บทวิทยาการ
Original Article

ความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์กับเนื้อฟันในส่วนตัวฟัน

Shear Bond Strength between Resin Cements with Self-etch Adhesive Systems and Coronal Dentin

ปภาวี ศรีสุวรรณวัฒนา[1], ภาวิศุทธิ แก่นจันทร์[2]
[1]นักศึกษาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Paphawee Srisuwanwattana[1], Pavisuth Kanjantra[2]
[1]Postgraduate Student in Master of Science Program, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[2]Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม.ทันตสาร 2556; 34(2) : 93-106
CM Dent J 2013; 34(2) : 93-106

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างผิวเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ที่ใช้และไม่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์-เอตช์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน และขั้นตอนเดียว โดยใช้ฟันกรามถาวรซี่ที่สาม 63 ซี่ ตัดแบ่งครึ่งฟันในแนวใกล้กลางไกลกลาง ตัดผิวฟันด้านนอกให้เนื้อฟันเผยผึ่ง สุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 42 ชิ้น กลุ่มที่ 1 ใช้พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ที่มีเทอร์เทียรีเอมีนร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทู กลุ่มที่ 2 ใช้เนกซัสทรีที่ไม่มีเทอร์เทียรีเอมีนร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์เป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน กลุ่มที่ 3 ใช้เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวันเป็นสารยึดติด

Abstract

To compare the shear strength of bonds between dentin and self-etch resin cement systems with or without tertiary amine, and that of bonds between 1- and 2-step self-etch adhesive systems. Sixty-three third molars were sectioned mesio-distally and their external surfaces were ground to expose dentin. They were randomly divided into three groups of forty-two half-tooth specimens: Group 1, Panavia™ F2.0 (which contains tertiary amine) with ED® Primer II, Group 2, Nexus® 3 (which contains free-tertiary amine) with OptiBond™ XTR (a 2-step self-etch adhesive system) and Group 3, Nexus® 3 with

Corresponding Author:

ภาวิศุทธิ แก่นจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง, 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.
E-mail: pavisuth.k@cmu.ac.th

ระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียว ทำการยึดแท่งเรซินคอมโพสิตเข้ากับผิวเนื้อฟันด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มแรก 22 ชิ้น แช่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อีกกลุ่ม 20 ชิ้นนำไปเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิง 5000 รอบในน้ำอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส นำชิ้นตัวอย่างกลุ่มละ 20 ชิ้น (n=20) ทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากล นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ศึกษาลักษณะพื้นผิวการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์สามชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทั้งสองสภาวะ โดยกลุ่มที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 1 ให้ค่าต่ำที่สุด เรซินซีเมนต์ทุกกลุ่มหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่ากลุ่มเทอร์โมไซคลิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีเทอร์เทียรีเอมีนให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่าชนิดที่มีเทอร์เทียรีเอมีน และเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ลดลง

คำสำคัญ: สารตั้งต้นปฏิกิริยา เรซินซีเมนต์ สารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์ ค่าความแข็งแรงยึดเฉือน เทอร์เทียรีเอมีน

OptiBond™ All-In-One (a 1-step self-etch adhesive system). Resin composite rods were bonded to each specimen in all three groups with the respective resin cements. Each group was divided into two subgroups. The first subgroup, consisting of twenty-two specimens, was stored in distilled water at 37°C for 24 hours and the second subgroup, consisting of twenty specimens, was subjected to thermocycling (5000 cycles, in water baths at 5°C and 55°C). Twenty specimens (n=20) from each subgroup were loaded in a Universal Testing Machine for shear bond strength testing. The resin-dentin interfaces of each first subgroup were examined by SEM. The mean shear bond strength of three different resin cement groups were significantly different ($p<0.05$) in both conditions. The highest mean shear bond strength was obtained with Group 2, followed by Group 3 and Group 1 showed the lowest bond strength. The mean shear bond strength of the water storage groups were significantly higher than those of the thermocycling groups. In conclusions, the shear bond strength of the resin cement without tertiary amine seems better than the resin cement that contains tertiary amine. And when the resin cement without tertiary amine was used with the 2-step self-etch adhesive, it provided greater bond strength than with the 1-step self-etch adhesive. Thermocycling process decreased the shear strength of bonds between resin cements and dentin.

Keywords: initiator agents, resin cement, self-etch adhesive system, shear bond strength, tertiary amine

บทนำ

ปัจจุบันเรซินซีเมนต์ (resin cements) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการใช้ยึดชิ้นงานบูรณะโดยอ้อม (indirect restorations) เนื่องจากสามารถยึดติดได้กับฟันและชิ้นงาน อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น มีความแข็งแรงสูง มีค่าความแข็งแรงยึดติด (bond strength) กับผิวฟันสูง มีการละลายตัวต่ำ ลดการรั่วซึมบริเวณขอบ อีกทั้งยังมีสีให้เลือกเพื่อความสวยงาม[1,2] เรซินซีเมนต์มีหลายประเภทแตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาตามระบบการยึดติด (adhesive systems) สามารถแบ่งได้ 3 ระบบคือ ระบบโททอลเอตช์ (total-etch adhesive system) ระบบเซลฟ์เอตช์ (self-etch adhesive system) และระบบเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self adhesive system)[3] ระบบเซลฟ์เอตช์และระบบเซลฟ์แอดฮีซีฟได้รับการพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากปัญหาในเรื่องความอ่อนไหวต่อขั้นตอนการใช้งาน (technique-sensitivity) และอาการเสียวฟันที่เกิดจากการใช้เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติด (adhesive or bonding agent) ของระบบโททอลเอตช์ ระบบเซลฟ์เอตช์มีการทำงานที่แตกต่างจากระบบโททอลเอตช์ โดยจะมีโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) ทำการปรับสภาพชั้นเสมียร์ (smear layer) เกิดการละลายแร่ธาตุ (demineralization) ในเนื้อฟันบางส่วนไปพร้อมๆ กับการพาเรซินโมโนเมอร์ (resin monomer) แทรกซึมเข้าไปในส่วนที่ละลายแร่ธาตุแล้ว[4] ระบบเซลฟ์เอตช์ที่ใช้มีการผลิตออกมาใน 2 รูปแบบคือ แบบ 2 ขั้นตอน (2-step self-etch adhesive system) และแบบขั้นตอนเดียว (1-step self-etch adhesive system)[5]

