

เปรียบเทียบฟองอากาศของเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ และที่ความหนาฟิล์มที่แตกต่างกันภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

The Comparison of Void in Different Types and Film Thickness of Resin Cements under Scanning Electron Microscope

นฤมล ศรีประเสริฐ¹, อิศราวีย์ บุญศิริ¹, วสันต์ วัฒนศักดิ์¹

Naluemol Sriprsert¹, Issarawan Boonsiri¹, Wasan Vatanasak¹

¹สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต จ.ปทุมธานี ประเทศไทย

¹Prosthodontics, College of dental medicine, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบจำนวนฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่ความหนาต่างๆ กัน ในกรณีที่ใช้เรซินซีเมนต์ยึดติดด้วยคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟันที่รักษารากฟัน โดยเลือกใช้เรซินซีเมนต์ 3 ชนิดได้แก่ แมกเซ็มอีไลท์ (Maxcem Elite[®], Kerr, USA) รีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม (Rely X Unicem[®], 3M ESPE, USA) และซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B[®], Sun Medical, Japan) ผสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต นำไปหล่อในแบบพิมพ์ที่ความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร เมื่อขึ้นงานเกิดการโพลีเมอไรเซชันเต็มที่ นำมาตัดด้วยไดมอนด์ดิส (Diamond Disc) ทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิค นำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดกำลังขยาย 350X พบว่า เรซินซีเมนต์ชนิดแมกเซ็มอีไลท์ รีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม และซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี เกิดจำนวนฟองอากาศที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบจำนวนฟองอากาศมากที่สุดในกลุ่ม แมกเซ็มอีไลท์ รองลงมาคือรีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม และซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีตามลำดับ แมกเซ็มอีไลท์ และรีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม มีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ส่วนซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีนั้นพบฟองอากาศขนาดใหญ่และเชื่อมกันเป็นพู ความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกันได้มีผลต่อจำนวนฟองอากาศที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าชนิดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดเกิดจำนวนฟองอากาศที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ชนิดโททอลเอทซ์ที่ปราศจากวัสดุอัดแทรก มีจำนวนฟองอากาศน้อยแต่มีขนาดใหญ่และเชื่อมต่อกันเป็นพู ชนิดเซลฟ์เอทซ์และเซลฟ์แอตตีซีฟมีส่วนผสมของ วัสดุอัดแทรก เกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและมีระยะห่างมากกว่า ส่วนความหนาฟิล์มที่แตกต่างกันของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดไม่มีผลต่อจำนวนฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ความหนาฟิล์ม, ฟองอากาศ, เรซินซีเมนต์

Abstract

This research aimed to compare the amount of voids in different resin cements and different film thicknesses in endodontically treated tooth restored with fiber reinforced prefabricated post. The research studied the voids in different types of resin cements, which include Maxcem Elite (Kerr, USA), Rely X Unicem (3M ESPE, USA) and Superbond C&B (Sun Medical, Japan) at 200 and 400 micrometer film thicknesses. After the sample were complete polymerization, cut with the diamond disc, cleaned by ultrasonic and examined under scanning electron microscope at 350X magnification. Maxcem Elite, RelyX Unicem, and Superbond C&B resin cement had significant difference in the amount of void formation ($p < 0.05$). The resin cement with the most amount of void was Maxcem Elite, followed by RelyX Unicem, and Superbond C&B respectively. Maxcem Elite and RelyX Unicem had large amount of small size voids. Superbond C&B usually had large, interconnected voids. However there was no significant difference in

the amount of voids under different film thicknesses of the resin cements. Different types of resin cements had different amount of void formation significant difference; the amount of voids in different film thicknesses of the resin cements was no significant difference; After the sample were complete polymerization. Unfilled resin, total etch resin cement had less amount of void formation, yet the voids had multiple lobules and were interconnected. Self-etch and self-adhesive resin cements with fillers had smaller voids with greater distance in between.

Keywords: Film thickness, voids, resin cement

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ :

นฤมล ศรีประเสริฐ อาจารย์รังสีตบทยุทธศาสตร์ วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนเอกประจิม ตำบลหลักหก อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000 ประเทศไทย โทรศัพท์ 098-9552526 อีเมล nalumol.s@rsu.ac.th

Correspondence to :

Naluemol Sriprsert, Faculty of Dental medicine Rangsit Universit 52/347 Phahonyothin Rd, Lak Hok, Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 10200 Thailand. Tel: 098-955-2526 Email: nalumol.s@rsu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้เรซินซีเมนต์ในงานทันตกรรมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ อาทิ เช่น คุณสมบัติการต้านแรงอัดสูง (High compressive strength) การละลายตัวต่ำ (Low solubility) มีเมทริกซ์โพลีเมอร์ซึ่ง สามารถปิดผนึกช่องว่างระหว่างชิ้นงานบูรณะและผิวเนื้อฟัน (marginal seal) และมีคุณสมบัติด้านความสวยงามที่ดี จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น เรซินซีเมนต์จึงเป็นที่นิยมในการยึดครอบฟัน สะพานฟัน ตลอดจนงานยึดฟันชนิดต่าง ๆ¹⁻⁶ การแบ่งชนิดของเรซินซีเมนต์ตามการเตรียมพื้นผิวฟันเพื่อให้เกิดการยึดติด (bonding characteristics) สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้ คือ ระบบที่หนึ่ง โททอลเอทช์หรือระบบทาแล้วล้างออก (total etch or etch and rinse, 5th generation) อาศัยระบบการยึดติดเนื้อฟัน (dentine adhesive system) ร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของเมทาคริลเป็นหลัก (methacrylate based resin cement) ในการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดโททอลเอทช์นี้ จำเป็นต้องใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ทาบริเวณเคลือบฟัน (enamel) และเนื้อฟัน (dentin) เพื่อกำจัดชั้นเสมียร์ (smear layer) และส่วนที่เป็นแร่ธาตุ (demineralized) ในเนื้อฟัน เปิดท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) และเปิดช่องว่างในเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibers) ระบบการยึดติดนี้เป็นวิธีการยึดแบบเปียก (wet bonding technique) เพื่อป้องกันการยุบตัว (Collapse) ของเครือข่ายเส้นใยคอลลาเจนเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้มีความแข็งแรงพันธะสูง (Bond strength)

