

รอยร้าวระดับจุลภาคของเดือยฟันเส้นใยสำเร็จรูปเมื่อยึดด้วย วัสดุทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองและเรซินซีเมนต์ที่ มีการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวม

ธีรชัย ลิ้มปิลาวณิชย์*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์รอยร้าวระดับจุลภาคของเดือยฟันเส้นใยสำเร็จรูปเมื่อยึดด้วยวัสดุ ทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองและเรซินซีเมนต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวม ฟันกราม น้อยล่างของมนุษย์จำนวน 60 ซี่ ซึ่งผ่านการรักษาคคลองรากฟันตามการรักษาทางวิทยาเอ็นโดดอนต์ จากนั้น เตรียมคลองรากฟันสำหรับเดือยเส้นใยซึ่งยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวม จำนวน 30 ซี่ และยึดด้วยวัสดุทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวม จำนวน 30 ซี่ นำฟันที่บูรณะแล้วจำนวน 60 ซี่ มาตัดส่วนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ได้ชิ้นงานทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชั้นต่อ 1 รากฟัน คือ ระดับใกล้คอฟฟัน (L1) ระดับกลางรากฟัน (L3) และระดับใกล้ปลาย รากฟัน (L5) นำชิ้นงานทั้งหมด แช่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว ทำการบันทึกรอยร้าวระดับจุลภาคทั้ง 3 ระดับภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า นำข้อมูลที่บันทึกได้มา ทำการทดสอบทางสถิติโดยใช้ แมนวิทนียูและครัสคัลวาลิส ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการทดลองพบว่า รอยร้าวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะทั้ง 2 ชนิดทั้ง 3 ระดับของคลองรากฟันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับเดียวกันของคลองรากฟัน พบว่ารอยร้าวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะ ทั้ง 2 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สรุปผลการศึกษาค้นพบว่า ชนิดของวัสดุบูรณะและ ระดับคลองรากฟัน ไม่มีผลต่อรอยร้าวระดับจุลภาคของการยึดเดือยฟันเส้นใยกับผนังคลองรากฟัน

คำสำคัญ: รอยร้าวระดับจุลภาค เรซินซีเมนต์ วัสดุทำแกนฟัน บ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสง ผนังคลองรากฟัน

*อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

Microleakage of Fiber Post Bonded with Dual-Cured Composite Resin Core Build-Up Material and Total-Etched Resin Cement

Teerachai Limlawan*

Abstract

The objective of this study was to evaluate microleakage of two types of root canal restored with bonded fiber post. Both types of restoration are fiber post bonded with total-etched adhesive system and resin cement and that bonded with dual-cured composite resin core build-up material associated with total-etched adhesive. Sixty extracted human lower premolar were obtained and standard root canal treatment was performed. Post space was afterward prepared and prefabricated fiber post was luted using total-etched resin cement (30 teeth) and dual-cured composite resin core build-up material associated with total-etched adhesive (30 teeth). The sixty restored teeth were cross-sectioned. Within one restored tooth, there are sectioned into three specimen which are 1 millimeter thickness. (cervical level (L1), middle level(L3), and apical level(L5)) After immersion in 2 % methylene blue solution for 24 hours, microleakage was determined under stereomicroscope (40x) using standardized scores. Mann Whitney U test and Kruskal-Wallis test were used for statistical analysis at confidence level of 95%. The results showed that microleakage of two restorative materials at 3 levels of root canal was not significant different ($p>0.05$). Moreover, comparison 2 restorative materials, no statistical differences ($p>0.05$) in microleakage scores were presented when examined at the same level of root canal. It can be concluded that both 2 restorative materials and 3 levels of root canal had not an effect on microleakage between fiber post and root canal wall.

Keywords: Microleakage, Resin cement, Core buildup material, Dual-cured, Root canal wall

*Lecturer, Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok, 10110

บทนำ

ปัจจุบันการใช้เดือยฟันเส้นใยบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากการทำงานที่สะดวกและรวดเร็ว เมื่อเกิดความผิดพลาดสามารถรื้อออกได้ โดยสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างฟันเพียงเล็กน้อย เดือยฟันเส้นใยเช่น เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber post) มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน คืออยู่ในช่วง 16-40 จิกะปาสคาล [1] ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงกระแทก (impact resistance) ดูดซับแรงกระแทก (shock absorption) และเพิ่มความต้านทานต่อความล้า (fatigue resistance) เป็นผลให้ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดการแตกหักของรากฟันในแนวตั้ง (vertical root fracture) [2-3] มีความสวยงามสูงจึงพิจารณาใช้ในการบูรณะฟันหน้า เพราะเดือยฟันเส้นใยคอทซ์และเดือยฟันเส้นใยแก้วมีความใสและโปร่งแสง [4] การยึดเดือยฟันเส้นใยด้วยคอมโพสิตซีเมนต์จะช่วยให้การยึดอยู่ให้แก่เดือยฟันเส้นใยภายในคลองรากฟันและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของคลองรากฟัน [5-6] เนื่องจากทำให้เกิดการถ่ายทอดแรงจากการบดเคี้ยวลงสู่เนื้อฟันได้ดี เป็นการช่วยเสริมโครงสร้างของฟันที่อ่อนแอให้สามารถทำหน้าที่ได้ [2,7] และนอกจากนี้การยึดเดือยฟันเส้นใยด้วยคอมโพสิตซีเมนต์จะช่วยลดรอยร้าวระดับจุลภาคที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและซีเมนต์ ลดการเกิดรอยพุทุยภูมิ (secondary caries) และการติดเชื้อใหม่ที่บริเวณเนื้อเยื่อปลายรากฟัน [8]

ขั้นตอนการยึดเดือยฟันเส้นใยกับผนังคลองรากฟันที่ได้รับการกรอขยายสามารถทำได้ง่าย ซึ่งการใส่เดือยฟันเส้นใยในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันจำเป็นต้องใช้เดือยฟันเส้นใยที่มีลักษณะนำแสงและยึดติดกับผนังคลองรากฟันด้วยระบบยึดติดร่วมกับเรซินซีเมนต์ ปัจจุบันจำแนกเรซินซีเมนต์ได้ตามการใช้งานทางคลินิกโดยแยกตามระบบยึดติดที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์คือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบยึดติดแบบ

กรดกัดรวม (total-etch adhesive resin cement) เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบยึดติดแบบเซลฟ์เอตซ์ (self-etch adhesive resin cement) และเรซินซีเมนต์ชนิดยึดติดได้เอง (self-adhesive resin cement) เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดเดือยฟันเส้นใยกับผนังคลองรากฟันนั้นจำเป็นต้องมีสารยึดติดเป็นตัวเชื่อมให้มีการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบสารยึดติดให้สามารถใช้งานได้สะดวกและลดระยะเวลาในการทำงาน เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบยึดติดแบบกรดกัดรวมมีประสิทธิภาพการยึดติดสูงแต่มีขั้นตอนการใช้หลายขั้นตอน เริ่มต้นจากการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 ปรับสภาพผิวเนื้อฟัน ล้างน้ำเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์และนำเอาแร่ธาตุออกจากเนื้อฟัน ส่วนเนื้อฟันจะเหลือเป็นโครงร่างของเส้นใยคอลลาเจน (collagen network) ทาสารไพรเมอร์ (primer) เพื่อให้แทรกซึมเข้าไปช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน จากนั้นการทาสารบอนด์ติง (bonding agent) [9] เรียกว่าสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบสามขั้นตอน (three-step total-etch adhesive) เช่น แอดเปอร์สก็อทซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส (Adper Scotchbond Multi-Purpose, 3M ESPE) ดังแสดงในตารางที่ 1 ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบสองขั้นตอน (two-step total-etch adhesive) โดยยังคงใช้กรดฟอสฟอริกในการปรับสภาพผิวฟัน แต่รวมขั้นตอนการทำงานของการใช้ไพรเมอร์และสารยึดติดเข้าด้วยกัน ซึ่งช่วยให้ทำงานได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น ซิงเกิ้ลบอนด์ทู (Single bond 2, 3M ESPE) แต่พบว่ามิผลทำให้ประสิทธิภาพที่ต้องการของแต่ละขั้นตอนด้อยลง [10,15]

ในการยึดเดือยฟันเส้นใยกับผนังคลองรากฟัน โดยการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบสองขั้นตอน หรือสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตซ์ สภาวะความเป็นกรดของสารยึดติดของทั้ง 2 ระบบนี้มีผลต่อการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเอง

(self-cured resin cement) และเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง (dual-cured resin cement) โดยพบว่าบริเวณปลายของเดือยฟันเส้นใยชนิดนำแสงเป็นบริเวณที่ความเข้มของแสงจากเครื่องฉายแสงไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แบบ

บ่มเอง เมื่อกลุ่มเอมีนในเรซินซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic monomer) ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดความล้มเหลวของการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใย [11-14]

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ แอดเปอร์สก็อตช์บอนด์มัลติเพอร์โพส

Table 1. Compositions of Adper Scotchbond Multi-Purpose

ชนิดของวัสดุ	ประเภท	ส่วนประกอบ	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)
Adper Scotchbond Multi-Purpose	Three-step total etch adhesive	Component 1(etchant): 35% H ₃ PO ₄ Component 2: (Scotchbond Multi-Purpose primer) HEMA, polyalkenoic acid polymer, water Component 3: (Scotchbond Multi-Purpose adhesive) Bis-GMA, HEMA, tertiary amines (both for light-cure and self-cure initiators), photo-initiator	Primer: 3.3 Bonding: 8.2

Bis-GMA: bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate; HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate;

H₃PO₄ : phosphoric acid

การปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 ซึ่งเป็นกรดแก่ (strong acid) มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) น้อยกว่า 0.5 เป็นขั้นตอนการทำความสะอาดผิวฟันโดยกำจัดชั้นสเมียร์และละลายองค์ประกอบอินทรีย์สารในชั้นผิวเคลือบฟันทั้งพื้นผิวส่วนที่ถูกกรอตัด และไม่ถูกกรอตัด การกำจัดแร่ธาตุของชั้นผิวเคลือบฟันทำให้เกิดเป็นลักษณะพื้นผิวขรุขระเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการยึดติดและยังเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนผิวเคลือบฟัน [16] ทำให้เมื่อล้างกรดออกและทาสารยึดติดที่มีความหนืดต่ำให้แผ่ขยายและแทรกซึมเข้าไปในบริเวณที่ขรุขระ และเมื่อสารยึดติดเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ จะทำให้เกิดเป็น