มีการศึกษาพบว่า ระบบเซลฟ์เอตช์มีข้อจำกัดในการใช้งานเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง (self-cured resin cement) หรือชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกัน (dual-cured resin cement) ซึ่งปัญหาที่พบเกิดจากความไม่เข้ากันทางเคมี (chemical incompatibility) นอกจากนี้ ระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวยังพบปัญหาการเสื่อมสลาย (degradation) ที่บริเวณผิวสัมผัสของเรซินซีเมนต์กับสารยึดติดร่วมด้วย เนื่องจากลักษณะชั้นไฮบริด (hybrid layer) ที่เกิดขึ้นของสารยึดติดประเภทนี้ยอมให้น้ำผ่านได้บางส่วน (semi-permeable membrane)[6,7]

ความไม่เข้ากันทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยากรดเบส (acid-base reaction) ระหว่างโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดในระบบเซลฟ์เอตช์กับเทอร์เทียรีเอมีน (tertiary amine) ที่เป็นด่าง เทอร์เทียรีเอมีนถูกใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง หรือชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกัน ซึ่งใช้ร่วมกับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ในการเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยา (initiating agents)[8] โดยปฏิกิริยากรดเบสที่เกิดขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของเอมีนลดลง เนื่องจากโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดไปแย่งจับกับเทอร์เทียรีเอมีน เป็นผลให้การเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ที่จำเป็นในการเริ่มต้นปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันลดลง[9,10] การขัดขวางปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นไม่เพียงแต่เกิดในชั้นสารยึดติดเท่านั้น แต่ยังเกิดในบริเวณพื้นผิวส่วนที่เป็นชั้นออกซิเจนอินฮิบิท (oxygen-inhibited layer) ของชั้นสารยึดติดหลังเกิดการบ่มตัวแล้วซึ่งอยู่ระหว่างสารยึดติดกับเรซินซีเมนต์ด้วย[9-11]

นอกจากนี้หลังการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ชั้นไฮบริดที่เกิดจากระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวยังมีลักษณะเป็นชั้นที่น้ำแพร่ผ่านได้บางส่วน โดยน้ำจากท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) จะเริ่มแพร่จากชั้นไฮบริดผ่านสารยึดติดไปสู่ชั้นของเรซินซีเมนต์ ซึ่ง Tay และ Pashley เรียกลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปรากฏการณ์วอเตอร์-ทรี (water tree phenomenon)[12,13] ในทางคลินิกจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดต่ำและเกิดความล้มเหลวของวัสดุบูรณะตามมาได้ แต่ไม่พบปัญหานี้ในระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน เนื่องจากมีการคั่นกลางด้วยชั้นของสารยึดติดซึ่งมีความไม่ชอบน้ำและยอมให้น้ำผ่านได้น้อยกว่า[16] จากหลายการศึกษาที่เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดติดของระบบเซลฟ์เอตช์ระหว่างระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน และแบบขั้นตอนเดียวเมื่อใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิต (resin composite) หรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง หรือชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกัน ส่วนใหญ่พบว่าระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่สูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว[14-19]

มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาความไม่เข้ากันที่เกิดจากปฏิกิริยากรดเบสระหว่างโมโนเมอร์ที่มีความ

เป็นกรดกับเทอร์เทียรีเอมีน โดยเติมสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม (co-initiator) เข้าไปร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาระบบเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเทอร์เทียรีเอมีนของสารยึดติด เช่น กรดบาร์บิทูริก (barbituric acid)[8,20] กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)[8,21] และเกลือของกรดซัลฟินิก (sulfinic acid salts)[8,20-22] เป็นต้น ซึ่งพบว่าส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการผลิตเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกันที่ไม่ใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยา ซึ่งบริษัทผู้ผลิตอ้างว่าสามารถแก้ปัญหาความไม่เข้ากันดังกล่าวได้ และมีค่าความแข็งแรงยึดติดสูงเมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ในระบบเซลฟ์เอตช์ชนิดที่มีเอมีน[23,24] และยังใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนได้ ทำให้บริเวณผิวที่สัมผัสกันของเรซินซีเมนต์กับสารยึดติดเกิดการผนึก (seal) ที่ดี[25] แก้ปัญหาการเสื่อมสลายจากการที่ชั้นสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวยอมให้น้ำแพร่ผ่านในบริเวณนี้ได้ แต่การศึกษาเกี่ยวกับเรซินซีเมนต์ดังกล่าวยังมีน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาถึงค่าความแข็งแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์ดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกใช้เรซินซีเมนต์ในระบบเซลฟ์เอตช์ได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (shear bond strength) ระหว่างผิวเนื้อฟัน (dentin surface) กับเรซินซีเมนต์ที่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมและไม่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์

2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างผิวเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ที่ไม่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน และแบบขั้นตอนเดียว

3. เพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แต่ละชนิด เมื่อเวลาผ่านไปโดยมีภาวะความชื้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซึ่งเป็นภาวะที่เกิดในช่องปาก