และชั้นไฮบริด (Hybrid layer) ที่เกิดขึ้นจากการแทรกซึมของเรซินลงไปในเมทริกซ์-คอลลาเจน (Collagen matrix) ช่วยลดการรั่วซึมตามขอบของชิ้นงานบูรณะในระดับไมโคร (Microleakage) อย่างไรก็ตาม ระบบโททอลเอทช์นี้มีขั้นตอนการใช้งานที่ยุงยาก ในกรณีที่ใช้น้ำเกลือมากเกินไปในช่องว่างระหว่าง เส้นใยคอลลาเจนทำให้เกิดการเจือจางความเข้มข้นของ โมโนเมอร์ในระบบยึดติด (Adhesive monomer) ไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันที่สมบูรณ์ (Optimum polymerization) และส่งผลให้เกิดการเสื่อมของเรซินซีเมนต์บริเวณผิวหน้าระหว่างเนื้อฟันและสารยึดติด (Adhesive) อย่างรวดเร็ว ดังนั้นหลังจากทาสารยึดติดลงบนเนื้อฟันแล้ว จำเป็นต้องทำให้ตัวทำละลาย (Solvent) ระเหยโดยการเป่าลม ถ้าตัวทำละลายระเหยไม่หมดส่งผลให้เกิดการรั่วซึม (leakage) ที่มากขึ้นและความแข็งแรงการยึดติด (Bond strength) ลดลง^{6,7} ความสำเร็จของระบบนี้ขึ้นกับระบบ แอดฮีซีฟที่นำมาใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ กรณีที่ใช้กรดกัดเนื้อฟันเป็นเวลานานเกินไป จะทำให้คอลลาเจนของเนื้อฟัน (dentinal collagen) เกิดการผุพัง โดยไม่มีสารยึดติดแทรกซึมเข้าไปในบริเวณดังกล่าว ส่งผลต่อการยึดติดของ เรซินซีเมนต์⁸ ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ในระบบ นี้คือ เนกซ์สทรี (Nexus III[®], Kerr Corporation, USA) รีไลเอ็กซ์ เออาร์ซี (Rely X ARC[®], 3M ESPE) รีไลเอ็กซ์วีเนียร์ (Rely X veneer[®], 3M ESPE, Germany) ซุปเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Superbond C&B[®], Sun Medical, Japan)

วาริโอลิงค์เอ็น (Variolink N[®], Ivoclar vivadent, Liechtenstein) วาริโอลิงค์วีเนียร์ (Variolink veneer[®], Ivoclar vivadent, Liechtenstein) ระบบที่สอง เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์เอทช์ (Self etch) มีส่วนประกอบของโมโนเมอร์ที่เป็นกรดซึ่งไม่จำเป็นต้องล้างออก (Non rinsing acidic monomers) สามารถกัดกร่อน (Etch) และเคลือบ (Prime) บนเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ ระบบการยึดนี้มีทั้ง 1 ขั้นตอน (One-step) ซึ่งมี ส่วนของกรดกัดไพรเมอร์และสารยึดติดทั้งหมดอยู่ภายในขวดเดียวกัน และแบบ 2 ขั้นตอน (Two-step) ซึ่งประกอบด้วยไพรเมอร์ที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนในตัว (Self-etching primer) และเรซินยึดติด (Resin adhesive) คุณสมบัติการกัดกร่อนของระบบนี้น้อยกว่ากรดฟอสฟอริก และมีการสร้างเรซินแทก (resin tag) ในเคลือบฟันที่ไม่เด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดฟอสฟอริก^{8,9} ระบบนี้ เซลฟ์เอทช์นี้กำจัดชั้นเคลือบฟันบางส่วนและเกิดการละลายแร่ธาตุโดยโมโนเมอร์ที่เป็นกรดและเส้นใยคอลลาเจนที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันจะถูกเปิดออก ส่วนของแร่ธาตุที่ถูกกำจัดออกจะถูกแทนที่โดยโมโนเมอร์ ของเรซิน (Resin monomers) เคลือบหรือฝัง (Impregnation) อยู่ในชั้นเคลือบฟัน เกิดเป็นการยึดติดเชิงกล (Mechanical interlocking) ภายในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน^{10,11} ความรุนแรงของกรดในระบบนี้แบ่งได้ตามค่าแสดงความเป็นกรดเบส (pH) เป็น 4 กลุ่มดังนี้ คือ กลุ่มที่ 1 มีความเป็นกรดสูง (strong) ค่าความเป็นกรดเบสน้อยกว่า 1 (pH<1) กลุ่มนี้มีความสามารถละลาย ฟันผิวฟันได้ใกล้เคียงกับระบบโททอลเอทช์ กลุ่มที่ 2 มีความเป็นกรดปานกลาง (intermediately strong) ค่าแสดงความเป็น กรดเบสประมาณ 1.5 (pH ≈ 1.5) กลุ่มที่ 3 มีความเป็นกรดอ่อน (mild) ค่าแสดงความเป็นกรดเบสประมาณ 2 (pH ≈ 2) กลุ่มที่ 4 มีความเป็นกรดน้อยมาก (ultra-mild) ค่าแสดงความเป็น กรดเบสตั้งแต่ 2.5 (pH>2.5) เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์เอทช์ที่มีการปิดผนึก (Seal) บริเวณเนื้อฟันได้ดีเนื่องจากสเมียร์พ러그 (Smear plug) ไม่ถูกกำจัดออกไป ถูกปรับสภาพให้เหมาะสมกับการยึดติดและเกิดการละลายแร่ธาตุ ประสิทธิภาพของระบบยึดแบบเซลฟ์เอทช์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของระบบยึดติด อายุการเก็บรักษา (Shelf-life) และอายุของสารยึดติด (Aging) เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์เอทช์นี้มีแรงยึดกับเคลือบฟันน้อยกว่าชนิดโททอลเอทช์^{6-8,12,13} แต่มีข้อดีคือ ขั้นตอนการทำงานน้อยลง¹⁴ มีการละลายแร่ธาตุของแท่งเคลือบฟัน (enamel prism) ที่น้อยกว่าการกำจัดชั้นเคลือบฟัน ท่อเนื้อฟันเพียงบางส่วน ทำให้ป้องกัน การเกิดการซึมผ่านภายในท่อเนื้อฟัน (dentine permeability) ที่มากขึ้น และลดการเสียวฟันหลังการบูรณะ เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดโททอลเอทช์¹⁴ ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ในระบบนี้ เช่น พานาเวียเอฟ (Panavia F[®], Kuraray, USA) พานาเวียเอฟทู (Panavia F2.0[®], Kuraray, USA) มัลติลิงค์ออโตมิคซ์ (Multilink automix[®], Ivoclar