ลักษณะแท่งเรซินขนาดเล็กยึดกับชั้นผิวเคลือบฟันได้ ซึ่งเป็นการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical retention) โดยแท่งเรซินที่เกิดขึ้นระหว่างปริซึมของผิวเคลือบฟัน เรียกว่า มาโครแท็ก (macrotags) และแท่งเรซินที่เกิดขึ้นในแต่ละปริซึมของผิวเคลือบฟันเรียกว่า ไมโครแท็ก (microtags) โดยประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างสารยึดติดกับผิวเคลือบฟันจะขึ้นอยู่กับไมโครแท็กเป็นหลัก เนื่องจากมีปริมาณและพื้นที่ในการสัมผัสกับผิวเคลือบฟันมากกว่า ซึ่งเมื่อมีการยึดติดที่ดีในชั้นผิวเคลือบฟันจะสามารถป้องกันการเกิดรอยรั่วระดับจุลภาค (microleakage) การติดคราบสี (staining) ได้ [17]

ในชั้นเนื้อฟัน กรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์รวมทั้งละลายองค์ประกอบ อนินทรีย์ในเนื้อฟัน ทำให้เกิดการเปิดออกของท่อเนื้อฟันและเผยให้เห็นใยคอลลาเจน สารยึดติดจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน (interfibrillar space) เกิดการผสานกันระหว่างส่วนของเนื้อฟันและสารยึดติดเกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) แม้ว่าสารยึดติดจะสามารถแทรกซึมลงไปเนื้อฟันเกิดเป็นแท่งเรซินขึ้น แต่พบว่าอาจไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการยึดกับเนื้อฟันโดยรวมหากไม่เกิดการยึดของแท่งเรซินกับเนื้อฟันผ่านการปรับสภาพที่อยู่รอบท่อเนื้อฟัน (hybridized tag) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเกิดชั้นไฮบริดถือว่ามีความสำคัญที่สุดต่อประสิทธิภาพการยึดติดของสารยึดติดกับเนื้อฟัน โดยพบว่าชั้นไฮบริดที่มีการแทรกซึมของสารยึดติดอย่างสมบูรณ์และทั่วถึงเข้าไปยังช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน จะส่งผลให้เกิดการยึดติดที่ดี ไม่เกิดการเสื่อมสภาพของชั้นไฮบริดในระยะยาว [18] หลังจากนั้นจะทาสารไพรเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีคุณสมบัติชอบความชื้น (hydrophilic monomer) ได้แก่ ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ที่ประกอบด้วยสองกลุ่มทำงาน (functional group) คือกลุ่มทำงานที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำรวมอยู่กับตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) เช่น อะซิโตน (acetone) หรือเอทานอล (ethanol) ทำให้มีแรงดึงผิวต่ำ ไหลแผ่ไปบนผิวฟันได้ดี สามารถแทนที่น้ำบนผิวเนื้อฟันและระเหยน้ำออกได้อย่างรวดเร็ว [19] โดยกลุ่มทำงานที่ชอบน้ำจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน กลุ่มทำงานที่ไม่ชอบน้ำจะจับกับสารยึดติด เป็นการเปลี่ยนแปลงผิวฟันให้มีคุณสมบัติไม่ชอบความชื้นซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นก่อนการใช้สารยึดติด และขั้นสุดท้ายเป็นการทาสารยึดติดซึ่งเป็นเรซินที่มีความหนืดต่ำแทรกซึมลงไปได้ตลอดความลึกของผิวฟันที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมกับไพรเมอร์ สารยึดติดจะสามารถยึดเกาะกับผิวเนื้อฟันได้ทั้งจากชั้นไฮบริด และแท่งเรซินที่แทรกซึมลงไปในท่อเนื้อฟัน [18]

มีการศึกษาที่พบว่าระบบกรดกัดรวมสามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้อย่างสมบูรณ์ มีผลทำให้ท่อเนื้อฟันเปิดออก ส่งเสริมให้สารยึดติดสามารถแทรกซึมลงไปได้ดีและทำให้เกิดชั้นไฮบริดที่หนา 5-10 ไมครอน รวมถึงเกิดแท่งเรซินได้ดีในท่อเนื้อฟัน โดยพบว่าเกิดแท่งเรซินยาวมากกว่า 100 ไมโครเมตร [20] ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคที่มีประสิทธิภาพเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) [21-23] นอกจากนี้พบลักษณะที่เชื่อมกันของแขนงทางด้านข้างจากแท่งเรซินซึ่งช่วยต้านต่อแรงเค้นที่เกิดจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ได้ จึงเป็นเหตุผลทำให้เกิดความแข็งแรงของพันธะเชิงกล (mechanical bonding strength) [24] มีการศึกษาที่พบว่าสารยึดติดระบบกรดกัดรวมมีค่าการยึดติดที่ดีกว่าสารยึดติดระบบอื่น [15,25-26] แต่ทั้งนี้ยังมีการศึกษาที่ขัดแย้งกันทั้งในด้านที่พบว่ามีการยึดติดที่ดีกว่าและมีการยึดติดไม่แตกต่างกัน [27-28]

สารยึดติดชนิดกรดกัดรวมแบบสองขั้นตอนและสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอตซ์ อาจมีผลจากความเปราะกรวดของเรซินมอนอเมอร์ ซึ่งจะทำการเกิดพอลิเมอร์ของซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปกติ โดยจะส่งผลกระทบต่อระบบเปอร์ออกไซด์เอมีนไฮดรอกไซด์ (peroxide-amine binary redox system) จากการที่ความเป็นกรดของเรซินมอนอเมอร์ที่หลงเหลืออยู่ในชั้นที่ถูกยับยั้งปฏิกิริยาด้วยออกซิเจน (oxygen inhibition layer) ของสารยึดติดจะไปทำปฏิกิริยากับเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) ทำให้หมู่เอมีนที่จะทำปฏิกิริยาชนิดบ่มเองลดลง มีผลให้การสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ลดลง ทำให้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงการยึดติดต่ำในสภาวะบ่มเอง [29-30] ดังนั้นจึงถือได้ว่าระบบสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบ 3 ขั้นตอนเป็นมาตรฐานที่ดีที่สุด (gold standard) [10] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองจะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อมีการบ่มเอง

เพียงอย่างเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับเรซินซีเมนต์ที่มีการบ่มด้วยแสงร่วมด้วย [31]

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบจากการใช้งานสารยึดติดในระบบกรดกัดรวม คือขั้นตอนการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกและการล้างน้ำ เป็นขั้นตอนที่ทำให้สมบรูณ์และถูกต้องได้ยากโดยเฉพาะการปรับสภาพเนื้อฟัน เนื่องจากเนื้อฟันมีองค์ประกอบอินทรีย์เป็นเส้นใยคอลลาเจนซึ่งคงอยู่ภายหลังการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก การรักษาความชื้นของเนื้อฟันให้พอเหมาะเพื่อคงช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนเป็นสิ่งจำเป็นก่อนทาสารไพรเมอร์และสารยึดติดเพื่อให้สารยึดติดสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ โดยหากผิวเนื้อฟันแห้งคอลลาเจนเกิดการพับตัว (collapse) ทำให้สารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไประหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้ในทางตรงกันข้ามหากเนื้อฟันภายหลังการปรับสภาพด้วยกรดแล้วมีความชื้นหลงเหลืออยู่มากเกินไป (overwet phenomenon) ก็จะทำให้สารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมได้อย่างสมบูรณ์โดยตัวทำละลายในสารยึดติดไม่สามารถระเหยเอาน้ำออกไปได้ทั้งหมด เกิดเป็นช่องว่างอยู่ภายในชั้นไฮบริดหรือภายในชั้นของสารยึดติดส่งผลต่อประสิทธิภาพการยึดติด [32] นอกจากนี้การใช้กรดฟอสฟอริกซึ่งมีความเข้มข้นค่อนข้างสูงในการปรับสภาพผิวฟัน ทำให้มีการละลายขององค์ประกอบอินทรีย์ของเนื้อฟันออกมามากเกินไปทำให้การแทรกซึมของสารยึดติดเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นช่องว่างในส่วนลึกของชั้นไฮบริด (nanoleakage) ส่งผลเสียต่อความคงทนของการยึดติดระยะยาว [10]

นอกจากการแบ่งตามระบบการยึดติดตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งตามกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การเกิดพอลิเมอร์ชนิดบ่มเอง การเกิดพอลิเมอร์ชนิดบ่มด้วยแสง (light-cured polymerization) และการเกิดพอลิเมอร์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง [9] โดยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์เกิดจากระดับการเปลี่ยนของคาร์บอนพันธะคู่ไปเป็นคาร์บอน

พันธะเดี่ยว (degree of conversion) ถ้ามีการเปลี่ยนของคาร์บอนพันธะคู่ไปเป็นคาร์บอนพันธะเดี่ยวไม่สมบูรณ์ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ การที่มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นมีผลสัมพันธ์กับสมบัติ เช่น ความแข็งผิว (surface hardness) ความทนแรงดัด (flexural strength) ความทนแรงดึง (tensile strength) ความทนการสึก (wear resistance) มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น และการทนความเค้นของการแตกหัก (fracture toughness) เป็นต้น [31,33] เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเองต้องการระยะเวลาในการก่อตัว แต่ในบริเวณที่แคบ และเข้าทำงานไม่สะดวก เช่นภายในคลองรากฟัน อาจทำให้ยากในการควบคุมเวลาทำงาน การเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยระบบเปอร์ออกไซด์และเอมีนโบนารีรีดอกซ์ ซึ่งประกอบด้วยสารเปอร์ออกไซด์และเอมีนตติยภูมิในการเกิดพอลิเมอร์ ทั้งนี้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเองมีข้อดีคือช่วยส่งเสริมให้เกิดการกระจายความเค้นที่เกิดจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ และเกิดพอลิเมอร์ได้ในช่องว่างระหว่างผนังคลองรากฟันและเดือยฟัน [34] ส่วนการเกิดพอลิเมอร์ชนิดบ่มด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วง 460-468 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นสารไดคีโตน (diketone) เช่นแคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) โดยมีเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถควบคุมเวลาทำงานได้แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการยึดเดือยฟัน แม้ว่าใช้เดือยฟันนำแสง เนื่องจากความเข้มแสงมีปริมาณลดลงจากด้านใกล้ตัวฟันไปสู่ปลายรากฟัน [33] ทำให้มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ต่ำ ส่งผลทำให้มีสมบัติทางกลต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงส่งผลให้เกิดความแข็งแรงในการยึดติดกับเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟันที่ลดลง [35] จึงได้มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง มีส่วนผสมของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาชนิดบ่มด้วยแสง และส่วนผสมของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาการบ่มเอง เพื่อใช้ในการเริ่มต้นการเกิดพอลิเมอร์ในส่วนที่แสงไม่สามารถส่องถึง เช่นภายใน