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

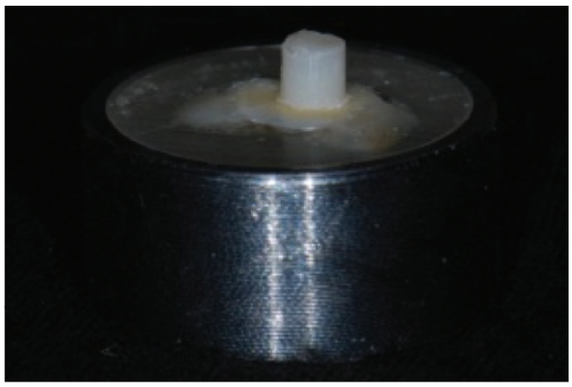
ฟันกรามแท้ซี่ที่สามของมนุษย์จำนวน 63 ซี่ เก็บในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (0.1% thymol solution) นำมาตัดแบ่งครึ่งฟันตามแนวใกล้กลางไกลกลาง (mesio-distal) ตัดผิวเคลือบฟันในตำแหน่งกึ่งกลางใกล้แก้มและกึ่งกลางใกล้ลิ้น (mid-buccal and mid-lingual surface) ให้เนื้อฟันเผยผึ่งเป็นระนาบ โดยมีพื้นที่ประมาณ 4x4 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นนำฟันลงแบบหล่อโลหะยึดด้วยเรซินอีพ็อกซี (epoxy resin) ได้ชิ้นทดสอบ 126 ชิ้น นำไปขัดผิวเนื้อฟันโดยใช้เครื่องขัดกระดาษทราย (Grinding/Polishing Machine, MEGA Advance Co.,Ltd., China) ที่ความละเอียด 600 กริต (grit) ให้ผิวเนื้อฟันเรียบและเกิดลักษณะของชั้นเสมียร์ (standardized smear layer) เลือกตำแหน่งเนื้อฟันที่จะทำการยึดโดยใช้กระดาษกาวเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ติดบริเวณเนื้อฟันในแบบหล่อ สุ่มแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 42 ชิ้นตามชนิดของเรซินซีเมนต์และสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์ที่ใช้ดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ (Panavia™ F2.0, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) ที่มีเทอร์เทียรีเอมีนเป็นส่วนประกอบร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทู (ED® Primer II, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) กลุ่มที่2 ใช้เรซินซีเมนต์เนกซัสทรี (Nexus® 3, Kerr Corporation, USA) ที่ไม่มีเทอร์เทียรีเอมีนเป็นส่วนประกอบร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ (OptiBond™ XTR, Kerr Corporation, USA) ซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน กลุ่มที่ 3 ใช้เรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวัน (OptiBond™ All-In-One, Kerr Corporation, USA) ซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียว ทำการเตรียมผิวฟันและยึดแท่งเรซินคอมโพสิต (resin composite rods) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละกลุ่มลงบนชิ้นทดสอบ รายละเอียดส่วนประกอบและวิธีการใช้เรซินซีเมนต์และสารยึดติดแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 1 ขณะทำการยึดติดใช้ตุ้มน้ำหนัก 20 นิวตันกดทับบนแท่งเรซินคอมโพสิต ได้ชิ้นทดสอบดังรูปที่ 1 แบ่งชิ้นทดสอบแต่ละกลุ่มเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มแรกจำนวน 22

ตารางที่ 1 *ชื่อทางการค้า บริษัทผู้ผลิต ส่วนประกอบ และวิธีการใช้งานของเรซินซีเมนต์และสารยึดติด*

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

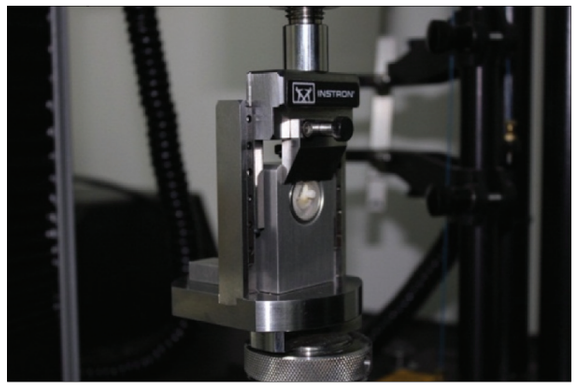
Product names and manufacturers	Compositions	Application techniques	Batch number
ED® primer II (Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	A: MDP, HEMA, 5-MASA*, DEPT**, water B: 5-MASA*, DEPT**, SBSA•••, water	- mix equal amounts of ED primer II A&B; must be used within 5 minutes after mixing - apply to the dentin surface; wait 30 sec.; gently air dry; do not rinse and light-cure	051381
Panavia™ F2.0 (Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	A paste: MDP, Bis-MPEPP, hydrophobic and hydrophilic DMAs, BPO, CQ, silica filler B paste: Bis-MPEPP, hydrophobic and hydrophilic DMAs, DEPT**, Sodium-2,4,6-TPBSA, silica filler, barium glass filler, TiO2, NaF	- dispense equal amounts of paste A&B (half a turn); mix for 20 sec. - apply to the resin composite rod; cement the rod to the dentin surface - remove excess cement; light-cure 4 sides of rod for 20 sec. per side	
Optibond™ XTR (Kerr Corp., USA)	Primer: GPDM*, hydrophilic mono- and di-functional methacrylate, water, acetone, ethanol, CQ Adhesive: hydrophobic, structural and cross-linking monomers, ethanol, CQ, barium glass filler, nano-silica filler	- apply primer to dentin surface; scrub the surface with a brushing motion for 20 sec.; air thin for 5 sec. with medium air pressure - shake adhesive bottle briefly; apply adhesive to dentin surface with light brushing motion for 15 sec.; air thin for 5 sec.; light-cure for 10 sec.	4229734
Optibond™ All-In-One (Kerr Corp., USA)	Mono- and di-functional methacrylate esters, GPDM*, water, acetone, ethanol, filler	- scrub the surface with a brushing motion for 20 sec.; apply a second application; thoroughly dry the adhesive gentle air first and then medium air for at least 5 sec.; light-cure for 10 sec.	4331532
Nexus® 3 (Kerr Corp., USA)	Base: methacrylate ester monomers, HEMA, 2-PTU•• Catalyst: methacrylate ester monomers, HEMA, CHPO•, TiO_2, pigments	- dispense the mixed cement on the mixing paper - apply to the resin composite rod; cement the rod to the dentin surface - remove excess cement; light-cure 4 sides of rod for 20 sec. per side	4460365

*acidic monomer, **tertiary amine, •Nexus 3 initiator, ••Nexus 3 accelerator, •••co-initiator MDP: 10-methacryloyloxydecyl hydrogen phosphate, HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate, 5-MASA: N-methacryloyl 5-aminosalicylic acid, DEPT: N,N-di (2-hydroxyethyl) p-toluidine, SBSA: Sodium benzene sulfinate , Bis-MPEPP: 2, 2-Bis-(4-methacryloxypolyethoxy phenyl) propane, Sodium 2, 4, 6-TPBSA: Sodium 2, 4, 6-triisopropyl benzene sulfinate, BPO: benzoyl peroxide, DMA: dimethacrylate, CQ: Camphoroquinone, TiO_2: Titanium Dioxide, NaF: Sodium fluoride, GPDM: Glycerol phosphate dimethacrylate, PTU: Pyridylthiourea, CHPO: Cumene hydroperoxide



รูปที่ 1 *แสดงชิ้นทดสอบหลังยึดแท่งเรซินคอมโพสิตเข้ากับผิวเนื้อฟันด้วยเรซินซีเมนต์*

Figure 1 *resin composite rods were luted with resin cement on dentin speciments*



รูปที่ 2 *แสดงการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอิสตรอน*

Figure 2 *Shear bond strength test with Instron® Universal Testing Machine*

ชิ้นแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนอีกกลุ่มจำนวน 20 ชิ้นนำไปเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิง (thermocycling, KMITL, Thailand) จำนวน 5000 รอบที่น้ำอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส

นำชิ้นทดสอบกลุ่มละ 20 ชิ้นไปทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากล (Instron® 5566 Universal Testing Machine, Instron (Thailand) Limited, Thailand) ดังรูปที่ 2 ด้วยอัตราเร็วของหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าความแข็งแรงยึดเฉือนที่ทำให้เรซินซีเมนต์หลุดออกจากผิวเนื้อฟัน นำไปคำนวณค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาส่องดูลักษณะความล้มเหลวบริเวณที่เกิดการหลุดของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope, OLYMPUS, Japan) กำลังขยาย 56 เท่า โดยจำแนกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ การแตกในชั้นเนื้อฟัน (cohesive failure within dentin) การแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure between dentin and resin cement) การแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกหักในชั้นเรซินซีเมนต์ หรือการแตกหักแบบรวม (mixed failure) การแตกในชั้นเรซินซีเมนต์ (cohesive failure within resin cement) และการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเรซินคอมโพสิต (adhesive failure between resin cement and resin composite)

นำชิ้นทดสอบจากกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงกลุ่มละ 2 ตัวอย่างมาตัดผ่ากลาง (cross sectioned) บริเวณพื้นผิวการยึดติด (resin-dentin interface) นำไปส่องดูพื้นผิวการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM), JEOL JSM-6610LV SEM, Japan) ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

นำค่าความแข็งแรงยึดเฉือนที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS V17.0 (SPSS Inc., USA) โดยการจำแนกความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) และใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey's multiple comparison test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแต่ละกลุ่ม

ผลการศึกษา

การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเฉือน

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของกลุ่มทดลองทั้ง 6 กลุ่ม และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงยึดเฉือนโดยใช้สถิติความแปรปรวนแบบสองทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) พบว่าชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสาร

ตาราง 2 *ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลอง*

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

Adhesive agents and resin cements	Means of shear bond strength (MPa)	
	Water storage 24 hours	Thermocycling 5000 cycles
ED® Primer II+Panavia™ F2.0	$15.21^{D} \pm 1.90$	$11.83^{E} \pm 1.94$
OptiBond™ XTR+Nexus® 3	$25.32^{A} \pm 2.24$	$18.32^{C} \pm 2.60$
OptiBond™ All-In-One+Nexus® 3	$21.99^{B} \pm 2.01$	$13.82^{D} \pm 2.19$
Values are mean ±standard deviations. Groups with the same upper case superscripts are not significantly different ($p<0.05$).		

ยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์ และเวลา (แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และหลังการทำเทอร์โมไซคลิง) ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

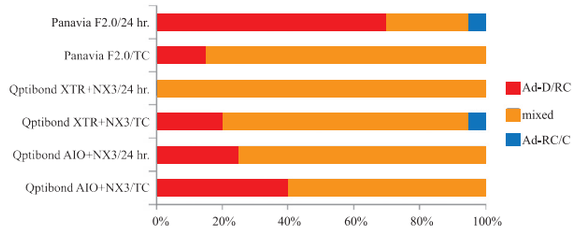
จากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของแต่ละกลุ่มทดลอง พบว่ากลุ่มแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงที่สุด (25.32±2.24 MPa) ตามด้วยกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวัน (21.99±2.01 MPa) และกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนต่ำที่สุด (15.21±1.90 MPa)

กลุ่มที่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิง 5000 รอบ ทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงที่สุด (18.32±2.60 MPa) ตามด้วยกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวัน (13.82±2.19 MPa) และกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนต่ำที่สุด (11.83±1.94 MPa)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มเทอร์โมไซคลิง 5000 รอบ พบว่ากลุ่มแช่น้ำ 24 ชั่วโมงไม่ว่าทำการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดใดๆ ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนที่สูงกว่ากลุ่มเทอร์โมไซคลิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลักษณะการแตกหัก

ลักษณะการแตกหักของเรซินซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันได้ผลดังแผนภูมิรูปที่ 3 โดยส่วนใหญ่เป็นการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกหักในชั้นเรซินซีเมนต์ หรือการแตกหักแบบรวม และไม่มีกลุ่มใดมีการแตกหักทั้งหมดในชั้นเนื้อฟันและในชั้นเรซินซีเมนต์ หรือการแตกหักแบบโคฮีซีฟเลย



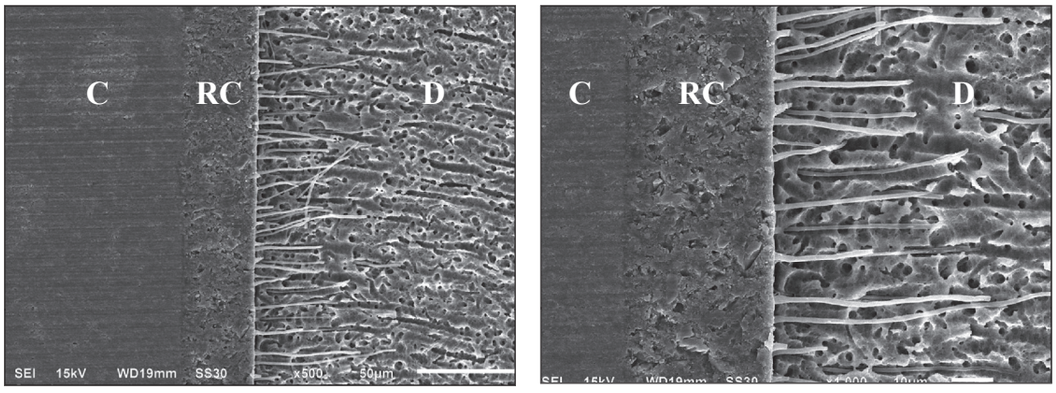
TC: Thermocycling, Ad-D/RC: adhesive failure between dentin and resin cement, Ad-RC/C: adhesive failure between resin cement and resin composite

รูปที่ 3 *แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ลักษณะความล้มเหลวหลังการทดสอบแรงเฉือน*