Vivadent, Liechtenstein) มัลติลิงค์ออโตมิคซ์เอ็น (Multilink automix N[®], Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) และเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่ในกลุ่มนี้คือ รีเลย์เอ็กซ์ทีเอ็ม (RelyX[™] Ultimate, 3M ESPE, Germany) ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่ที่มีการเติมสารกระตุ้นปฏิกิริยาที่ปราศจากแสง (dark cure activator) โดยทางบริษัทแนะนำให้ใช้ร่วมกับซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ (Single Bond Universal Adhesive, 3M ESPE, Germany) ทำให้ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีได้โดยไม่ต้องฉายแสงก่อน¹⁵ ระบบที่สาม เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ (Self adhesive) ระบบนี้กำจัดขั้นตอนในการปรับสภาพฟันผิวฟัน เพื่อลดความผิดพลาดในแต่ละขั้นตอนเตรียมฟัน กำลังแรงยึดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เมื่อมีการใช้ตามคำแนะนำของบริษัท^{16,17} แต่มีหลายการศึกษาพบว่าเมื่อมีการใช้ไพรเมอร์ก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ ระบบเซลฟ์แอดฮีซีฟ จะมีผลในการเพิ่มกำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ให้มากขึ้น¹⁷⁻²³ เรซินซีเมนต์ในกลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟนี้ รวมคุณสมบัติปรับสภาพผิวสามารถยึดติดกับเนื้อเยื่อของฟันร่วมกับการแทรกซึมของเรซินโดยไม่ต้องใช้กรดกัดฟันผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน และไม่ต้องใช้ระบบการยึดติดเข้ารวมกลไกการยึดติดอาศัยพันธะทางเคมี (chemical bonding) ด้วยมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ชอบน้ำและเป็นอนุพันธ์ของกรดซึ่งทำหน้าที่คีเลต (Chelate) แคลเซียมไอออน (Calcium ion) ของไฮดรอกซีแอพาทาไทท์ (Hydroxyapatite) ของฟัน²⁴ และมีการแทรกซึมของสารบอนด์ดีนิงทำให้เกิดการยึดติดเชิงเคมีเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟละลายชั้นเคลือบฟันเพียงเล็กน้อยโดยกำจัดสเมียร์พ러그 ไม่เปิดท่อเนื้อฟันและไม่ละลายเนื้อเยื่อฟันจึงไม่ทำให้เกิดการเสียวฟัน โดยทั่วไปเรซินซีเมนต์ชนิด เซลฟ์แอดฮีซีฟมีแรงยึดที่น้อยกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดโททอลเอทช์และเซลฟ์เอทช์ และนอกจากนี้ เรซินซีเมนต์ ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟส่วนใหญ่ ยกเว้น รีเลย์เอ็กซ์ทีเอ็มมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระดับต่ำคงที่ส่งผลเสียต่อ การยึดติดขึ้นงานด้วยซีเมนต์ (Cementation) การใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟนี้จำเป็นต้องอาศัย แรงกด เพื่อให้เกิดการสัมผัสที่แนบที่สุด (Maximum contact) ระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน ขณะยึดติดต้องมีการควบคุมความชื้น เนื่องจากเกิดการรั่วซึมของของเหลวขณะเริ่มแข็งตัว (Initial setting) ส่งผลเสียต่อคุณภาพของการยึดติดของเรซินซีเมนต์ได้^{6-7,12,24} เรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟนี้ยึดติดกับเนื้อฟันได้ดีกว่าผิวฟัน²⁵ มีกำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength) กำลังแรงยึดดึง (tensile bond strength) และความแข็งแรง (hardness) การยึดติดในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันต่ำกว่าระบบโททอลเอทช์และเซลฟ์เอทช์^{23,26-29} แต่เมื่อมีการใช้ไพรเมอร์ (primer) ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดนี้จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดเฉือน

(shear strength) ได้ เพราะไพรเมอร์มีความหนืด (Viscosity) น้อยกว่า เรซินซีเมนต์

เนื่องจากเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอตอีซีฟที่ใช้งานง่ายจึงได้มี งานวิจัยเพื่อพัฒนาเพิ่มคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) กำลังแรงดัด (flexural strength) ความแข็ง (hardness) และเพิ่ม ปฏิกริยากับเนื้อฟัน ทำให้เกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) ที่ระหว่าง ไพรเมอร์และแคลเซียมบนคอลลาเจนไฟเบอร์ของเนื้อฟัน³⁰ ตัวอย่าง ของเซลฟ์แอตอีซีฟเรซินซีเมนต์ เช่น รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม (RelyX Unicem[®], 3M ESPE, Germany) แม็กซ์เซ็ม (Maxcem[®], Kerr cooperation, USA) บิสเซ็ม (Biscem[®], Bisco, Schaumburg IL) มัลติลิงค์ สปลินท์ (Multilink splint[®], Ivoclar vivadent, Liechtenstein) จีเซ็ม (G-Cem[®], GC, USA) สปีดเซม (Speed CEM[®] Ivoclar vivadent, Liechtenstein)³¹ เป็นต้น