คลองรากฟัน [31] โดยเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาในการทำงานและทำให้ระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงขึ้น [36]

ถึงแม้ว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองสามารถก่อตัวในบริเวณลึกที่สุดของคลองรากฟันซึ่งแสงจากเครื่องฉายแสงไม่สามารถส่องผ่านลงไปได้ มีการศึกษาที่พบว่าความแข็งแรงการยึดติดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึดติดเพียงฟันเส้นใยที่ความลึกของคลองรากฟันที่ระดับใกล้ตัวฟันจะมีความแข็งแรงการยึดติดสูงกว่าบริเวณอื่น [22,35,37] อย่างไรก็ตามยังมีผลการศึกษาที่ตรงข้ามกันที่พบว่าบริเวณใกล้รากฟันมีความแข็งแรงการยึดติดสูงกว่าบริเวณอื่น [38]

มีการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของการยึดติดพบว่ามีความมากขึ้นเมื่อเนื้อฟันปราศจากน้ำที่ตกค้างในชั้นไฮบริด โดยการใช้สารละลายเอทานอลปรับสภาพก่อนการทาสารยึดติด ในทางปฏิบัติ ทันตแพทย์ไม่สามารถทำให้เนื้อฟันปราศจากน้ำ ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้ใช้ระบบสารยึดติดระบบกรดรวมที่มีการปรับสภาพผิวฟัน 3 ขั้นตอนที่ทำให้ลดการซึมผ่านของน้ำจากท่อเนื้อฟัน [39-40] ซึ่งประกอบด้วยชั้นที่ไม่ชอบน้ำและปราศจากการตกค้างบนสารยึดติดซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาการยับยั้งเอมีนตติยภูมิในเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเอง [12-13]

เรซินซีเมนต์ มีส่วนประกอบคล้ายกับเรซินคอมพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันคือ เรซินเมทริกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพอลิเมอร์ เช่น บิสจีเอ็มเอ ((2,2-bis[4(2-hydroxy-3-methacryloyl-oxy-propoxy)phenyl]propane) : bis-GMA) เมทิลเมทาโครเลต (methylmethacrylate) หรือ ยูรีเทนไดเมทาโครเลต (Urethane dimethacrylate : UDMA) ช่วยเพิ่มให้มีสมบัติดีขึ้น [41-42] สารเติม (filler) เป็นสารประกอบอินทรีย์ ทำหน้าที่คงรูปของเรซินเมทริก [41] มีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 0.04 ไมโครเมตรถึงขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร โดยส่วนใหญ่เป็นควอทซ์และแก้วเช่น แบริยมซิลิเกต เป็นส่วนประกอบร้อยละ 20 ถึง 80 โดยน้ำหนัก สารไซเลน (silane coupling

agent) ทำหน้าที่ช่วยประสานเรซินเมทริกและสารเติมเข้าด้วยกันระหว่างการก่อตัว ประกอบด้วยกลุ่มฟังก์ชันเมท็อกซี (methoxy) ซึ่งจะเกิดการไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) และทำปฏิกิริยากับสารเติมอินทรีย์วัตถุและกลุ่มที่ไม่อิ่มตัวของกลุ่มอินทรีย์วัตถุในขณะการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ [42] สารตั้งต้นปฏิกิริยา (initiator) เป็นตัวเริ่มต้นในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ โดยทั่วไปแล้วเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงมีแคมฟอร์ควิโนนเป็นตัวเริ่มต้นให้เกิดอนุมูลอิสระโดยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 468 ± 20 นาโนเมตร [41] และจากนั้นจะไปกระตุ้นเอมีนตติยภูมิให้อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นโดยปล่อยประจุทำให้เกิดอนุมูลอิสระ [43] และเกิดการแตกตัวของคาร์บอนพันธะคู่ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ ส่วนเรซินคอมพอลิเมอร์ชนิดบ่มเองมีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาทำให้เกิดอนุมูลอิสระเมื่อผสมส่วนของสารป้าย (paste) และส่วนของสารเร่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกัน ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเองเริ่มจากการถ่ายทอดประจุของเปอร์ออกไซด์และนิวคลีโอฟิลิกเทอร์ติเออรีเอมีน (nucleophilic tertiary amine) การถ่ายทอดประจุระหว่างมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดกับเอมีนตติยภูมิ ทำให้เกิดการขัดขวางการเกิดอนุมูลอิสระ และยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ [44] พบในเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดชนิดเซลฟี่เอตซ์เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองมีการก่อตัว 2 ขบวนการคือ ปฏิกิริยาบ่มเองและบ่มด้วยแสง ซึ่งมีข้อดีคือช่วยเพิ่มระยะเวลาในการทำงานและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากคาร์บอนพันธะคู่เป็นพันธะเดี่ยวสูงขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะที่มีแสงหรือไม่มีแสง [45] ในการยึดชิ้นงานกับฟันหลัก ชั้นของเรซินซีเมนต์ที่แสงสามารถส่องเข้าถึงจะเกิดปฏิกิริยาการบ่มด้วยแสงจากนั้นเกิดการกระเจิงของแสงเข้าสู่บริเวณที่แสงส่องไม่ถึงเรซินซีเมนต์บริเวณที่แสงจากเครื่องฉายแสงไม่สามารถส่องไปถึงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์แบบบ่มเองเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อได้รับแสงเป็นตัวกระตุ้น [46] เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองที่นิยมใช้กันในคลินิกชนิดหนึ่งคือ วาริโอลิงค์ทู

(Variolink II) วาริโอลิงค์ทูเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบ 4 ขั้นตอน เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ใช้การปรับสภาพผิวฟัน โดยใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 มีซินแท็กไพรเมอร์ (syntac primer) ซินแท็กแอดฮีซีฟ (syntac adhesive) ร่วมกับฮีลิโอบอนด์

(heliobond) ซึ่งใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีในส่วนของเรซินซีเมนต์จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ซีเมนต์รองพื้น (base) กับตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปแบบของสารป้าย นอกจากนี้ยังมีหลายสีให้เลือกใช้ และมีความทึบรังสี ซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบทางภาพรังสีได้ง่าย [47] ดังแสดงส่วนประกอบในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของวาริโอลิงค์ทู และลักซาคอร์

Table 2. Compositions of Variolink II and Luxacore Z-Dual

เรซินซีเมนต์	ส่วนประกอบ
Variolink® II	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, barium glass, ytterbium trifluoride, barium-aluminiumfluorosilicate glass, silica
Luxacore® Z-Dual	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, aliphatic dimethacrylate, aromatic dimethacrylate, barium glass, silica

Bis-GMA: bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate; TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate;

UDMA: urethane dimethacrylate

ลักซาคอร์ (LUXACORE® Z-Dual) เป็นเรซินคอมโพสิตที่ใช้เป็นทั้งวัสดุก่อแกนฟันและสารเชื่อมยึด (luting agent) โดยเป็นวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง มีความทึบรังสี ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนเมทริกคือ บิสจีเอ็มเอ ยูดีเอ็มเอ และทีอีจีดีเอ็มเอ ซึ่งมีแก้วแบเรียม และซิลิกา เป็นส่วนประกอบ และส่วนของสารเติมร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก และมีสารเติมขนาดอนุภาค 0.02-4 ไมโครเมตร โดยมีความคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ คือ ความทนแรงอัด 300 เมกะปาสคาล ความทนแรงดึง 60 เมกะปาสคาล ความทนแรงดัด 100 เมกะปาสคาล การดูดซับน้ำ (water sorption) 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร [22] โดยทางผู้ผลิตแนะนำให้ใช้กับลักซาบอนด์ (Luxa-

Bond) ซึ่งเป็นสารยึดติดระบบกรดกัดรวมแบบสองขั้นตอน ทั้งนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ลักซาคอร์ร่วมกับสารยึดติดในระบบกรดกัดรวมแบบ 2 และ 3 ขั้นตอน พบว่าการใช้สารยึดติดที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ระหว่างลักซาคอร์และเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน [48]

ปัจจุบันพบว่าการยึดติดกับผิวเคลือบฟันประสบความสำเร็จค่อนข้างมาก ในขณะที่การยึดติดกับเนื้อฟันยังคงเป็นปัญหา ดังนั้นจึงมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาสารยึดติดให้สามารถยึดกับเนื้อฟันอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบและโครงสร้างของเนื้อฟันที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และน้ำในปริมาณ