Figure 3 *Diagram shows percentage of failure mode after shear testing*

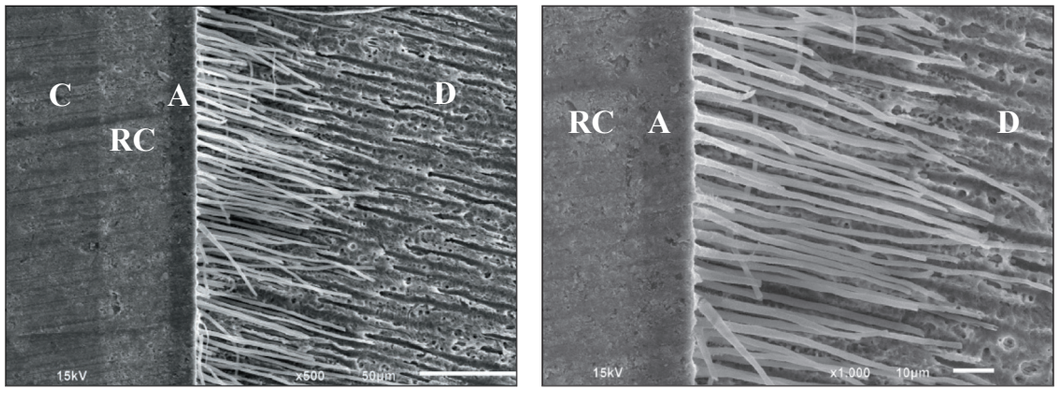
ผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ลักษณะการยึดติดของเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่าพบว่า กลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทู พบการเกิดเรซินแท็ก (resin tag) ในชั้นเนื้อฟัน ดังรูปที่ 4 ซึ่งพบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มที่ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วม



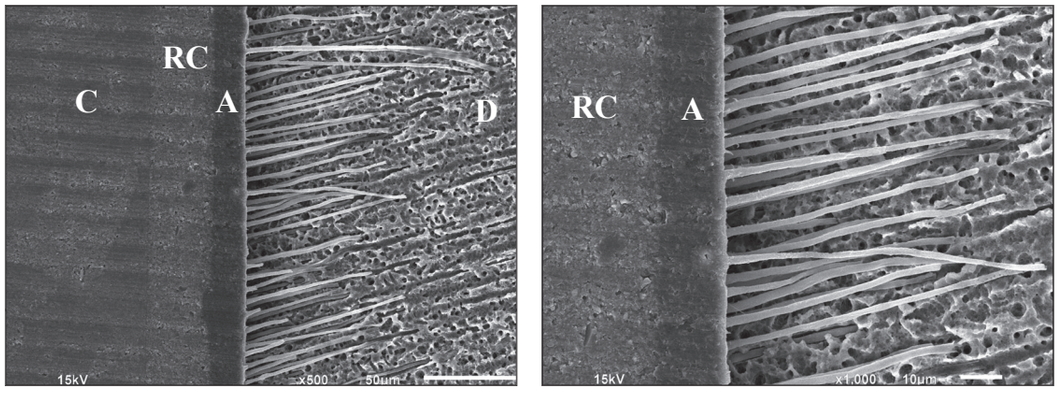
รูปที่ 4 *ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวการยึดติดในกลุ่มพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า (C: เรซินคอมโพสิต, RC: เรซินซีเมนต์, D: เนื้อฟัน)*

Figure 4 *SEM images of resin-dentin interface formed by Panavia™ F2.0 with ED® Primer II at 500x and 1000x magnifications (C: resin composite, RC: resin cement, D: dentin)*



รูปที่ 5 *ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวการยึดติดในกลุ่มเนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า (C: เรซินคอมโพสิต, RC: เรซินซีเมนต์, A: ชั้นสารยึดติด, D: เนื้อฟัน)*

Figure 5 *SEM images of resin-dentin interface formed by Nexus® 3 with OptiBond™ XTR at 500x and 1000x magnifications (C: resin composite, RC: resin cement, A: adhesive, D: dentin)*



รูปที่ 6 *ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวการยึดติดในกลุ่มเนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวันที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า (C: เรซินคอมโพสิต, RC: เรซินซีเมนต์, A: ชั้นสารยึดติด, D: เนื้อฟัน)*

Figure 6 *SEM images of resin-dentin interface formed by Nexus® 3 with OptiBond™ All-In-One at 500x and 1000x magni-fications (C: resin composite, RC: resin cement, A: adhesive, D: dentin)*

กับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ และออฟติบอนด์ออลอินวันเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 5 และ 6

ทั้ง 3 กลุ่มเห็นชั้นไฮบริดได้ไม่ชัดเจน แต่พบเรซินแท็กมีความหนาแน่นและความยาวมากที่สุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ รองลงมาคือ กลุ่มเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวัน และกลุ่มเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูพบลักษณะเรซินแท็กมีความหนาแน่นและความยาวน้อยที่สุด รูปร่างบางและสั้น

ลักษณะชั้นซีเมนต์ที่พบในกลุ่มเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูมีลักษณะเป็นชั้นเดียวกันโดยตลอด แต่ผิวมีความพรุนมากกว่า ดังรูปที่ 4 ต่างจากลักษณะที่พบในกลุ่มเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ และออฟติบอนด์ออลอินวัน ซึ่งเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างชั้นสารยึดติดและชั้นเรซินซีเมนต์ ลักษณะผิวมีความพรุนน้อยกว่า ดังรูปที่ 5 และ 6