ในเรซินซีเมนต์แต่ละระบบจะมีความหนาของชั้นที่เกิดการ แพร่ผ่านระหว่างเรซินและเนื้อฟัน (resin-dentine interdiffusion zone (RDIZ)) หรือเรียกว่าชั้นไฮบริด (hybrid layer) แตกต่างกัน โดยพบความหนาที่สุดในเรซินซีเมนต์ชนิดใช้กรดกัดและล้างออก ประมาณ 5-7 ไมโครเมตร³² รองลงมาคือชนิดเซลฟ์เอซท์ประมาณ 0-2 ไมครอน แต่ไม่พบในเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอตอีซีฟ³³ ทำให้ ไม่เกิดการยึดติดเชิงกล แต่จะเกิดในกรณีที่ใช้ไพรเมอร์และบอนด์ ก่อนการใช้เซลฟ์แอตอีซีฟเรซินซีเมนต์เท่านั้น และจะพบมากเมื่อมี การใช้กรดกัดฟันร่วมด้วย³⁴ การผสมเรซินซีเมนต์ ด้วยมือ (Hand-mixed) มักเกิดฟองอากาศในส่วนผสมไม่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ สาเหตุของการเกิดฟองอากาศ ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การที่มีอากาศเข้าไปแทรกตัวระหว่างชั้นงาน และซีเมนต์ขณะยึดชั้นงาน การใช้เรซินซีเมนต์มักเกิดปัญหา คือ ความไวต่อเทคนิคของการใช้งาน เช่น การเตรียมพื้นผิวชั้นงานและ ฟันก่อนการยึดติดให้เหมาะสมกับเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีขั้นตอน การปรับสภาพพื้นผิว ด้วยกรดและ/หรือ ไพรเมอร์และการควบคุมความ หนาฟิล์มของซีเมนต์ให้เหมาะสม โดยเฉพาะในรายที่ใช้ยึดเดือยฟัน สำเร็จรูปเสริมไฟเบอร์ (prefabricated composite fiber reinforced post) ที่มีคลองรากฟันขนาดใหญ่บริเวณคลองรากฟันที่ กว้างมักมีความหนาของเรซินซีเมนต์ที่หนาเกินไป ก่อให้เกิดฟอง อากาศในส่วนผสมซีเมนต์หรือในชั้นระหว่าง ซีเมนต์กับเนื้อฟันและ/ หรือชั้นงานบูรณะ³⁵⁻³⁷ การรวมกันของฟองอากาศในชั้นของเรซิน ซีเมนต์สามารถทำให้เกิดการรั่วซึมในระดับไมโครได้ (microleakage) โดยเฉพาะฟองอากาศที่เกิดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปและเรซินซีเมนต์³⁵ ทำให้เกิดการหลุดของเดือยฟันได้ในเรซินซีเมนต์ที่มีความหนามาก³⁸⁻⁴⁷ ก่อให้เกิดฟองอากาศและรูพรุนซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และอายุการใช้งานของวัสดุ⁴⁸ เนื่องจากฟอง

อากาศทำให้ลดพื้นที่สัมผัสระหว่างเรซินซีเมนต์ และเนื้อฟันเป็นจุดเริ่มของ การเกิดรอยร้าว (Crack initiation) และเป็นจุดที่มีการสะสมความเค้น (Stress concentration) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ลดความแข็งแรงของเรซิน ซีเมนต์ลง^{49,50} Pedreiraและคณะ⁵¹ พบว่าการใช้เซนทริกไซริงค์ (Centrix syringe) ผสมเรซินซีเมนต์สามารถช่วยการเกิดฟองอากาศ ในเรซินซีเมนต์ได้

สหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ระหว่างประเทศ (International Union of Pure and Applied Chemistry: IUPAC) จำแนกฟองอากาศออกเป็น 3 ประเภทตามขนาดของฟองอากาศได้แก่ 1. ไมโครพอร์ (Micropores) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร 2. เมโซพอร์ (Mesopores) ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร 3. แมโครพอร์ (Macropores) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร^{48,50} Milutinovic-Nikolic และคณะ⁵² ได้นิยามฟองอากาศออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของ ฟองอากาศดังนี้ 1. ฟองอากาศชนิดปิด (Closed pores) ฟองอากาศ ชนิดนี้ของเหลวไม่สามารถเคลื่อนผ่านฟองอากาศได้ ไม่เอื้อต่อการ แทรกซึมของของเหลว 2. ฟองอากาศชนิดบอด (Blind pores) ฟอง อากาศชนิดนี้มีความลึกมากกว่าฟองอากาศชนิดปิดเป็นที่สะสมของ เชื้อแบคทีเรียได้หากเกิดการรั่วซึมของชั้นงานบูรณะ 3. ฟองอากาศชนิด ทะลุผ่าน (Through pores) เกิดเป็นช่องว่างทะลุระหว่างสองฝั่งของ ชั้นเรซินซีเมนต์ ฟองอากาศสองชนิดคือชนิดบอด และทะลุผ่านนี้เป็น ฟองอากาศที่มีลักษณะเปิด ทำให้ของเหลวในช่องปาก แบคทีเรีย และสารพิษของแบคทีเรีย สามารถผ่านเข้าไปถึงพื้นผิวเนื้อฟัน ที่เปิดออก (Unprotected dentin) ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อ เปรียบเทียบการยึดเดือยฟันและครอบฟันด้วยเรซินซีเมนต์กับ ซีเมนต์ชนิดอื่นๆ เรซินซีเมนต์เกิดฟองอากาศน้อยที่สุด และฟอง อากาศมีขนาดเล็กกว่า 20 นาโนเมตร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเรซินซีเมนต์ มีประสิทธิภาพที่ดีในการป้องกันการรั่วซึมของของเหลวในช่องปาก แบคทีเรีย และสารพิษของแบคทีเรีย⁵²

จากการศึกษาของ Mansur และคณะ⁵³ กล่าวว่า ความหนา ฟิล์มของเรซินซีเมนต์มีผลโดยตรงต่อความสำเร็จระยะยาวทางคลินิก (Long-term clinical success) และความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์ที่ บางช่วยลดการเกิดฟองอากาศ⁵⁴ งานวิจัยดังกล่าวพบว่าขนาด รูปร่าง ความหนืดของวัสดุอัดแทรก (Filler) มีผลต่อความหนืดเรซินซีเมนต์ อัตราการแข็งตัวมีผลต่อความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์ งานวิจัยอื่น ๆ ยังพบว่าขั้นตอนในการใส่เรซินซีเมนต์และการหดตัวในขบวนการ แข็งตัว (polymerization shrinkage) มีผลต่อจำนวนฟองอากาศ ระหว่างชั้นของเรซินซีเมนต์^{35,40,55} ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีความแตกต่างกัน ออกไปตามกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัท ปัญหาของการไม่ สามารถควบคุมความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์มักเกิดขึ้นเมื่อใช้ในการ

ยึดเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิทเสริมไฟเบอร์ (Fiber reinforced composite posts) ในรากฟัน เนื่องจากเดือยชนิดดังกล่าวมักไม่แนบกับผนังคลองรากฟัน โดยเฉพาะในรายที่ผนังคลองรากถูกทำลายจากรอยผุขนาดใหญ่ มีการขยายคลองรากที่มากเกินไป (Over-instrumentation) เกิดการสร้างผนังคลองรากที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากได้รับการกระทบกระเทือนระหว่างการพัฒนา โครงสร้างของรากฟัน หรือแม้แต่การมีลักษณะคลองรากที่เป็นทรงรี (ovoid canals) ในคลองรากฟันที่มีลักษณะดังกล่าว ทำให้เกิดเรซินซีเมนต์หนาไม่สม่ำเสมอระหว่างเดือยฟันและผนังคลองราก^{56,57} ส่งผลโดยตรงต่อความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์ โดยเฉพาะเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดเดือยฟัน มักมีความหนาบริเวณคลองรากฟัน ส่วนต้น (coronal third) มากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งมักเกิดฟองอากาศบริเวณดังกล่าว^{37,51,58} แตกต่างจากการทดลองของ Silva และคณะ⁵⁹ ที่พบว่า ฟองอากาศมักเกิดบริเวณคลองรากฟันส่วนปลาย (apical third) มากกว่า เนื่องจากการใส่เรซินซีเมนต์บริเวณนี้ทำได้ยาก⁶⁰ รูปร่างของคลองรากฟันที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณและการกระจายตัวของเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟันและอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสร้างฟองอากาศ⁴² และในขณะที่ใส่เดือยฟันมีผลต่อการนำฟองอากาศเข้าไปในคลองรากฟัน⁴⁹ ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศหรือช่องว่างระหว่างเนื้อฟันเดือยฟันและเรซินซีเมนต์ ในรายงานของ Gomes และคณะ⁶¹ พบว่า ในคลองรากฟันที่มีความหยาบพบความหนาของเรซินซีเมนต์ได้ตั้งแต่ 341.9-653.3 ไมโครเมตร และในคลองรากที่มีการยึดเดือยฟันสำเร็จรูปคือ 75.2 - 653.3 ไมโครเมตร Eduardo A และคณะ⁶² พบว่า การใช้วัสดุคอมโพสิทเรซินทาที่เดือยฟันไฟเบอร์ในขั้นตอนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์มีผลช่วยในการลดการเกิดฟองอากาศได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอัลตราโซนิคช่วยในการยึด จากงานวิจัยของ Vichi และคณะ⁴² พบว่า การใช้เลนตุโรสไปรอล (lentulo spiral) ในขั้นตอนการยึดวัสดุบูรณะช่วยลดจำนวนฟองอากาศในชั้นเรซินซีเมนต์ได้

ตารางที่ 1 วิธีการผสม สารประกอบและผู้ผลิตเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Mixing technique, composition and manufacturers of the resin cements used

Resin cement	Mixing technique	Composition	Manufacturers
Superbond C&B	Hand mix	Monomer: 4-Methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META), Methyl-methacrylate (MMA) Catalyst: Partially oxidated tributylborane (TBB) Powder: Polymethylmethacrylate	Sun Medical, Shiga, Japan
Maxem Elite	Automix	Liquid: Methacrylate phosphoric ester, Dimethacrylate, Acetate, Stabilizer, Initiator Powder: Glass powder, Silica, Calcium hydroxide, Pigments, Substituted pyrimidine, Peroxy compound, Initiator, 67% wt fillers (3.6 µm)	Kerr, Orange CA, USA

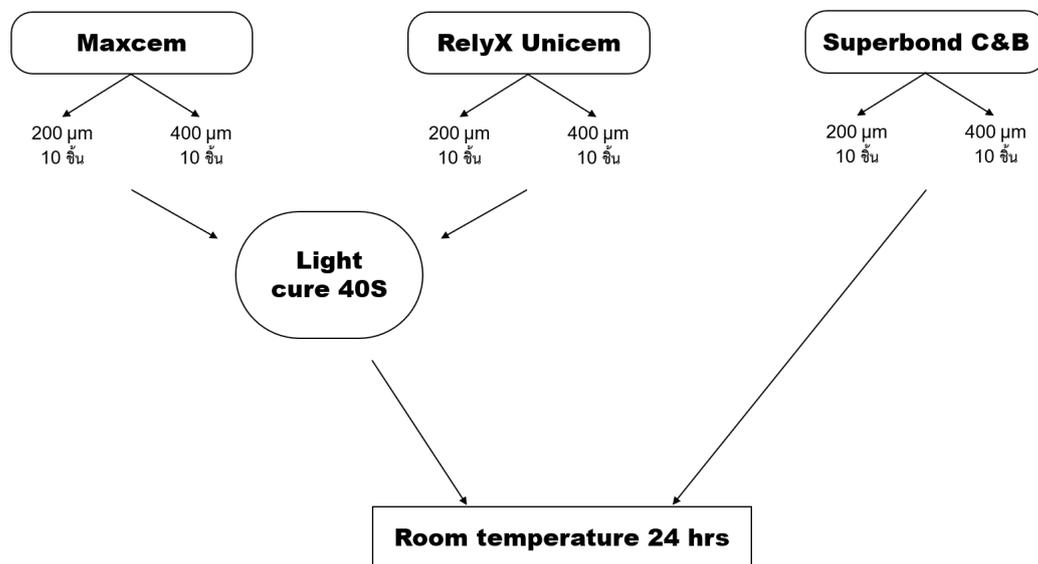
การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณและขนาดฟองอากาศในชั้นเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ที่นิยมนำมายึดเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิทเสริมไฟเบอร์ได้แก่ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) แม็กซีเอ็มอีลิท (Kerr, USA) และรีไลย์เอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม (3M ESPE, USA) ที่ความหนาฟิล์ม 200 และ 400 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นความหนาฟิล์มที่อาจพบได้ในการยึดเดือยฟันสำเร็จรูปในคลองรากที่มีความหยาบมากหรือคลองรากที่ได้รับการขยายมากเกินไป โดยซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) เป็นตัวแทนเรซินซีเมนต์ชนิดโททอลเอ็ทซ์แม็กซีเอ็มอีลิท (Kerr, USA) เป็นตัวแทนเรซินซีเมนต์ชนิดเซล์ฟเอ็ทซ์ และรีไลย์เอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม (3M ESPE, USA) เป็นตัวแทนของชนิดเซล์ฟแอดฮีซีฟ ภายใต้สมมติฐานว่าปริมาณฟองอากาศในเรซินซีเมนต์ 3 ชนิดที่ความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การจำลองความหนาฟิล์มของเรซินซีเมนต์ 200 และ 400 ไมโครเมตร ทำโดยการเตรียมความหนาฟิล์มดังกล่าวด้วยสติ๊กเกอร์ทรงกลมมีรูตรงกลางเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร ที่มีความหนา 200 ไมโครเมตร ติดลงบนแท่นแก้ว (Glass Slab) ส่วนการสร้างแบบพิมพ์ความหนา 400 ไมโครเมตร ทำโดยการนำสติ๊กเกอร์ทรงกลมมีรูตรงกลางมาซ้อนกันให้พอดี 2 ชั้นแล้วติดลงบนแท่นแก้วเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) แม็กซีเอ็มอีลิท (Kerr, USA) และรีไลย์เอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม (3M ESPE, USA) ตามตารางที่ 1 ผสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต สร้างขึ้นทดสอบเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ลงรูปทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร ที่มีความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร 10 ชิ้น ดังภาพที่ 1 โดยด้านบนของเรซินซีเมนต์ทำการกดทับด้วยกดทับด้วยแผ่นแก้ว 2 อัน ซึ่งมีน้ำหนัก 500 กรัม