มากกว่าผิวเคลือบฟัน รวมทั้งลักษณะโครงสร้างของท่อเนื้อฟันที่เชื่อมต่อไปยังโพรงเนื้อเยื่อใน (dental pulp) ความชื้นของเนื้อฟันทั้งจากภายนอก (external dentin wetness) และภายใน (internal dentin wetness) และของเหลวที่อยู่ในท่อเนื้อฟัน (dentinal fluid) เป็นสิ่งขัดขวางประสิทธิภาพในการยึดติด โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่อเนื้อฟันส่วนที่อยู่ใกล้ต่อโพรงเนื้อเยื่อในมีขนาดใหญ่ และมีปริมาณท่อเนื้อฟันหนาแน่นกว่าเนื้อฟันส่วนที่ไกลจากโพรงเนื้อเยื่อใน [18] ทั้งนี้จึงเป็นเหตุผลที่สอดคล้องกันในการยึดติดบริเวณเนื้อฟันของคลองรากฟันที่ค่อนข้างยาก จากข้อจำกัดในการควบคุมความชื้นดังที่กล่าวมา [35] การที่เนื้อฟันเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำรวมอยู่ด้วยซึ่งประกอบไปด้วยโครงแบบคอลลาเจนอินทรีย์ที่มีการเสริมแรงด้วยแร่ธาตุ และมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งทางกายวิภาคโครงสร้างซึ่งมีคุณสมบัติที่ต่างกันทางกายภาพในเนื้อฟันแต่ละส่วน จะตอบสนองต่อการปรับสภาพด้วยกรดและไพโรเมอร์ หรือเซลฟ์เอซซิงไพโรเมอร์ แอตซีซีฟแตกต่างกัน ดังนั้นในระหว่างขั้นตอนการยึดติดกับเนื้อฟันจึงมีการซึมผ่านของสารยึดติดเรซินที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งของเนื้อฟันที่ได้รับการปรับสภาพแล้ว ซึ่งอาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ [49] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความแข็งแรงของพันธะแตกต่างกันด้วย โดยทั่วไปแล้วบริเวณเนื้อฟันส่วนพื้นผิว (superficial dentin) จะมีความแข็งแรงของพันธะมากกว่าเนื้อฟันในส่วนที่อยู่ลึก จากการศึกษานี้ของ Burrow ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความแข็งแรงของพันธะยังเกี่ยวข้องกับคุณภาพของชั้นไฮบริดมากกว่าความลึกของเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพด้วยกรด [50]

การรั่วซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อระหว่างผิวฟันและสารเชื่อมยึดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงในการบูรณะฟันด้วยเดือยฟันเส้นใย โดยสารเชื่อมยึดจะต้องให้การยึดติดกับเนื้อฟันอย่างแนบสนิทและมีความแข็งแรง ในขณะที่เดียวกันสารเชื่อมยึดจะต้องมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเนื้อฟัน [51-52] จากการศึกษาของ Bastos และคณะ [24] และ Foxton

และคณะ [53] พบว่าการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมและเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตซ์ที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็มีผลการศึกษาที่ขัดแย้งกันคือการศึกษาของ Basaran และคณะ [21] และ Bachicha และคณะ [60] พบว่าการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมและเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตซ์ที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมพบการรั่วซึมระดับจุลภาคน้อยกว่า และจากการศึกษาของ Erkut และคณะ [64] พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ระดับต่าง ๆ ของคลองรากฟันแบบผายเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบกรดกัดรวมยึดเดือยฟันเส้นใย

การวัดการรั่วซึมของสารที่ใช้ในทางทันตกรรมแบ่งเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับไมโครเมตรและระดับนาโนเมตร จากการส่องกล้องอิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชันพบการรั่วซึมของสารระดับไมโครเมตรระหว่างฟันและวัสดุบูรณะฟันซึ่งอาจเกิดจากการหดตัวของเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ หรือเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของวัสดุบูรณะมีค่าไม่เท่ากับฟัน ซึ่งการวัดการรั่วซึมในระดับไมโครเมตรเป็นวิธีที่ใช้มานาน มีประสิทธิภาพดี เตรียมชิ้นงานง่าย และราคาประหยัด ซึ่งสามารถทำได้โดยการแช่ชิ้นงานด้วยสีย้อมซึ่งมีหลายชนิดโดยอนุภาคของสีย้อมมีขนาดเล็กประมาณ 120 นาโนเมตร สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันได้อย่างดี นอกจากนี้ความเข้มข้นและระยะเวลาในการย้อมสีมีผลต่อการแทรกซึมของสี พบว่าการใช้สีย้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้นร้อยละ 2 (2% methylene blue) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาการรั่วซึมที่เห็นได้ชัดเนื่องจากสารเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจนที่เปลี่ยนแปลงสภาพอย่างถาวร [54]

ในการวัดการรั่วซึมระดับต่างๆ ทั้งในตัวฟันหรือคลองรากฟัน จำเป็นจะต้องตัดโครงสร้างของฟันที่ต้องการศึกษาออกเป็นส่วนๆ โดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องตัดเฉพาะ เช่น เครื่องตัดไอโซเมต (Isomet a low-speed diamond saw, Buehler, Lake Bluff, IL, USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถตัดขวางหรือตัดวัสดุในแนวยาว สามารถตัดได้ทั้งวัสดุชนิด โลหะ พลาสติก วัสดุชีวภาพ แร่ เซรามิก วัสดุคอมพอสิตและหิน มีใบเลื่อยที่คมหมุนด้วยความเร็วที่สามารถปรับระดับได้ ใบเลื่อยฉาบด้วยเคลือบเพชรซึ่งทำให้วัสดุต้นแบบเสียหายน้อย สามารถตั้งเวลาในการทำงานได้ รวมถึงระบุระยะหรือความหนาของช่วงที่ตัดได้ [55]

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวารีโอลิงค์ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ระบบกรดกัดกรรมและลักซาคอร์ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตที่ใช้เป็นทั้งวัสดุก่อกันฟันโดยใช้งานร่วมกับบอนด์ดีนระบบกรดกัดกรรมซึ่งในภาพรวมวัสดุบูรณะทั้งสองชนิดมีการปรับสภาพโดยระบบกรดกัดกรรม ดังนั้นการยึดติดไม่น่าจะมีความแตกต่างกัน แต่จะมีความแตกต่างกันคือการใช้ลักซาคอร์ยึดติดเพียงฟันเส้นใยจะทำให้มีวิธการรอยต่อของวัสดุบูรณะน้อยกว่าและทำให้วัสดุบูรณะภายในคลองรากฟันเสมือนเป็นวัสดุชิ้นเดียวกัน ซึ่งโดยปกติการใช้วารีโอลิงค์ยึดติดเพียงฟันเส้นใยแล้วจะต้องมีขั้นตอนการทำวัสดุก่อกันฟันเพิ่มอีกหนึ่งขั้นตอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคของฟันเส้นใยสำเร็จรูปเมื่อยึดด้วยวัสดุทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองและเรซินซีเมนต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดกรรม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ได้รับอนุญาตระเบียบวิธีวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ใบอนุญาตเลขที่ 27/2557 ฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ จำนวน 60 ซี่ ที่มีปลายรากฟันปิดสมบูรณ์ มี 1 คลองรากฟัน และเป็นฟันที่ถูกลอนไม่เกิน 6 เดือน โดยซี่ฟันที่ทำการ

ทดลองนั้นได้รวบรวมจากคลินิกทันตกรรมของรัฐและคลินิกเอกชน โดยเป็นการถอนเพื่อการจัดฟันหรือถอนเนื่องจากโรคปริทันต์อักเสบ โดยไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้ว่าเป็นของผู้ใด ทำการเก็บในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นำฟันตัวอย่างมาคัดเลือก โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกคือไม่มีรอยพุ รอยร้าว หรือมีวัสดุบูรณะในส่วนรากฟันและไม่เคยได้รับการรักษาคคลองรากฟันมาก่อน โดยแต่ละซี่ต้องมีระยะจากปลายรากฟันถึงรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและผิวเคลือบฟัน 16 มิลลิเมตร เมื่อผ่านเกณฑ์ข้างต้นแล้วนำมาตรวจสอบลักษณะคลองรากฟันด้วยการถ่ายภาพรังสี

นำฟันที่ได้ผ่านการคัดเลือกตัวอย่างมาทำความสะอาด กำจัดเนื้อเยื่ออ่อน หินน้ำลาย และตัดส่วนตัวฟันออกโดยให้ได้ความยาว 18 มิลลิเมตร ซึ่งคือตำแหน่งเหนือรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและผิวเคลือบฟัน 2 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรอกากเพชร (Intensiv, Intensiv SA, Montagolo, Switzerland) กับเครื่องกรอความเร็วสูงที่มีน้ำช่วยลดความร้อน กำจัดเนื้อเยื่อในออกโดยใช้บาร์บโรซ หาความยาวของคลองรากฟันโดยใช้ เค โพล์เบอร์ 15 สอดผ่านคลองรากฟันจนเห็นปลายไฟล์ทะลุปลายรากฟัน ทำการลดความยาวไฟล์ให้พอดีกับรูเปิดปลายรากฟันใช้เป็นความยาวในการขยายคลองรากฟัน ทำการขยายคลองรากฟันจนถึงไฟล์เบอร์ 35 และขยายคลองรากด้วยวิธีสเต็ปแบ็ค (step-back technique) โดยจะทำการล้างคลองรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 1 มิลลิลิตรทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนขนาดของไฟล์และครั้งสุดท้ายล้างด้วยอีทีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 10 มิลลิลิตรนาน 1 นาที ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 10 มิลลิลิตรและน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร ชั้บคลองรากฟันให้แห้งด้วยแท่งกระดาษซับ ลองกัตตาเปอร์ชาแห่งหลัก (main cone) และอุดด้วยวิธีเลเทอร์อล คอนเดนเซชัน (lateral condensation) ร่วมกับซีเมนต์ฟีนิกคลองรากฟันที่ปราศจากยูจินอล เอเอชพลัส (AH Plus, Dentsply,

USA) ตัดกัตาเปอร์ชาส่วนบนออก 2 มิลลิเมตร กัดกัตาเปอร์ชาให้แน่นและอุดปิดด้านบนด้วยวัสดุอุดฟันชั่วคราวเควิตจี (CavitTMG, 3M ESPE, Germany) โดยจะตรวจสอบลักษณะในการอุดคลองรากฟันจากภาพถ่ายรังสี จากนั้นเก็บรากฟันที่ได้รับการอุดคลองรากฟันในความชื้นสัมพัทธ์ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ซีเมนต์เอเอสพลัสแข็งตัว