บทวิจารณ์

เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จัดเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกัน ใช้ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูซึ่งเป็นระบบเซลฟ์เอตช์มีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาของปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน[2] จึงเลือกใช้เป็นตัวแทนของเรซินซีเมนต์ที่มีเทอร์เทียรีเอมีนเป็นส่วนประกอบเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนกับเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีซึ่งไม่มีเทอร์เทียรีเอมีน โดยพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงที่ได้จากการศึกษานี้คือ 15.21 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหลายการศึกษาที่ผ่านมา[26-29] และพบลักษณะการแตกหักส่วนใหญ่เป็นแบบแอดฮีซีฟ ไม่พบการแตกหักแบบโคฮีซีฟ เรซินซีเมนต์เนกซัสทรีจัดเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกันเช่นเดียวกัน แต่ผลิตขึ้นมาโดยมีจุดเด่นอยู่ที่การเปลี่ยนสารตั้งต้นปฏิกิริยาจากที่เคยใช้ระบบเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเทอร์เทียรีเอมีน เป็นระบบที่ไม่ใช้เอมีน มีข้อดีคือ สามารถกำจัดปัญหาความไม่เข้ากันจากปฏิกิริยากรดเบสที่เกิดจากโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดในระบบเซลฟ์เอตช์ทำปฏิกิริยากับเทอร์เทียรีเอมีนได้ ดังนั้นจึงใช้ร่วมกับสารยึดติดได้ทุกระบบโดยไม่ต้องใช้แอคติเวเตอร์ (activator) ร่วมด้วย[23,24] ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีให้ผลการยึดติดที่ดีกว่าเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์อาจเนื่องมาจากเหตุผลข้างต้น ในขณะที่เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ได้ทำการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการเติมเกลือโซเดียมเบนซีนซัลไฟเนต (sodium benzene sulfinate salts) เพิ่มเข้าไปเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมใช้ร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์/เอมีน[6] โดยเกลือโซเดียมเบนซีนซัลไฟเนตจะทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด เกิดเป็นอนุมูลอิสระฟีนิล (phenyl free radical) หรืออนุมูลอิสระเบนซีนซัลโฟนิล (benzenesulfonyl free radical) เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ได้อีกทางหนึ่ง[20] ทำให้เทอร์เทียรีเอมีนที่มีอยู่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากรดเบสไปมาก จึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเกลือโซเดียมซัลไฟเนตสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกันในภาวะปราศจากแสงได้ แต่ไม่เท่ากับเมื่อทำการฉายแสงร่วมด้วย[21,30] อย่างไรก็ตามเกลือโซเดียมเบนซีนซัลไฟเนตเป็นตัวจับออกซิเจนที่ดี ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนเกลือโซเดียมเบนซีนซัลไฟเนตบางส่วนจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) และไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมในปฏิกิริยารีดอกซ์เพื่อสร้างอนุมูลอิสระได้สมบูรณ์ จึงเป็นไปได้ว่าไม่สามารถ กำจัดปฏิกิริยากรดเบสได้หมด ทำให้ปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นเกิดได้ไม่สมบูรณ์[31] และในการศึกษานี้กลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพรเมอร์ทูไม่ได้มีการใช้ออกซิการ์ดทู (Oxyguard II, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) เคลือบทับส่วนของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับแท่งเรซินคอมโพสิตหลังการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ จึงเกิดชั้นออกซิเจนอินฮิบิทที่ผิวเรซินซีเมนต์ส่วนที่เป็นรอยต่อได้ ออกซิเจนที่ค้างอยู่จึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับเกลือโซเดียมเบนซีนซัลไฟเนตในเรซินซีเมนต์ได้มากกว่ากรณีที่มีการใช้ออกซิการ์ดทูเคลือบทับ ดังนั้นถ้ามีการใช้ออกซิการ์ดทูร่วมด้วยน่าจะทำให้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มีค่าความ

แข็งแรงยึดเฉือนดีขึ้น

อีกเหตุผลหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้ อาจเนื่องมาจากการที่บรรจุภัณฑ์ของเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์เป็นแบบ 2 หลอดแยก ประกอบด้วยส่วนเบส (base) และคะตะลิสต์ (catalyst) ทำให้ขณะทำการผสมด้วยมือ อาจเกิดฟองอากาศในเนื้อเรซินซีเมนต์ได้[32,33] นอกจากนั้นมีความเป็นไปได้สูงที่อัตราส่วนระหว่างเบสและคะตะลิสต์ที่ใช้อาจไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ทางเคมี ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์ตามมาได้[34] โดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รูปที่ 4, 5 และ 6 พบรูพรุนในเนื้อของเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มากกว่าเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีที่ประกอบด้วยเบสและคะตะลิสต์อยู่ในหลอดคู่กัน มีการผสมแบบหลอดฉีดออโตมิกซ์ (auto-mixed syringe)[24]

นอกจากนี้ปริมาณวัสดุอัดแทรกยังส่งผลต่อการยึดติดด้วยเช่นกัน แม้ว่าเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากกว่าจะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เช่น ความแข็งแรง (strength) ความเหนียว (stiffness) สูงกว่าเป็นต้น[1] อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่าปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากกว่ามีผลทำให้ระดับการเกิดโพลีเมอร์ (polymer) ลดลง โดยจากการศึกษาของ Tezvergil-Mutluay และคณะ[35] พบว่าปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากมีผลลดอัตราการเปลี่ยนโมโนเมอร์เป็นโคโพลีเมอร์ (copolymer) ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบร่วมกัน เนื่องจากวัสดุอัดแทรกที่มากจะทำให้ปริมาณเรซินโมโนเมอร์มีสัดส่วนต่ำ เกิดสายโพลีเมอร์ได้น้อย ทำให้ระดับการเกิดโพลีเมอร์ลดลง อีกทั้งความข้นหนืดที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากทำให้อนุมูลอิสระถูกจำกัดการเคลื่อนที่ได้[36] จากการศึกษานี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิด พบว่าเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีมีปริมาณวัสดุอัดแทรกร้อยละ 43.3 โดยปริมาตร[37] ส่วนเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มีปริมาณวัสดุอัดแทรกร้อยละ 59 โดยปริมาตร[38] จากปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากกว่าของเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์อาจมีผลทำให้ระดับการเกิดโพลีเมอร์ลดลง ย่อมส่งผลต่อค่าการยึดติด ทำให้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มีค่าความแข็งแรงยึดติดต่ำกว่าเรซินซีเมนต์เนกซัสทรี

ระบบสารยึดติดที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์น่าจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดเฉือนด้วย เพราะถึงแม้ว่าโดยส่วนประกอบแล้วเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์จัดเป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน โดยอีดีไพรเมอร์ทูแบ่งเป็น 2 ขวดคือ ไพรเมอร์เอและบี (Primer A and B) โดยทั้ง 2 ขวดไม่พบส่วนของเรซินโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการยึดติด จึงเหมือนเป็นการแยกขั้นตอนการทาสารยึดติด โดยส่วนนี้จะไปรวมอยู่กับส่วนของเรซินซีเมนต์ซึ่งเป็นไดเมทาคริยเลตโมโนเมอร์ (dimethacrylate monomer) แต่เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอนการใช้งานแล้วมีลักษณะคล้ายเป็นแบบขั้นตอนเดียว และไม่มีการฉายแสงสารยึดติดก่อน ด้วยขั้นตอนการใช้งานดังกล่าวอาจทำให้เกิดลักษณะชั้นสารยึดติดที่บางและยอมให้น้ำผ่านได้ เป็นผลให้ความแข็งแรงยึดติดที่ได้มีค่าต่ำ ต่างจากออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนการทาสารไพรเมอร์ตามด้วยการทาสารยึดติด และมีการฉายแสงสารยึดติดก่อนทำการยึดชิ้นงาน ซึ่งการถูกคั่นกลางด้วยชั้นสารยึดติดที่ไม่ชอบน้ำทำให้น้ำจากท่อเนื้อฟันผ่านมาสู่ชั้นของเรซินซีเมนต์ได้น้อย[14,39] อีกทั้งการฉายแสงอาจส่งผลให้ระดับการเปลี่ยนโมโนเมอร์ในชั้นสารยึดติดและชั้นไฮบริดดีขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงขึ้นได้[17] ดังภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ และออฟติบอนด์ออลอินวัน ดังรูปที่ 5 และ 6 แสดงชั้นสารยึดติดคั่นระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ด้วยเหตุผลเดียวกันการฉายแสงออฟติบอนด์ออลอินวันซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวอาจเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนที่ได้สูงกว่าอีดีไพรเมอร์ทูร่วมกับเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ แต่ค่าที่ได้ยังคงต่ำกว่าออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์จากลักษณะที่มีความชอบน้ำมากกว่าของระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวเอง นอกจากนี้การมีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่จากการเป่าลมไม่เพียงพอ จากการที่อีดีไพรเมอร์ทูมีน้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวซึ่งระเหยได้ยากกว่าการใช้เอทานอล