Table 1 Mixing technique, composition and manufacturers of the resin cements used

Resin cement	Mixing technique	Composition	Manufacturers
Rely X Unicem	Automix	Base: Silane-treated glass powder, 2-propenoic acid, 2-methyl-1,1[1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediy] ester, reaction products with 2-hydroxy-1,3-propandediyl dimethacrylate and phosphorous oxide, TEDGMA, silane-treated silica, soium per sulfate, glass powder, tert-butyl peroxy-3,5,5-trimethylhexanoate, 72% wt. filler (size <9.5 μm) Catalyst: Silane-treated glass powder, substituted dimethacrylate, silane-treated silica, 1-benzyl-5-phenyl-barbic-acide, calcium salt, sodium p-toluenesulfinate, 1,12-dodecane dimethacrylate, calcium hydroxide.	3M ESPE, St. Paul MN, USA

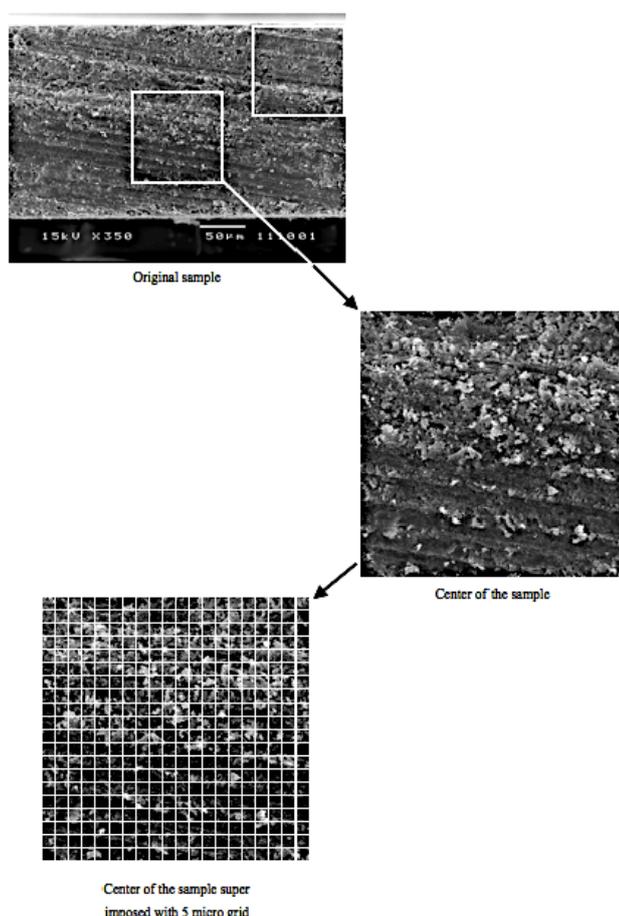


รูปที่ 1 การเตรียมกลุ่มตัวอย่างเรซินซีเมนต์ที่มีความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร เพื่อศึกษาจำนวน และขนาดฟองอากาศภายใต้กล้องอิเล็กตรอนส่องกราด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดที่กำลังขยาย 350 เท่า

Figure 1 Sample preparation of resin cement at thickness 200 and 400 micron to examination the number and size of void under SEM at 350X magnification

การกระตุ้นให้เกิดโพลิเมอร์เรซินโดยแม็กเน็ทอิลิท (Kerr, USA) และรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม (3M ESPE, USA) ผ่านการฉายแสงด้วยแสงสีน้ำเงินความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร ด้วยเครื่องฉายแสง LED (Demi LED light curing system, Kerr, USA) 40 วินาที ด้านบน ส่วนซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) ปลอ่ยให้บ่มตัวเอง ณ อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง ภายหลังจากขึ้นงานเรซินซีเมนต์ได้ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิห้องครบ 24 ชั่วโมง ขึ้นงาน ทดสอบนำมาตัดแบ่งบริเวณกึ่งกลาง โดยใช้เข็มกรอเคลือบกากเพชรรูปจาน (Diamond disk, NTI-Kahla GmbH, Germany) บนเครื่องมือไมโครมอเตอร์ (Micromotor, Perfectz 300 W&H, Austria) และทำความสะอาด

ด้วยเครื่องอัลตรา-โซนิคที่ความถี่ 42 kHz (Prosonic ultrasonic clear model 300MT) เป็นเวลา 10 นาที ขึ้นงานทดสอบที่ผ่านการเตรียมแล้วนำมาเคลือบทอง ก่อนศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (Scanning Electron Microscope: JEOL JSM-5410 LV, Japan) ที่กำลังขยาย 350 เท่า แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ โดยวางหน้าตัดชิ้นงานให้ขนานกับพื้นราบ จากนั้นนำภาพที่กำลังขยาย 350 เท่า มากำหนดพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100 ไมโครเมตร ที่บริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน โดยการสุ่มตำแหน่งภาพภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100 ไมโครเมตร นำมาตีตารางขนาด 5 ไมโครเมตร จำนวน 20 ช่องในแนวตั้งและแนวขวางดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นงานตัวอย่างที่กำลังขยาย 350 เท่านำมาตีตารางขนาด 5 ไมโครเมตรเพื่อวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศในเรซินซีเมนต์

Figure 2 SEM image at 350X magnification, at the center of the image was selected for examination and 5 micrometers grids were drawn to measure the diameter of the voids in resin cements.