นำฟันทั้ง 60 ซี่ที่ได้ผ่านการเตรียมตามวิธีข้างต้นมาทำการตัดกัตาเปอร์ชาออก โดยใช้ หัวกรอพีโซ (peesoo drill) จากนั้นทำการแต่งคลองรากฟันด้วยหัวกรอสำหรับเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ (D.T. Pre-Shaping Drill, Kuraray Medical Inc., Tokyo, Japan) ซึ่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งความลึกของเดือยฟัน โดยในการทดลองนี้กำหนดให้เหลือกัตาเปอร์ชาจากปลายรากฟัน 4 มิลลิเมตร เมื่อได้ความลึกที่แน่นอนแต่งหน้าสัมผัสของกัตาเปอร์ชาให้เรียบ โดยพื้นที่สำหรับเดือยฟัน (post space) ต้องมีความลึก 14 มิลลิเมตรจากหน้าสัมผัสส่วนบนของกัตาเปอร์ชาที่เหลือไปถึงขอบบนสุดของรากฟันส่วนใกล้ตัวฟัน ทำการเตรียมคลองรากฟันตามความลึกที่กำหนดไว้โดยใช้หัวกรอสำหรับเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ อิลลูชั่น เอ็กซ์-อาร์โอเบอร์ 1 และเบอร์ 2 ตามลำดับ ซึ่งระหว่างที่มีการเตรียมคลองรากฟันก็จะล้างคลองรากฟันด้วยน้ำกลั่นทุกครั้งที่ย้ายหัวกรอ ลงเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ อิลลูชั่น เอ็กซ์-อาร์โอเบอร์ 2 (D.T. Light Illusion X-RO post No.2, Kuraray Medical Inc., Tokyo, Japan) ในคลองรากฟัน แล้วนำรากฟันมาฝังในอะคริลิกชนิดบ่มเอง (self-cured acrylic resin) ในแบบหล่อซิลิโคนขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร ซึ่งได้มาจากการแต่งซี่ฟันให้ได้ขนาดตามที่ต้องการและมีความขนานเพื่อให้ได้แนวที่ถูกต้องในการจับกับตัวยึดของเครื่องตัดฟัน โดยฝังลึก 4 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน ด้วยเครื่องสำรวจความขนาน (surveyor) เพื่อให้แกนฟัน (long axis) ตั้งฉากกับแนวระนาบ

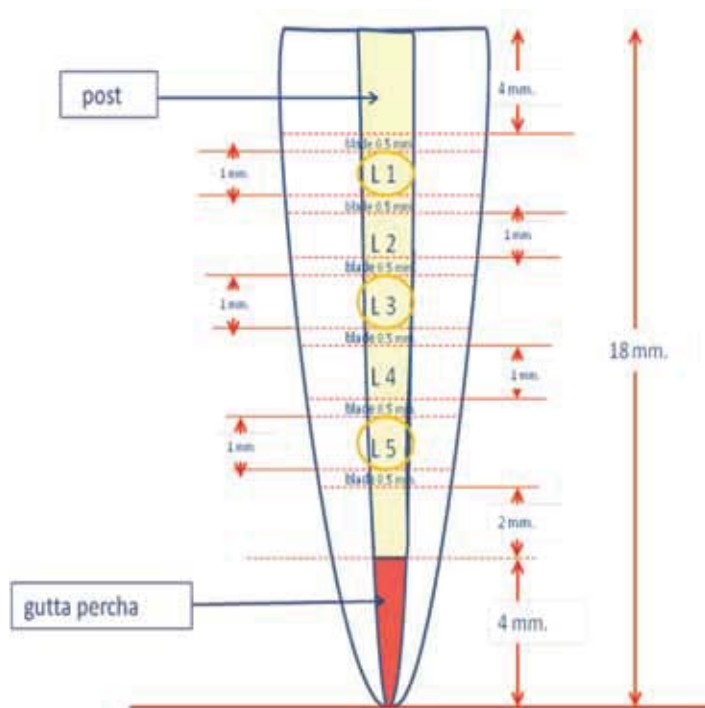
(horizontal plane) โดยอาศัยการดูแนวแกนฟันของรากฟันจากแนวเดือยฟันที่โพล์ฟันรากฟันขึ้นมาเพื่อให้แนวแกนรากฟันตั้งฉากกับแนวระนาบ

หลังจากทำการฝังรากฟัน จะทำการวัดขนาดและตัดเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ อิลลูชั่น เอ็กซ์-อาร์โอเบอร์ 2 ด้วยหัวกรอจากเพชรให้มีวัดความยาว 14 มิลลิเมตรเท่ากับพื้นที่สำหรับเดือยฟันที่เตรียมไว้ ทำความสะอาดเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ อิลลูชั่น เอ็กซ์-อาร์โอเบอร์ 2 โดยแช่ในเอทานอล 1 นาที และปล่อยให้แห้งก่อนนำไปยึด โดยไม่ทำการปรับสภาพ (pretreatment) เดือยฟันและทำความสะอาดคลองรากฟันด้วยอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และน้ำกลั่น ชั้บคลองรากฟันให้แห้งด้วยแท่งกระดาษซับ

ทำการแบ่งรากฟันเป็น 2 กลุ่ม โดยการสุ่มแต่ละกลุ่มจำนวน 30 ซี่ และนำไปยึดเดือยฟันสำเร็จรูปดีทีไลท์ อิลลูชั่น เอ็กซ์-อาร์โอเบอร์ 2 โดยกลุ่มที่ 1 ยึดด้วยแอดเพอร์สก็อติซบอนด์มัลติเพอร์โพส ตามขั้นตอนคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดยใช้เครื่องฉายแสงหลอดไฟฮาโลเจน (Pekalux, 3M ESPE, St.Pual, MN, USA) ในขั้นตอนที่ต้องฉายแสงต้องใช้เครื่องวัดความเข้มแสงแบบพกพา (Light intensity meter, Dentamerica, CA, USA) ทำการวัดความเข้มแสง (light intensity) ก่อนทำการทดลองทุกครั้งโดยเครื่องฉายแสงหลอดไฟฮาโลเจนต้องมีความเข้มแสง 600 N/cm² และส่วนปลายหน้าตัดของเครื่องฉายแสงตั้งฉากกับเดือยฟัน นำฟันมาที่ได้รับการบูรณะแล้วเก็บไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการตัดรากฟันเป็นแผ่นตามแนวอนและตั้งฉากกับแนวแกนรากฟันด้วยเครื่องตัดฟันไอโซเมตชนิดไบเลื่อยจากเพชรความเร็วรอบต่ำ โดยครั้งแรกจะตัดห่างหน้าตัดด้านใกล้ตัวฟันให้ได้แผ่นรากฟันขนาด 4 มิลลิเมตร คือส่วนที่ไม่ได้นำมาใช้ จากนั้นทำการตัดครั้งต่อไปจากด้านใกล้ตัวฟันไปยังด้านไกลปลายรากฟัน

โดยตัดให้แผ่นรากฟันมีความหนา 1 มิลลิเมตร เท่ากันทุกแผ่นจนได้แผ่นรากฟันตัวอย่างอีก 5 ชิ้น คือ L1 ถึง L5 ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากตัดแล้วจะได้แผ่นรากฟันตัวอย่างที่นำมาใช้ทั้งหมด 3 ชิ้น โดยมีตัวแทนของเดือยฟันด้านใกล้ตัวฟัน (cervical third) คือ L1 ส่วนกลางรากฟัน (middle third) คือ L3 และส่วนด้านใกล้ปลายรากฟัน (apical third) คือ L5 ต่อหนึ่งรากฟัน

ตัวอย่าง โดยชิ้น L2 และ L4 จะไม่นำมาใช้ ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากนั้นนำแผ่นรากฟัน L1 L3 และ L5 ตรวจสอบรอยร้าวของรากฟันและฟองอากาศของเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Olympus SZ61, Olympus Optical Co., Tokyo, Japan) กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 1 แสดงการตัดรากฟันที่ระดับต่าง ๆ ของชิ้นรากฟัน

Figure 1. Root section of specimen at different level

ภายหลังจากเก็บชิ้นงานไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปิดตำแหน่งรอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์ผนังคลองรากฟันอีก 1 มิลลิเมตรด้วยกระดาษกาวทั้งด้านบนและด้านล่าง ทาน้ำยาทาเล็บ (Revlon,

USA) ที่ชิ้นงานทดสอบ 2 ชิ้น ใช้คีมหนีบกระดาษกาวออก ชิ้นงานที่ทาน้ำยาทาเล็บเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงขอบเขตของน้ำยาทาเล็บห่างจากรอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์ 1 มิลลิเมตร
Figure 2. 1 millimeter nail vanish boundary around root canal wall-resin cement junction

ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะถูกลงรหัสแบบบอด (blind technique) เพื่อป้องกันผู้ประเมินทราบกลุ่มทดลอง ทั้ง 2 กลุ่ม หลังจากนั้นแช่ชิ้นงานในสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้นร้อยละ 2 ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาล้างน้ำกลั่น 5 นาที และนำไปส่องดูรอยรั่วระดับจุลภาคทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า โดยใช้ผู้ตรวจสอบ 1 คน และทำการให้คะแนนรอยรั่ว ชิ้นงาน ละ 2 ครั้ง โดยการสุ่มเลือก (ทำการตรวจสอบชิ้นงาน ทั้งหมด 2 รอบ โดยรอบที่ 1 ตรวจสอบรอยรั่วของชิ้นงานทั้งหมด 180 ชิ้น และนำชิ้นงานเดิมทั้ง 180 ชิ้น กลับมาตรวจรอยรั่วอีกครั้งเป็นรอบที่ 2) โดยเกณฑ์การ ตรวจสอบรอยรั่วระดับจุลภาคคือ ระดับ 0 คือ ไม่มีการแทรกซึมของสีย้อม ระดับ 1 คือ มีการแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณรอยรั่วไม่เกินครึ่งหนึ่งของวงของคลองรากฟัน ระดับที่ 2 คือ มีการแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณรอยรั่วเกินครึ่งหนึ่งของวงของคลองรากฟัน ระดับที่ 3 คือ มีการแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อ

ระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณ รอยรั่วทั้งวงของคลองรากฟัน ค่ารอยรั่วซีเมนต์ระดับจุลภาค ที่บันทึกได้จะนำมาทดสอบทางสถิติโดยครัสคัลวาลิส (Kruskal-Wallis) และแมนวิทนียู (Mann Whitney U) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมเอสพี เอสเอสเวอร์ชัน 17.0