(ethanol) หรืออะซีโตน (acetone) ร่วมด้วย เช่น ในสารไพรเมอร์ของออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ และออฟติบอนด์ออลอินวัน จึงอาจทำให้ความเป็นกรดของโมโนเมอร์ยังไม่หมดไป และน้ำที่เหลือค้างอยู่เองยังไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันได้[40]

เมื่อพิจารณาในส่วนของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์ระหว่างแบบ 2 ขั้นตอน และขั้นตอนเดียวที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงพบว่า ออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่าเมื่อใช้ร่วมกับออฟติบอนด์ออลอินวันซึ่งเป็นสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์เป็นวัสดุที่ผลิตออกสู่ท้องตลาดได้ไม่นาน ทำให้มีการศึกษาค่อนข้างน้อย และทั้งหมดเป็นการศึกษาที่ใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิตซึ่งเป็นวัสดุอุดฟัน[41,42] ไม่พบการศึกษาที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบในแง่ของระบบการยึดติดพบว่าผลการศึกษานี้สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่พบว่าการใช้เรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนต่างให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดสูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว[14-19] และจากการศึกษาของ Sezinando และคณะ[41] ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ของออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ และออฟติบอนด์ออลอินวันกับเนื้อฟัน พบว่าเมื่อใช้ออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ร่วมกับเรซินคอมโพสิตให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงกว่าออฟติบอนด์ออลอินวัน แม้ว่าค่าจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำมาเทียบเคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ไม่มีผลของปฏิกิริยากรดเบสมาเกี่ยวข้องจากการที่เนกซัสทรีไม่มีเทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยาแล้ว แต่ยังคงพบว่าออฟติบอนด์ออลอินวันให้ค่าการยึดติดที่ต่ำกว่าออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียวมีชั้นสารยึดติดที่ยอมให้น้ำผ่านได้บางส่วน[6,7,12,14,31,32] ซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมสลายที่บริเวณผิวสัมผัสของเรซินซีเมนต์กับสารยึดติด ต่างจากออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์ที่มีการคั่นกลางด้วยชั้นสารยึดติดที่ไม่ชอบน้ำ จึงไม่พบลักษณะชั้นสารยึดติดที่ยอมให้น้ำผ่านได้ ทำให้น้ำจากท่อเนื้อฟันผ่านไปสู่ชั้นเรซินซีเมนต์ได้น้อย[14] จึงให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนที่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ถึงแม้จะผ่านการเทอร์โมไซคลิงแล้วก็ตาม

สำหรับค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนหลังเทอร์โมไซคลิงเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ไม่ว่าจะเป็นเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ร่วมกับอีดีไพร-เมอร์ทู หรือเนกซัสทรีร่วมกับออฟติบอนด์เอ็กซ์ทีอาร์และออฟติบอนด์ออลอินวันต่างให้ค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใต้ความชื้นขณะทำเทอร์โมไซคลิง ร่วมกับระยะเวลาที่ชิ้นทดสอบแช่น้ำนานกว่า 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดความเค้นเชิงกล (mechanical stress) จากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันของเนื้อฟัน เรซินซีเมนต์ และเรซินคอมโพสิต มีผลทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดติดที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะได้[43] นอกจากนี้เมื่อมีการดูดซึมน้ำส่งผลให้เกิดการย่อยสลายการยึดติดระหว่างเมทริกซ์ (matrix) และวัสดุอัดแทรกโดยน้ำและอุณหภูมิ (hydrothermal degradation) ซึ่งเกิดจากขบวนการเทอร์โมไซคลิงทำให้ชั้นเรซินซีเมนต์เกิดการอ่อนตัวลง เกิดการสลายของตัวเรซินซีเมนต์เอง[44] และการกระจายแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และผิวเนื้อฟันเปลี่ยนแปลงไป ถึงแม้จะมีแรงมากระทำเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดการหลุดได้[33,44] สอดคล้องกับลักษณะการหลุดที่พบของกลุ่มเรซินซีเมนต์เนกซัสทรีเป็นแบบแอดฮีซีฟมากขึ้นหลังการทำเทอร์โมไซคลิง อย่างไรก็ตามสำหรับการศึกษานี้พบว่าการทำเทอร์โมไซคลิง 5000 รอบอาจยังไม่เพียงพอให้สรุปได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปการใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์ชนิดใดให้ค่าความแข็งแรงยึดเฉือนดีที่สุด สรุปได้เพียงว่าหลังทำเทอร์โมไซคลิงแล้ว ค่าความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ในทุกกลุ่มการทดลองลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความเสื่อมของเรซินซีเมนต์ดังกล่าวไปแล้วข้างต้น

บทสรุป

ภายใต้ขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า

1. เรซินซีเมนต์ที่ไม่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่าเรซิน

ซีเมนต์ที่ใช้เทอร์เทียรีเอมีนร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์

2. การใช้เรซินซีเมนต์ที่ไม่มีเทอร์เทียรีเอมีนร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบ 2 ขั้นตอนให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนสูงกว่าเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์แบบขั้นตอนเดียว

3. ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณ บริษัทแอ๊คเตออน (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เอสดี เอส เคอร์ จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์วัสดุเพื่อทำการศึกษา ขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kramer N, Lohbauer U, Frankenberger R. Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 2000; 13(Spec No): 60D-76D.
2. Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am* 2007; 51(3): 643-658.
3. Burgess JO, Latta MA, White RC. 2006. “ADA professional product review: Dual cure resin-based cements: Expert panel discussion.” [cited 2011 June 16]. Available from http://www.ada.org/goto/ppr.
4. Lopes GC, Baratieri LN, de Andrada MA, Vieira LC. Dental adhesion: present state of the art and future perspectives. *Quintessence Int* 2002; 33(3): 213-224.
5. Ernst CP. Options for dentin bonding. *J Esthet Restor Dent* 2006; 18(2): 61-67.
6. Carvalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NR, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. *J Dent* 2004; 32(1): 55-65.
7. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent* 2002; 30(7-8): 371-382.
8. Moszner N, Salz U, Zimmermann J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater* 2005; 21(10): 895-910.
9. Salz U, Zimmermann J, Salzer T. Self-curing, self-etching adhesive cement systems. *J Adhes Dent* 2005; 7(1): 7-17.
10. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007; 51(2): 453-471.
11. Endo T, Finger WJ, Hoffmann M, Kanehira M, Komatsu M. The role of oxygen inhibition of a self-etch adhesive on self-cure resin composite bonding. *Am J Dent* 2007; 20(3): 157-160.
12. Tay FR, Pashley DH. Water treeing--a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent* 2003; 16(1): 6-12.
13. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc* 2003; 69(11): 726-731.
14. Cheong C, King NM, Pashley DH, Ferrari M, Toledano M, Tay FR. Incompatibility of self-etch adhesives with chemical/dual-cured composites: two-step vs one-step systems. *Oper Dent* 2003; 28(6): 747-755.

15. Schittly E, Bouter D, Le Goff S, Degrange M, Attal JP. Compatibility of five self-etching adhesive systems with two resin luting cements. *J Adhes Dent* 2010; 12(2): 137-142.
16. Knobloch LA, Gailey D, Azer S, Johnston WM, Clelland N, Kerby RE. Bond strengths of one- and two-step self-etch adhesive systems. *J Prosthet Dent* 2007; 94(4): 216-222.
17. Viotti RG, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 2009; 102(5): 306-312.
18. D'Arcangelo C, De Angelis F, DíAmario M, Zazzeroni S, Ciampoli C, Caputi S. The influence of luting systems on the microtensile bond strength of dentin to indirect resin-based composite and ceramic restorations. *Oper Dent* 2009; 34(3): 328-336.
19. Bracket WW, Tay FR, Looney SW, Ito S, Haisch LD, Pashley DH. Microtensile dentin and enamel bond strengths of recent self-etching resins. *Oper Dent* 2008; 33(1): 89-95.
20. Cavalcanti SC, de Oliveira MT, Arrais CA, Giannini M. The effect of the presence and presentation mode of co-initiators on the microtensile bond strength of dual-cured adhesive systems used in indirect restorations. *Oper Dent* 2008; 33(6): 682-689.
21. Asmussen E, Peutzfeldt A. Bonding of dual-curing resin cements to dentin. *J Adhes Dent* 2006; 8(5): 299-304.
22. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA. Effect of sodium sulfinate salts on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems exposed to attenuated light-activation. *J Dent* 2009; 37(3): 219-227.
23. Kerr corporation. 2011. "NX3 Nexus third generation advancements." [cited 2011 July 9]. Available from http://www.kerrdental.com/index/kerrdental-cements-nx3-advancements-2.
24. Kerr corporation. 2011. "NX3. Nexus third generation. Truly universal." [cited 2011 July 9]. Available from http://www.creativdental.hu/files/NX3%20prospektus.pdf.
25. Kerr corporation. 2011. "OptiBond XTR research." [cited 2011 August 22]. Available from http://www.kerrdental.com/kerrdental-bonding-optibond-xtr-research-2.
26. Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 2005; 9(3): 161-167.
27. CRA foundation. Clinicians' guide to dental products & techniques. *CRA* 2007; 31(7): 1-4.
28. Peutzfeldt A, Sahafi A, Flury S. Bonding of restorative materials to dentin with various luting agents. *Oper Dent* 2011; 36(3): 266-273.
29. 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.
30. Leevailoj C, Ua-wutthikrerk P, Poolthong S. Shear bond strength of dual-cured and self-cured resin composites to dentin using different bonding agents and techniques. *Oper Dent* 2007; 32(2): 149-159.
31. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chuang S, Feng L. 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.

32. Sanares AM, Itthagarun A, King NM, Tay FR, Pashley DH. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. *Dent Mater* 2001; 17(6): 542-556.
33. Mese A, Burrow MF, Tyas MJ. Sorption and solubility of luting cements in different solutions. *Dent Mater J* 2008; 27(5): 702-709.
34. de Gee AJ, ten Harkel HC, Davidson CL. The influence of mixing ratio on the working time, strength and wear of composites. *Aust Dent J* 1989; 34(5): 466-469.
35. 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.
36. Rueggeberg FA, Caughman WF. The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Oper Dent* 1993; 18(2): 48-55.
37. Kerr corporation. 2012. "NX3 Nexus Third Generation FAQs." [cited 2012 November 9]. Available from http://www.kerrdental.com/kerrdental-cements-nx3-faq-2.
38. Kuraray Co., Ltd. 2012. "What is the filler loading for Panavia F2.0 paste?" [cited 2012 November 9]. Available from http://www.kuraraydental.com/component/fss/?view=kb&kbartid=86.
39. Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanares AM, Wei SH. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent* 2003; 5(1): 27-40.
40. de Oliveira FG, Anchieta RB, Rahal V, et al. Correlation of the hybrid layer thickness and resin tags length with the bond strength of a self-etching adhesive system. *Acta Odontol Latinoam* 2009; 22(3): 177-181.
41. Sezinando A, Perdigao J, Regalheiro R. Dentin bond strengths of four adhesion strategies after thermal fatigue and 6-month water storage. *J Esthet Restor Dent* 2012; 24(5): 345-355.
42. Walter R, Swift EJ, Boushell LW, Braswell K. Enamel and dentin bond strengths of a new self-etch adhesive system. *J Esthet Restor Dent* 2011; 23(6): 390-396.
43. Korkmaz Y, Gurgan S, Firat E, Nathanson D. Effect of adhesives and thermocycling on the shear bond strength of a nano-composite to coronal and root dentin. *Oper Dent* 2010; 35(5): 522-529.
44. Söderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res* 1990; 69(12): 1812-1816.