รูปที่ผ่านการตีตารางนำมาวัดขนาดและจำนวนฟองอากาศ โดยจำแนกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ขนาดระหว่าง 1-5 ไมโครเมตร กลุ่มที่ 2 ขนาดระหว่าง 6-10 ไมโครเมตร กลุ่มที่ 3 ขนาดระหว่าง 11-15 ไมโครเมตร

ผลการศึกษา

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (ตารางที่ 2)

พบว่าในเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดพบค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศในกลุ่มที่ 1 คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-5 ไมโครเมตร มากที่สุด โดยในความหนา 200 ไมโครเมตร พบจำนวนฟองอากาศดังนี้ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) 23.80+5.37 แมกซีเอ็มอีไลท์ (Kerr, USA) 148.80+23.01 และ รีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม

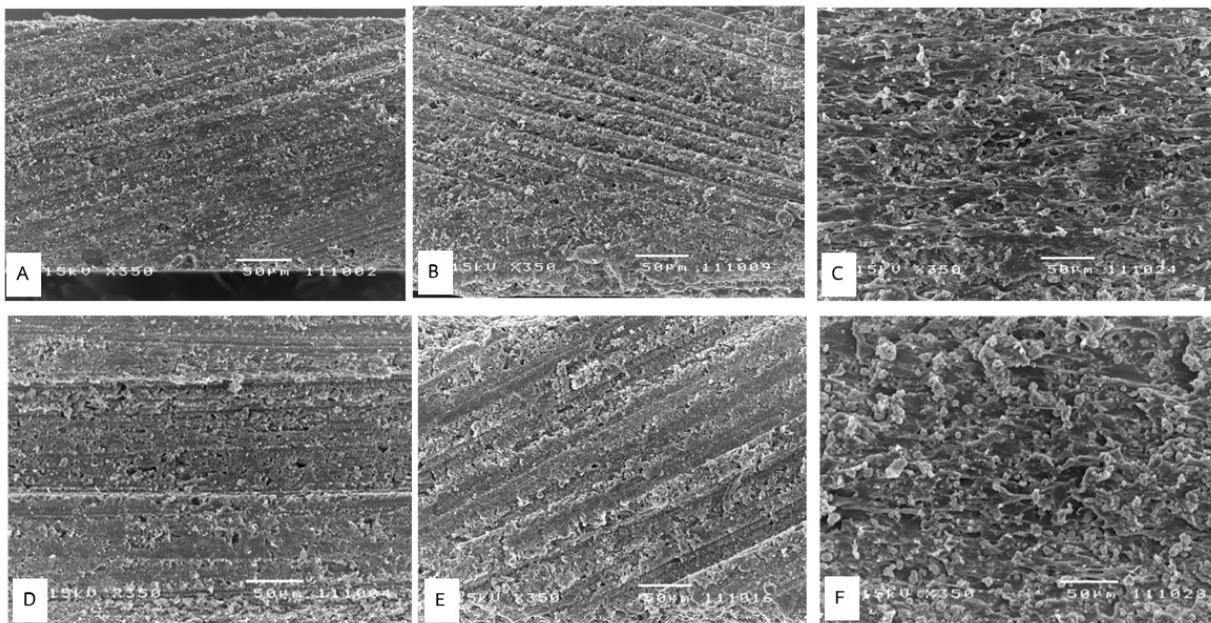
(3M ESPE, USA) 114.40+9.67 และในความหนา 400 ไมโครเมตร ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Sun Medical, Japan) 22.80+8.05 แมกซีเอ็มอีไลท์ (Kerr, USA) 158.20+13.91 และ รีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซม (3M ESPE, USA) 111.80+11.68 ตัวอย่างลักษณะฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดที่ความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดเป็นดังรูปที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของฟองอากาศภายในกลุ่มที่ความหนาฟิล์ม 200 และ 400 ไมโครเมตร ของเรซินซีเมนต์ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี แมกซีเอ็มอีไลท์ และรีไลย์เอ็กซ์ยูนิเซมด้วยสถิติ Krusal Wallis พบว่าใน เรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดซึ่งมีความหนาที่ต่างกัน ค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$)

ตารางที่ 2 จำนวนและขนาดฟองอากาศของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ที่ความหนา 200 ไมโครเมตรและ 400 ไมโครเมตร

Table 2 Number and size of voids for each type of resin cement in film thickness 200 micron and 400 micron

Resin cement	200µm (n=10)			400µm (n=10)			Mean
	Group1 (1-5µm)	Group 2 (6-10µm)	Group 3 (11-15µm)	Group 1 (1-5µm)	Group 2 (6-10µm)	Group 3 (11-15µm)	
Superbond C&B (Sun Medical, Japan)	23.80±5.37	7.60±1.26	12.80±2.10	22.80±8.05	7.40±3.60	17.40±7.97	14.71±8.91
Maxcem Elite (Kerr, USA)	148.80±23.01	0.80±0.63	1.00±0.47	158.20±13.91	2.20±1.03	1.40±1.17	49.67±71.89
Rely X Unicem (3M ESPE, USA)	114.40±9.67	3.20±0.74	0.80±0.63	111.80±11.68	4.00±1.33	0.60±0.52	39.57±53.62



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดของเรซินซีเมนต์ที่กำลังขยาย 350 เท่า A) แม็กเซ็มอีลิทความหนาฟิล์ม 200 ไมโครเมตร B) รีไลย์ เอ็กซ์ ยูนิเซ็มความหนาฟิล์ม 200ไมโครเมตร C) ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ความหนาฟิล์ม 200ไมโครเมตร D) แม็กเซ็มอีลิทความหนาฟิล์ม 400 ไมโครเมตร E) รีไลย์ เอ็กซ์ ยูนิเซ็มความหนาฟิล์ม 400ไมโครเมตร F) ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ความหนาฟิล์ม 400ไมโครเมตร

Figure 3 Sample of SEM image of resin cement under 350X magnification A) Maxcem Elite resin cement at 200 micrometes film thickness B) Rely X Unicem resin cement at 200 micrometes film thickness C) Superbond C&B resin cement at 200 micrometes film thickness D) Maxcem Elite resin cement at 400 micrometes film thickness E) Rely X Unicem resin cement at 400 micrometes film thickness F) Superbond C&B resin cement at 400 micrometes film thickness

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของฟองอากาศระหว่างเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกันที่ความหนา 200 ไมโครเมตร ด้วยสถิติ Jonckheere-Terpstra Test

Table 4 Comparison mean number of voids between different resin cement at 200 micron film thickness by Jonckheere-Terpstra test

Resin cement	Mean+SD 200µm	Sig.
Superbond C&B (Sun Medical, Japan)	14.33+8.22	0.00
Maxcem Elite (Kerr, USA)	50.07+71.87	
Rely X Unicem (3M ESPE, USA)	39.43+54.20	

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของฟองอากาศระหว่างเรซินซีเมนต์ ที่ความหนาต่างชนิดกันที่ความหนา 400 ไมโครเมตร ด้วยสถิติ Jonckheere-Terpstra Test

Table 5 Comparison mean number of voids between different resin cement at 400 micron film thickness by Jonckheere-Terpstra test