ผลการทดลอง

รอยรั่วระดับจุลภาคระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มีการ ปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวมคือ วาลิโอลิงค์ทู และ วัสดุทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง ร่วมกับการ ปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวมคือ ลักซาคอร์ ที่ ระดับใกล้คอฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน พบว่ามีรอยรั่วระดับ จุลภาคทุกกลุ่มการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3 4 และ 5 และเมื่อเปรียบเทียบรอยรั่วระดับจุลภาคระหว่าง วาลิโอลิงค์ทู และลักซาคอร์ที่ระดับคลองรากฟันเดียวกัน พบว่า รอยรั่วระดับจุลภาคของวัสดุทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 เมื่อใช้การวิเคราะห์แบบครัสคัล วาลิส เปรียบเทียบรอยรั่วระดับจุลภาคของวาไลโอลิงค์ทุ ที่ระดับต่างของคลองรากฟันคือ ที่ระดับใกล้คอฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับใกล้ปลายรากฟันของ คลองรากฟัน พบว่าทั้ง 3 กลุ่มมีค่ารอยรั่วระดับจุลภาค ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 3 เมื่อใช้การวิเคราะห์แบบครัสคัล วาลิส เปรียบเทียบรอยรั่วระดับจุลภาคของลักซาคอร์ ที่ ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันคือ ที่ระดับใกล้คอฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับปลายใกล้รากฟันของ คลองรากฟัน พบว่าทั้ง 3 กลุ่มมีค่ารอยรั่วระดับจุลภาค ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 3 จำนวนของตัวอย่างวาไลโอลิงค์ทุและลักซาคอร์ (ร้อยละ) ของรอยรั่วระดับจุลภาคทั้ง 3 ระดับของ คลองรากฟัน

Table 3. Number of Variolink II and Luxacore specimen (percentage) of microleakage at 3 levels of root canal

Group	Dye penetration score			
	0	1	2	3
VC _a	0(0)	6(20)	15(50)	9(30)
VM _a	0(0)	0(0)	20(66.66)	10(33.33)
VA _a	0(0)	1(3.33)	21(70)	8(26.66)
LC _a	0(0)	9(30)	11(36.66)	10(33.33)
LM _a	0(0)	1(3.33)	20(66.66)	9(30)
LA _a	0(0)	1(3.33)	15(50)	14(46.66)

The same letters in group are not significantly different ($p>0.05$)

0 = ไม่มีการแทรกซึมของสีย้อม

1 = การแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณรอยรั่วไม่เกินครึ่งหนึ่ง ของวงของ คลองรากฟัน

2 = การแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณรอยรั่วเกินครึ่งหนึ่งของวงของคลองรากฟัน

3 = การแทรกซึมของสีย้อมที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์และปริมาณรอยรั่วทั้งวงของคลองรากฟัน

© VC คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยวาไลโอลิงค์ทุที่ระดับใกล้คอฟันของคลองรากฟัน

VM คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยวาไลโอลิงค์ทุที่ระดับกลางรากฟันของคลองรากฟัน

VA คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยวาไลโอลิงค์ทุที่ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน

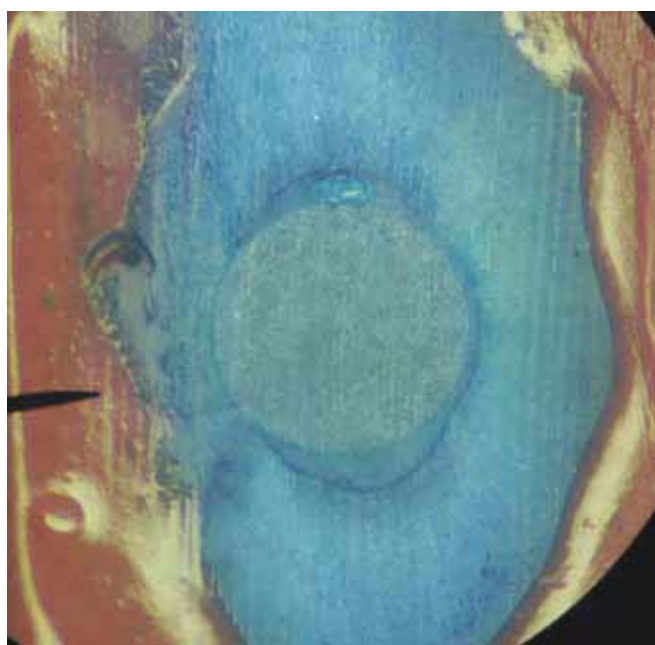
LC คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยลักซาคอร์ที่ระดับใกล้คอฟันของคลองรากฟัน

LM คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยลักซาคอร์ที่ระดับกลางรากฟันของคลองรากฟัน

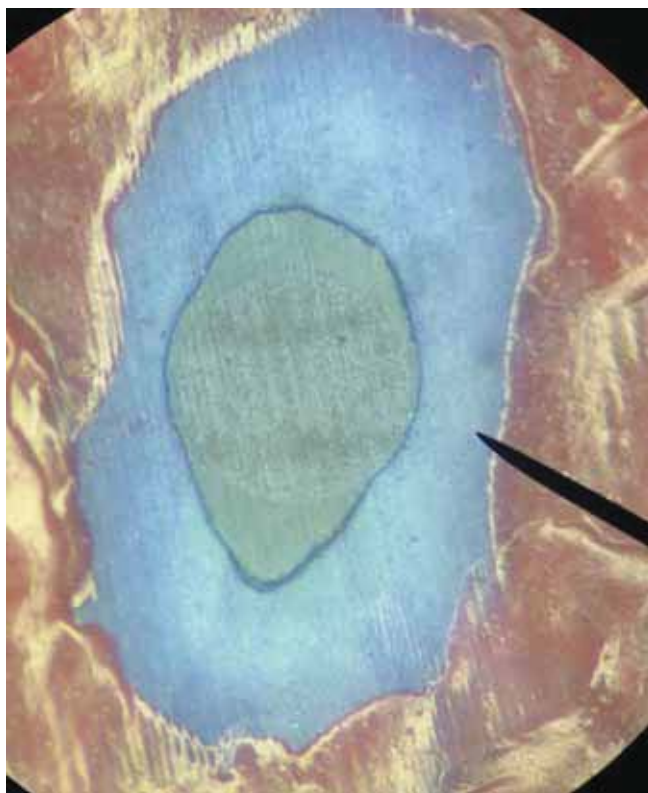
LA คือ กลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยลักซาคอร์ที่ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน



รูปที่ 3 แสดงรอยรั่วระดับจุลภาคของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยลักซาคอร์ ที่ระดับใกล้คอฟันของคลองรากฟัน
Figure 3. Microleakage of Luxacore specimen at cervical level of root canal



รูปที่ 4 แสดงรอยรั่วระดับจุลภาคของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยลักซาคอร์ ที่ระดับกลางรากฟันของคลองรากฟัน
Figure 4. Microleakage of Luxacore specimen at middle level of root canal



รูปที่ 5 แสดงรอยรั่วระดับจุลภาคของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกบูรณะด้วยวาเลียโอลิงค์ทู
ที่ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน

Figure 5. Microleakage of Variolink II specimen at apical level of root canal

บทวิจารณ์

การทดลองนี้ เป็นการวัดรอยรั่วระดับจุลภาคภายในคลองรากฟันโดยวัดรอยรั่วระดับจุลภาคที่ระดับต่างๆ ภายในคลองรากฟันคือ ที่ระดับใกล้คอฟัน ระดับกลางรากฟันและ ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน ซึ่งวิธีการวิจัยนี้ได้ถูกปรับปรุงจากงานวิจัยของอีร์ซัย และคณะในปี 2013 [56] ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอื่นที่จำลองรอยรั่วระดับจุลภาคภายในคลองรากฟันให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์ทางคลินิก คือ ออกแบบให้มีการรั่วของสีย้อมจากระดับใกล้คอฟันไปสู่ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน ดังนั้นอาจทำให้ค่าของรอยรั่วระดับจุลภาคภายในคลองรากฟันที่ได้ไม่สัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของเรซิน

คอมโพสิตภายในคลองรากฟันเพราะว่าถ้าเรซินคอมโพสิตที่ระดับใกล้คอฟันมีความแนบสนิทกับผนังคลองรากฟันดีและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์โดยสมบูรณ์จะเป็นตัวขวางกั้นไม่ให้สีย้อมแทรกซึมผ่านไปสู่ที่ระดับกลางรากฟันและระดับใกล้ปลายรากฟันได้

ในส่วนของการตรวจรอยรั่วระดับจุลภาคจะตรวจจากชิ้นงานที่มีรอยรั่วระดับจุลภาคที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์เท่านั้น โดยชิ้นงานที่จะนำมาบันทึกผลการทดลองจะต้องไม่พบการแพร่ของสีย้อมผ่านมาจากชั้นเนื้อฟันไปที่รอยต่อระหว่างผนังคลองรากฟันและเรซินซีเมนต์ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสีย้อมไม่ได้แพร่ผ่านจากท่อเนื้อฟันและทำให้เกิดรอยรั่วระดับจุลภาค

จากผลการทดลองพบว่าการใช้การปรับสภาพเนื้อฟันแบบกรดกัดรวมพบว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ วาริโอลิงค์ทู และลักซาคอร์ร่วมกับแอคเพอร์สก็อตซ์บอนด์ มัลติเพอร์โพส มีรอยร้าวระดับจุลภาคที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันคือ ที่ระดับใกล้คอฟฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Foxton ในปี 2003 [53] ที่พบว่ารอยร้าวระดับจุลภาคระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟันภายในคลองรากฟันที่ระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะว่าในการใช้ระบบกรดกัดรวมร่วมกับสารยึดติด 3 ชั้นตอน การใช้กรดปรับสภาพเนื้อฟันทำให้มีการกำจัดชั้นสเมียร์ ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ในการแพร่ผ่านของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองโดยสร้างชั้นไฮบริด [57-63] ภายหลังจากใช้ไพรเมอร์และสารยึดติด เป็นผลให้เกิดการยึดติดที่ดีกับเนื้อฟัน ชั้นไฮบริดนี้เป็นตัวเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์และที่สำคัญที่สุดคือระบบนี้ไม่มีกรดตกค้างเพราะมีการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำก่อนใช้ไพรเมอร์และสารยึดติดปรับสภาพผิวฟัน จึงลดปัญหาเรื่องความไม่เข้ากันของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองกับสารยึดติด [62] รอยร้าวระดับจุลภาคที่เกิดจากการใช้การปรับสภาพเนื้อฟันแบบกรดกัดรวมอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การควบคุมความชื้นภายในคลองรากฟันกระทำไต่ยาก [14] และการทาสารยึดติดก่อนการยึดเรซินซีเมนต์ทำได้ไม่ทั่วถึง [57-58] อีกทั้งเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองมีข้อจำกัดในการบ่มตัวจากการที่แสงจากเครื่องฉายแสงส่องลงไปไม่ถึงระดับปลายรากฟันเป็นผลให้เกิดการบ่มตัวที่ไม่สมบูรณ์ [59] ซึ่งผลการทดลองนี้แตกต่างจากการใช้เรซินซีเมนต์ระบบเซลเอตซ์ยึดติดฟันจากการศึกษาของธีรชัยและคณะในปี 2013 [56] พบว่าเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลเอตซ์ คือ ฟานาเวียเอฟ และเรซินซีเมนต์ที่มีสารยึดติดอยู่ในตัวเอง คือ เคลียฟิลเอสแอลูติง (CLEARFILTMSA LUTING) มีรอยร้าวระดับจุลภาคที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันคือ ที่

