11 Cross-section of resin-dentin interface in group 3 (DCA+LC) at 500x and 1000x magnifications show resin tags of Single Bond Universal adhesive in dentin. No gap was found between resin-dentin interface.



รูปที่ 10 ภาพตัดขวางพื้นผิวการยึดติดของเนื้อฟันและแท่งเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่ 2 (NDCA+NLC) กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า พบช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นแอดฮีซีฟและเรซินซีเมนต์ และช่องว่างระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์กับแท่งเรซินคอมโพสิต

Figure 10 Cross-section of resin-dentin interface in group 2 (NDCA+NLC) at 500x and 1000x magnifications show the gaps at adhesive-resin cement interface and resin cement-resin composite interface.



รูปที่ 12 ภาพตัดขวางพื้นผิวการยึดติดของเนื้อฟันและแท่งเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่ 4 (DCA+NLC) กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า พบช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นแอดฮีซีฟและเรซินซีเมนต์ และช่องว่างระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์กับแท่งเรซินคอมโพสิต

Figure 12 Cross-section of resin-dentin interface in group 4 (DCA+NLC) at 500x and 1000x magnifications show the gaps at adhesive-resin cement interface and resin cement-resin composite interface.

เคียงกับการยึดชิ้นงานในช่องปากเมื่อต้องฉายแสงผ่านวัสดุบูรณะ การศึกษานี้ไม่มีการฉายแสงในชั้นสารยึดติดเนื่องจากทำตามคำแนะนำของบริษัทที่สามารถใช้สารยึดติดร่วมกับเรซินซีเมนต์ในการยึดติดชิ้นงานบูรณะโดยอ้อมได้โดยไม่ต้องฉายแสงสารยึดติดก่อน นอกจากนี้การฉายแสงชั้นสารยึดติดก่อนทำให้ความหนาของชั้นดังกล่าวอาจขัดขวางการใส่ชิ้นงานบูรณะให้ลงในตำแหน่งที่ถูกต้องทำให้เกิดความไม่แนบสนิทบริเวณขอบได้^(5,9) มีหลายการศึกษารายงานว่าในกรณีที่ใช้สารยึดติดโดยไม่ฉายแสงนั้นส่งผลให้ค่าแรงยึดติดต่ำลงโดยค่าแรงยึดติดที่ต่ำนั้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดซึ่งยังคงเหลืออยู่ในชั้นออกซิเจนอินฮิบิต (oxygen-inhibited layer) และเทอร์เทียรีเอมีน (tertiary amine) ขัดขวางการเกิดอนุมูลอิสระส่งผลให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์⁽¹¹⁻¹³⁾

ในกลุ่มที่มีการฉายแสงได้แก่ กลุ่มที่ 1 (NDCA+LC) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำตามขั้นตอนตามที่บริษัทแนะนำ มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษานี้คือ 22.18±2.73 เมกะปาสคาล และในกลุ่มที่ 3 (DCA+LC) คือ 25.18±6.42 เมกะปาสคาล ส่วนกลุ่มที่ไม่ฉายแสงได้แก่ กลุ่มที่ 2 (NDCA+NLC) และกลุ่มที่ 4 (DCA+NLC) พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 4.48±2.73 เมกะปาสคาล และ 6.27±3.96 เมกะปาสคาลตามลำดับ โดยมีค่าแตกต่างจากกลุ่มที่มีการฉายแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นในทิศทางเดียวกันกับหลายศึกษา^(6,14-17) ที่เปรียบเทียบเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบกับกลุ่มที่เกิดปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว พบว่าการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างเดียวมีระดับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่ำกว่ากลุ่มที่เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี

ริไลซ์เอ็กซ์อัลทิเมทเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่จึงยังมีการศึกษาถึงคุณสมบัติและการใช้งานไม่มากนัก แต่จากศึกษาของ Lührs และคณะ⁽⁶⁾ ซึ่งมีการใช้ริไลซ์เอ็กซ์อัลทิเมทร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟเช่นเดียวกัน พบว่าผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษานี้ แสดงถึงความสำคัญของการใช้แสงในการเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อปราศจากการกระตุ้นด้วยแสงอาจทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์จึงไม่เกิดการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ซึ่งสัมพันธ์กับผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มที่

ไม่ฉายแสง (รูปที่ 10 และ 12) ที่พบช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับแท่งเรซินคอมโพสิตและไม่พบการเกิดเรซินแท็ก (resin tags) อาจเกิดจากในบริเวณนั้นไม่เกิดพอลิเมอร์หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของชั้นแอดฮีซีฟและเรซินซีเมนต์ไม่สมบูรณ์ โดยกลุ่มที่ 2 พบช่องว่างชัดเจนกว่ากลุ่มที่ 4 แตกต่างจากกลุ่มที่มีการฉายแสง (รูปที่ 9 และ 11) ซึ่งพบการเกิดเรซินแท็กของซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน

สำหรับกลุ่มที่ผสมซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอเข้ากับสารยึดติด ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเออย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในกลุ่มที่มีการฉายแสงและไม่มีการฉายแสง อาจเนื่องมาจากในเรซินซีเมนต์ชนิดริไลซ์เอ็กซ์อัลทิเมทเองได้มีการเติมสารที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาที่ปราศจากแสงเมื่อใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟ การเติมซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอจึงไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวอย่างชัดเจน นอกจากนี้สารจำพวกเกลือโซเดียมของกรดแอริลซัลฟีนิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลดีซีเอมีคุณสมบัติเป็นตัวจับออกซิเจนที่ดี ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนบางส่วนจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ไป⁽¹²⁾ ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาเพื่อสร้างอนุมูลอิสระได้อย่างเพียงพอ⁽⁶⁾

จากผลการศึกษาลักษณะความล้มเหลว แม้ว่าความล้มเหลวที่พบเกือบทั้งหมดเป็นแบบผสม แต่มีลักษณะที่ต่างกัน กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ที่มีการฉายแสงพบบริเวณผิวเนื้อฟันมีลักษณะเป็นแผ่นของเรซินซีเมนต์ขนาดใหญ่หลายกลุ่มปกคลุมอยู่ แตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 ที่ไม่ฉายแสงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีอย่างเดียว พบลักษณะเป็นจุดเล็กๆ ของเรซินซีเมนต์กระจายทั่วไปคล้ายเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ในกลุ่มที่ 3 ยังพบลักษณะความล้มเหลวในชั้นเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มที่ 1 ซึ่งสัมพันธ์กับค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าแม้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทสรุป

ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้สรุปได้ว่า การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟ ไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซิน

ซีเมนต์โพลีเอธิลีนออลทิเมทกับเนื้อฟันทั้งในภาวะที่มีและไม่มี การฉายแสงเพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และอาจ มีการศึกษาต่อไปถึงค่าการยึดติดของการใช้สารยึดติดที่เกิด พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสงร่วมกับสารกระตุ้นปฏิกิริยาบ่มตัว สองแบบ เปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดที่เกิดพอลิเมอร์ จากปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ และการใช้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ ซอลดีซีเอและซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอลแอดฮีซีฟร่วมกับเรซิน ซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะ ทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณบริษัท 3เอ็ม ประเทศไทย จำกัด (3M ESPE) ที่ให้ความอนุเคราะห์ วัสดุเพื่อทำการศึกษา ขอขอบคุณศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท. มข.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็ก ตรอนแบบส่องกราด และขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Ce- ments for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007;51(2):453-471, x.
2. Stamatacos C, Simon JF. Cementation of indi- rect restorations: an overview of resin cements. *Compend Contin Educ Dent* 2013;34(1):42-44, 46.
3. Tezvergil-Mutluay A, Lassila LV, Vallittu PK. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polymerized through various materials. *Acta Odontol Scand* 2007;65(4):201-205.
4. Jongsma LA, de Jager N, Kleverlaan CJ, Pallav P, Feilzer AJ. Shear bond strength of three dual- cured resin cements to dentin analyzed by finite element analysis. *Dent Mater* 2012;28(10):1080-1088.

5. Arrais CA, Rueggeberg FA, Waller JL, de Goes MF, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. *J Dent* 2008;36(6):418-426.
6. Lührs AK, De Munck J, Geurtsen W, Van Meerbeek B. Composite cements benefit from light-curing. *Dent Mater* 2014;30(3):292-301.
7. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poite- vin A, Lambrechts P, Braem M, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 2005;84(2):118-132.
8. Sirimongkolwattana S. Resin Cement: Clinical application. *CM Dent J* 2009;30(1):23-29.
9. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA. Effect of sodium sulfinate salts on the polymeriza- tion characteristics of dual-cured resin cement systems exposed to attenuated light-activation. *J Dent* 2009;37(3):219-227.
10. Cavalcanti SC, de Oliveira MT, Arrais CA, Giannini M. The effect of the presence and presentation mode of co-initiators on the mi- crotensile bond strength of dual-cured adhesive systems used in indirect restorations. *Oper Dent* 2008;33(6):682-689.
11. Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanares AM, Wei SH. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chem- ically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent* 2003;5(1):27-40.
12. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chuang SF, Li F. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. *J Adhes Dent* 2003;5(2):91-105.

13. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent* 2003;5(4):267-282.
14. Asmussen E, Peutzfeldt A. Bonding of dual-curing resin cements to dentin. *J Adhes Dent* 2006;8(5):299-304.
15. el-Badrawy WA, el-Mowafy OM. Chemical versus dual curing of resin inlay cements. *J Prosthet Dent* 1995;73(6):515-524.
16. Faria-e-Silva AL, Fabiao MM, Arias VG, Martins LR. Activation mode effects on the shear bond strength of dual-cured resin cements. *Oper Dent* 2010;35(5):515-521.
17. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH. Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. *J Prosthet Dent* 2007;97(2):99-106.