ระดับใกล้คอฟฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าเมื่อรอยร้าวระดับจุลภาคที่ระดับใกล้ปลายรากฟัน ระดับกลางรากฟัน และระดับใกล้คอฟฟันของคลองรากฟันจากมากไปน้อยตามลำดับ ดังนั้นการเกิดรอยร้าวระดับจุลภาคนั้นจะสัมพันธ์กับความแข็งตึง (rigidity) ของเดือยฟันเส้นใย การละลายตัวของซีเมนต์ และความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และผนังคลองรากฟัน [65,67]

เมื่อเปรียบเทียบรอยร้าวระดับจุลภาคที่ระดับใกล้คอฟฟันของคลองรากฟัน วาริโอลิงค์ทูและลักซาคอร์ร่วมกับแอคเพอร์สก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส พบว่ามีรอยร้าวระดับจุลภาคที่รอยต่อของวัสดุบูรณะทั้ง 2 กับผนังคลองรากฟัน แต่รอยร้าวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเป็นผลมาจาก ที่ระดับใกล้คอฟฟันของคลองรากฟันเป็นระดับที่เดือยฟันเส้นใยไม่แนบสนิทกับผนังคลองรากฟันทำให้มีความหนาของเรซินซีเมนต์หรือเรซินคอมโพสิตแกนฟันค่อนข้างมาก มีการศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองที่มีส่วนประกอบของ บีสจีเอ็มเอเป็นส่วนใหญ่ จะมีสมบัติการยึดหยุ่นตัวต่ำ ความหนืดสูงและมีการหดตัวหลังจากการเกิดพอลิเมอร์มาก อีกทั้งยังมีสมบัติชอบน้ำ จึงเป็นผลให้เกิดการดูดกลับของน้ำภายหลังจากบ่มตัวของเรซินเมื่อเปรียบเทียบกับ ทีอีจีดีเอ็มเอ [66] ประกอบกับเป็นบริเวณที่มีความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงมาก [68] ดังจะพบได้จากการศึกษาของ Yoldas O และคณะ [69] พบว่าความลึกของเดือยนำแสงที่เหมาะสมที่สุดที่แสงมีผลต่อการกระตุ้นให้เรซินซีเมนต์แข็งตัวด้วยแสงนั้นคือลึกลงไปไม่เกิน 8-10 มิลลิเมตร จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เรซินคอมโพสิตมีการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์มากและทำให้แยกตัวจากผนังคลองรากฟันทำให้ลึย้อมสามารถแทรกซึมผ่านได้ในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Fogel และคณะ [74] และ Jung และคณะ [75] ซึ่งทดสอบความแนบ

สนิทของเรซินซีเมนต์ระบบกรดกัดรวมและผนังคลองรากฟันพบว่า เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ระบบกรดกัดรวมร่วมกับเดือยฟันเส้นใยระบบต่างๆ มีการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน และ Tjan และคณะ [76] พบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ระบบกรดกัดรวมยึดเดือยฟันมีการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟันไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบรอยรั่วระดับจุลภาคที่ระดับกลางรากฟันของคลองรากฟัน วาริโอลิงค์ทูและลักซาคอร์ร่วมกับแอตเปอร์สก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส พบว่ามีรอยรั่วระดับจุลภาคที่รอยต่อของวัสดุบูรณะทั้ง 2 และผนังคลองรากฟัน แต่รอยรั่วระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเป็นผลมาจาก ที่ระดับกลางรากฟันของคลองรากฟันมีความหนาของเรซินซีเมนต์หรือเรซินคอมโพสิตแกนฟันรอบเดือยฟันเส้นใยลดลง น่าจะเป็นผลให้เรซินคอมโพสิตมีการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ลดลง และระยะทางที่ไกลจากปลายท่อนำแสงเป็นผลให้ความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงลดลง และทำให้วัสดุที่มีการบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเองมีการเปลี่ยนโหมมดการทำงานไปเป็นแบบบ่มเองมากขึ้นเป็นผลให้การหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ลดลง แต่เนื้อฟันในส่วนกลางรากฟันมีความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันที่น้อยกว่าเนื้อฟันที่บริเวณใกล้คอฟฟัน [21] เป็นผลให้มีการเกิดเรซินแทรกน้อยกว่าทำให้ความแข็งแรงการยึดติดกับเนื้อฟันในส่วนกลางรากฟันไม่ตีเท่ากับเนื้อฟันส่วนใกล้คอฟฟัน เป็นผลให้เรซินคอมโพสิตเกิดการแยกตัวจากผนังคลองรากฟัน [69]

เมื่อเปรียบเทียบรอยรั่วระดับจุลภาคที่ระดับใกล้ปลายรากฟันของคลองรากฟัน วาริโอลิงค์ทูและลักซาคอร์ร่วมกับแอตเปอร์สก็อตซ์บอนด์มัลติเพอร์โพส พบว่ามีรอยรั่วระดับจุลภาคที่รอยต่อของวัสดุบูรณะทั้ง 2 และผนังคลองรากฟัน แต่รอยรั่วระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเป็นผลมาจากเนื้อฟันบริเวณใกล้ปลายรากฟันจะมีสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการยึดติด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นและการกระจายตัวของ

ท่อเนื้อฟันต่ำ เป็นเนื้อฟันทุติยภูมิที่ไม่สม่ำเสมอ (irregular secondary dentin) และเนื้อฟันบริเวณนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับเคลือบรากฟัน (cementum-like tissue) [70] อีกทั้งคลองรากฟันเป็นสภาพที่มีลักษณะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการยึดติดของสารเรซินจากปัจจัยซี ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างพื้นผิวเรซินที่มีการยึดติดต่อพื้นผิวที่ไม่ยึดติด [71] โดยถ้ามีอัตราส่วนของพื้นผิวที่มีการยึดติดมาก จะทำให้มีความเค้นที่เกิดจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ บนพื้นผิวที่มีการยึดติดมากขึ้น ซึ่งในคลองรากฟันมีค่านี้น้อยกว่า [35] เนื่องจากผนังคลองรากฟันมีด้านตรงข้ามและมักพบพื้นผิวที่ไม่ยึดติดได้น้อย โดย Morris และคณะในปี 2001 ได้ประเมินค่าปัจจัยซีในคลองรากฟันอาจอยู่ในช่วง 20-100 ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของคลองรากฟัน [72] ทั้งนี้ลักษณะที่ไม่เอื้อต่อการยึดติดทำให้เป็นไปไม่ได้ที่จะเกิดลักษณะโมโนบล็อก โดยเมื่อเกิดความเค้นภายในคลองรากฟันที่มากจะทำให้เกิดช่องว่างจากการยึดติดทั้งในวัสดุอุดคลองรากฟันและเดือยฟัน [49] โดยพบว่าจะมีช่องว่างเกิดมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งยังส่งผลต่อค่าการยึดติดที่ลดลงด้วย [35]

จากที่กล่าวมาจะพบว่า การสูญเสียการยึดติดที่หน้าสัมผัสของเดือยฟัน ซีเมนต์และเนื้อฟัน ยังคงเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความล้มเหลว [73] ของการบูรณะเดือยฟันเส้นใยด้วยเรซินซีเมนต์ เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อความแข็งแรงของพันธะที่เกิดขึ้นจริงที่หน้าสัมผัสเดือยฟัน-ซีเมนต์-เนื้อฟัน ได้แก่ ระดับความลึกภายในคลองรากฟัน ความชื้นของเนื้อฟันในคลองรากฟันส่งผลต่อความยากในการควบคุมความชื้น สารที่ใช้ในการปรับสภาพและสารที่ใช้ร่วมกับซีเมนต์ที่ใช้ยึด การใช้ซิลเลอร์ที่มียูจินอลเป็นส่วนประกอบ ความไม่เข้ากันระหว่างระบบของสารยึดติดและเรซินซีเมนต์ โครงสร้างของคลองรากฟันที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการยึดติดของเรซินจากค่าปัจจัยซี ความแตกต่างทางกายวิภาคในความหนาแน่นและการเรียงตัวของท่อเนื้อฟันในระดับที่แตกต่างกันของคลอง

รากฟัน นอกจากนี้ ความยากของการมองเห็นในคลองรากฟันก็สามารถส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการยึดติดได้เช่นกัน [21,35]

บทสรุป

รอยร้าวระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุทำแกนฟันแบบบ่มด้วยแสงร่วมกับบ่มเอง ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวม และเรซินซีเมนต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวแบบกรดกัดรวมกับผนังคลองรากฟันที่เกิดจากการยึดติดโดยพื้นเส้นใยชนิดนำแสง พบรอยร้าวระดับจุลภาคทุกระดับของผนังคลองรากฟันกับวัสดุทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และรอยร้าวระดับจุลภาคทุกระดับของผนังคลองรากฟันในวัสดุชนิดเดียวกันก็ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประจำปี 2558 สัญญาวิจัยเลขที่ 071/2558

เอกสารอ้างอิง

1. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 1999; 27(4): 275-278.
2. Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Lepley JB. Prefabricated dowels: a literature review. *J Prosthet Dent* 1983; 49(4): 498-503.
3. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 51(6): 780-784.
4. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various type of opaque posts. *J Prosthet Dent* 2000; 83(4): 412-417.
5. Cohen BI, Pagnillo MK, Newman I, Musikant BL, Deutsch AS. Retention of three endodontic posts cemented with five dental cements. *J Prosthet Dent* 1998; 79(5): 520-525.
6. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3): 280-301.
7. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials* 2002; 23(13): 2667-2682.
8. Reid LC, Kazemi RB, Meiers JC. Effect of fatigue testing on core integrity and post microleakage of teeth restored with different post systems. *J Endod* 2003; 29(2): 125-131.
9. Stamatacos C, Simon JF. Cementation of Indirect restorations: an overview of resin cements. *Compend Contin Educ Dent* 2013; 34(1): 42-44, 46.
10. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, et al. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J* 2005; 24(1): 1-13.
11. 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.
12. 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.

13. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factor contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cure or dual-cured composites. part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent* 2003; 5(4): 267-282.
14. de Silveira Teixeira C, Santos Felipe MC, Silva-Sousa YT, de Sousa-Neto MD. Interfacial evaluation of experimentally weakened roots restored with adhesive materials and fibre posts: an SEM analysis. *J Dent* 2008; 36(9): 672-682.
15. Marques de Melo R, Bottino MA, Galvão RK, Soboyejo WO. Bond strengths, degree of conversion of the cement and molecular structure of the adhesive-dentine joint in fibre post restorations. *J Dent* 2012; 40(4): 286-294.
16. Chappell R, Spencer P, David Erick J. The effect of current dentinal adhesives on the dentinal surface. *J Dent Res* 1994; 25(12): 851-859.
17. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003; 28(3): 215-235.
18. Swift EJ Jr, Perdigão J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int* 1995; 26(2): 95-110.
19. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Adhesion to root canal dentine using one and two-step adhesives with dual-cure composite core materials. *J Oral Rehabil* 2005; 32(2): 97-104.
20. Hayashi M, Okamura K, Wu H, Takahashi Y, Koytchev EV, Imazato s, et al. The root canal bonding of chemical-cured total-etch resin cements. *J Endod* 2008; 34(5): 583-586.
21. Basaran EG, Ayna E, Halifeoglu M. Microleakage of endodontically treated teeth restored with 3 different adhesive systems and 4 different fiber-reinforced posts. *J Prosthet Dent* 2012; 107(4): 239-251.
22. Bitter K, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM. In vitro evaluation of push-out bond strengths of various luting agents to tooth-colored posts. *J Prosthet Dent* 2006; 95(4): 302-310.
23. Hayashi M, Takahashi Y, Hirai M, Iwami Y, Imazato S, Ebisu S. Effect of endodontic irrigation on bonding of resin cement to radicular dentin. *Eur J Oral Sci* 2005; 113(1): 70-76.
24. Bastos PCA, Faria DE, Bridi EC, Amaral FLB, Franca FMG, Florio FM, Basting RT. Push-out bond strength and sealing ability of etch-and-rinse and self-etching adhesives used for fiberglass dowel bonding at different depths of the root canals. *Rev Odontol UNESP* 2011; 40(4): 174-181.
25. Pereira JR, Lins do Valle A, Ghizoni JS, Lorenzoni FC, Ramos MB, Dos Reis So MV. Push-out bond strengths of different dental cements used to cement glass fiber posts. *J Prosthet Dent* 2013; 110(2): 134-140.
26. Hayashi M, Okamura K, Wu H, Takahashi Y, Koytchev EV, Imazato s, et al. The root canal bonding of chemical-cured total-etch resin cements. *J Endod* 2008; 34(5): 583-586.

27. Mosharraf R, Haerian A. Push-out bond strength of a fiber post system with two resin cements. *Dent Res J* 2011; Dec 8(Suppl 1): 88-93.
28. 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.
29. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chuang SF, Li F. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesive and self-cured or dual-cured composites. Part II. single-bottle, total-etch adhesive. *J Adhes Dent* 2003; 5(2): 91-105.
30. 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.
31. Nakajima M, Kanemura N, Pereira PN, Tagami J, Pashley DH. Comparative microtensile bond strength and SEM analysis of bonding to wet and dry dentin. *Am J Dent* 2000; 13(6): 324-328.
32. Lovell L, Newman SM, Bowman CN. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behaviour of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res* 1999; 78(8): 1469-1476.
33. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004; 15(3): 176-184.
34. Faria e Silva AL, Arias VG, Soares LE, Martin AA, Martins LR. Influence of fiber-post translucency on the degree of conversion of a dual-cured resin cement. *J Endod* 2007; 33(3): 303-305.
35. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater* 2003; 19(3): 199-205.
36. Marques de Melo R, Galhano G, Barbosa SH, Valandro LF, Pavanelli CA, Bottino MA. Effect of adhesive system type and tooth region on the bond strength to dentin. *J Adhes Dent* 2008; 10(2): 127-133.
37. Kremeier K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N. Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dent Mater* 2008; 24(5): 660-666.
38. Zicari F, De Munck J, Scotti R, Naert I, Van Meerbeek B. factors affecting the cement-post interface. *Dent Mater* 2012; 28(3): 287-297.
39. Cavalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NR, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentin. *J Dent* 2004; 32(1): 55-65.
40. King NM, Tay FR, Pashley DH, et al. Conversion of one-step to two-step self-etch adhesives for improved efficacy and extended application. *Am J Dent* 2005; 18(2): 126-134.
41. Albers HF. Tooth colored restoratives: principles and techniques. 9th ed. London: BC Decker Inc; 2002. p.111-123.

42. Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's restorative dental materials. 13thed. St. Louis: Mosby; 2002. p.342-344.
43. Watts DC. Reaction kinetics and mechanics in photo-polymerised networks. Dent Mater 2005; 21(1): 27-35.
44. Cheong C, King NM, Pashly 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.
45. McComb D. Adhesive luting cements-classes, criteria, and usage. Compen Contin Educ Dent 1996; 17(8): 759-773.
46. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with difference activation modes. J Oral Rehabil 2002; 29(3): 257-262.
47. Wattanasukchai P, Sakoolnamarka R, Arksornnukit M. Adhesion of resin core foundation composites to root canal dentin using different dentin adhesives. Am J Dent 2010; 23(2): 98-102.
48. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. J Adhes Dent 2005; 7(3): 235-240.
49. Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. Dent Mater 2006; 22(1): 45-56.
50. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: A Theoretical Modeling Approach. J Endod 2005; 31(8): 584-589.
51. Asmussen E, Peutzfeldt A. Bonding of dual-curing resin cements to dentin. J Adhes Dent 2006; 8(5): 299-304.
52. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements : a literature review. J Adhes Dent 2008; 10(4): 251-258.
53. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Bonding of photo and dual-cure adhesives to root canal dentin. Oper Dent 2003; 28(5): 543-551.
54. Rahimi S, Shahi S, Lotfi M, Yavari HR, Charehjo ME. Comparison of microleakage with three different thickness of material trioxide aggregate as root-end filling material. J Oral Sci 2008; 50(3): 237-277.
55. Boyd Schindler. IsoMet 1000 Precision Saw. Operation and maintenance instruction 2008.
56. อธิชัย ลิ้มปรีชาวัฒน์ ญัฐวุฒิ พาร์กษ จุฑาวรรณ ศรีโพธิ์ทองนาค ชิดชนก เศรษฐศิริสมบัติ ประไพพร เรือนใจมั่น. การรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสงที่ระดับต่างๆ ของผนังคลองรากฟัน. ว.ทันต มศว 2556; 6(2): 48-64.
57. Pedreira AP, Pegoraro LF, de Góes MF, Pegoraro TA, Carvalho RM. Microhardness of resin cements in the intraradicular environment: effects of water storage and softening treatment. Dent Mater 2009; 25(7): 868-876.
58. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. Oper Dent 1996; 21(1): 17-24.
59. Ferrari M, Cagidiaco MC, Grandini S, De Sanctis M, Goracci C. Post placement affects survival of endodontically treated premolars. J Dent Res 2007; 86(8): 729-734.

60. Bachicha WS, DiFiore PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endod* 1998; 24(11): 703-708.
61. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 2008; 87(10): 974-979.
62. Radovic I, Corciolani G, Magni E, Krstanovic G, Pavlovic V, Vulicevic ZR, et al. Light transmission through fiber post: the effect on adhesion, elastic modulus and hardness of dual-cure resin cement. *Dent Mater* 2009; 25(7): 837-844.
63. Bonfante EA, Pegoraro LF, de Góes MF, Carvalho RM. SEM observation of the bond integrity of fiber reinforced composite posts cemented into root canals. *Dent Mater* 2008; 24(4): 483-491.
64. Erkut S, Gulsahi K, Caglar A, Imirzalioglu P, Karbhari VM, Ozmen I. Microleakage in overflared root canals restored with different fiber reinforced dowels. *Oper Dent* 2008; 33(1): 96-105.
65. Wu MK, Pehlivan Y, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Microleakage along apical root fillings and cemented posts. *J Prosthet Dent* 1998; 79(3): 264-269.
66. Pashley DH, Tay FR. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater* 2001; 17(5): 430-444.
67. Mannocci F, Qualtrough AJ, Worthington HV, Watson TF, Pitt Ford TR. Randomized clinical comparison of endodontically treated teeth restored with amalgam or with fiber posts and resin composite: five-year results. *Oper Dent* 2005; 30(1): 9-15.
68. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci* 2003; 111(3): 277-279.
69. Yoldas O, Alacam T. Microhardness of composites in stimulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *J Endod* 2005; 31(2): 104-106.
70. Mjor IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 2001; 34(5): 346-353.
71. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod* 2005; 31(8): 584-589.
72. Morris MD, Lee KM, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH. Effects of sodium hyochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod* 2001; 27(12): 753-757.
73. Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Clinical studies of fiber posts: a literature review. *Int J Prosthodont* 2008; 21(4): 328-336.

74. Fogel HM. Microleakage of posts used to restore endodontically treated teeth. J Endod 1995; 21(7): 376-379.

75. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF. Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: a confocal microscopic study. J Prosthet Dent 2001; 85(3): 284-291.

76. Tjan AH, Grant BE, Dunn JR. Microleakage of composite resin cores treated with various dentin bonding systems. J Prosthet Dent 1991; 66(1): 24-29.

ติดต่อบทความ:

อาจารย์ทันตแพทย์ วีรชัย ลิ้มปลาวังย์
ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทรศัพท์ 02-649-5212
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ingot_030@hotmail.com

Corresponding author:

Dr. Teerachai Limlawan
Department of Conservative Dentistry and
Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Srinakharinwirot University, Sukhumvit 23,
Wattana, Bangkok, 10110
Tel: 02-649-5212
E-mail: ingot_030@hotmail.com