Resin cement	Mean+SD 400µm	Sig.
Superbond C&B (Sun Medical, Japan)	15.87+9.27	0.00
Maxem Elite (Kerr, USA)	53.93+75.39	
Rely X Unicem (3M ESPE, USA)	38.80+52.93	

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ด้วยสถิติ Jonckheere-Terpstra Test พบว่าที่ความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร มีความต่างของค่าเฉลี่ยของ จำนวนฟองอากาศ อย่างมีนัยสำคัญ (p -value<0.05) ระหว่างซูปเปอร์บอนด์ ซี แอนด์ บี แม็กเซ็มอีลิท และรีเลย์ เอ็กซ์ ยูนิเซ็ม

ผลจากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ที่ความหนาฟิล์ม 200 และ 400 ไมโครเมตรในเรซินซีเมนต์แม็กเซ็มอีลิท มีค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศรวมมากที่สุด (49.67+71.89) โดยพบฟองอากาศกลุ่มที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1-5 ไมโครเมตรมากที่สุด ในทั้งความหนาฟิล์ม 200 ไมโครเมตร (148.80+23.01) และ 400 ไมโครเมตร (158.20+13.91) อย่างไรก็ตามในความหนาฟิล์ม 200 ไมโครเมตรจะพบฟองอากาศกลุ่มที่ 3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 11-15 ไมโครเมตร (1.00+0.47) รองลงมา และพบฟองอากาศกลุ่มที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 6-10 ไมโครเมตรน้อยที่สุด (0.80+0.63) ต่างจากในความหนา 400 ไมโครเมตร จะพบฟองอากาศกลุ่มที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 6-10 ไมโครเมตรมากเป็นอันดับสอง (2.20+1.03) และพบฟองอากาศกลุ่มที่ 3 เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 11-15 ไมโครเมตรน้อยที่สุด (1.40+1.17)

เรซินซีเมนต์รีเลย์เอ็กซ์ยูนิเซ็มมีค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศรวมมากเป็นอันดับสอง (39.57+53.62) โดยทั้ง ในความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร พบฟองอากาศกลุ่มที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1-5 ไมโครเมตรมากที่สุด (114.40+9.67, 111.80+11.68) รองลงมา คือฟองอากาศกลุ่มที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-10 ไมโครเมตร (3.20+0.74, 4.00+1.33) และฟองอากาศกลุ่มที่ 3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11-15 ไมโครเมตรมีจำนวนน้อยที่สุด ในทั้งสองความหนาฟิล์ม (0.80+0.63, 0.60+0.52)

ส่วนเรซินซีเมนต์ซูปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บียูนิเซ็มมีค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศรวมน้อยที่สุด (14.71+8.91) ในความหนา 200 และ 400 ไมโครเมตร พบฟองอากาศกลุ่มที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1-5 ไมโครเมตรมากที่สุด (23.80+5.37, 22.80+8.05) รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11-15 ไมโครเมตร (12.80+2.10, 17.40+7.97) ตามด้วยฟองอากาศกลุ่มที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-10 ไมโครเมตร

(7.60+1.26, 7.40+3.60) ซึ่งพบน้อยที่สุดในทั้ง 2 ความหนาฟิล์ม และเมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นที่ใช้ในการศึกษานี้ จะพบว่า ซูปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีค่าเฉลี่ยจำนวนฟองอากาศขนาดใหญ่มากที่สุด ในความหนา 200 ไมโครเมตร (12.80+2.10) และในความหนา 400 ไมโครเมตร (17.40+7.97)

บทวิจารณ์

ผลการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดสะท้อนให้เห็นว่าฟองอากาศที่เกิดขึ้นในชั้น เรซินซีเมนต์ ทั้งกลุ่มที่เป็นชนิดผสมด้วยมืออย่างซูปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี หรือกลุ่มที่ผสมอัตโนมัติผ่านปลายเกลียว (Automixing tip) เช่น แม็กเซ็มอีลิทและรีเลย์เอ็กซ์ยูนิเซ็มโดยการศึกษาพบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่ผสมอัตโนมัติ ผ่านปลายเกลียว ขนาดฟองอากาศส่วนมากมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1-5 ไมโครเมตร ซึ่งเรซินซีเมนต์ผสมด้วยมือ เช่น ซูปเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี จะพบฟองอากาศขนาดระหว่าง 6-10 และ 11-15 ไมโครเมตรมากกว่า ลักษณะเด่นของฟองอากาศในเรซินซีเมนต์ ซูปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีจะมีลักษณะใหญ่และเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย เกิดเป็นฟองอากาศชนิดทะลุ (Through pores) ตามการจำแนกฟองอากาศของ Milutinovic-Nilolinik และคณะ⁵² ลักษณะฟองอากาศดังกล่าวเอื้อต่อการเกิด การรั่วซึมระดับไมโคร (Microleakage) และอาจเป็นที่สะสมของเชื้อจุลินทรีย์ในชั้นเรซินซีเมนต์ ตามหลายงานวิจัยพบว่าการผสมด้วยมือจะทำให้เกิดฟองอากาศมากกว่าการผสมด้วยอัตโนมัติผ่านปลายเกลียว⁴⁹⁻⁵² และจากงานวิจัยของ Boschian และคณะ⁶³ พบว่าวิธีผสมมีส่วนทำให้เกิดฟองอากาศมากกว่าการแข็งตัวของเรซินซีเมนต์ เมื่อพิจารณาตามองค์ประกอบของเรซินซีเมนต์พบว่าปริมาณฟิลเลอร์มีผลต่อการเกิดฟองอากาศ จากตารางที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบในเรซินซีเมนต์พบว่าทั้งแม็กเซ็มอีลิทและรีเลย์เอ็กซ์ยูนิเซ็มมีองค์ประกอบของฟิลเลอร์อยู่ร้อยละ 67 และ 72 โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoshida และคณะ⁶⁴ และ Somchai และคณะ⁶⁵ ที่กล่าวว่า ซูปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีไม่มีส่วนประกอบของวัสดุอัดแทรก

และมีองค์ประกอบเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate (PMMA)) เมื่อเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) จะเกิดโครงสร้างเป็นเครือข่ายโซ่ทำให้ในโครงสร้างจะมีลักษณะเป็นตาข่ายและมีรูพรุน และสาเหตุหลักคืออาการที่เกิดจากการระเหยออกไปของเมทิลเมทาคริเลต (Methacrylate (MMA)) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของมอนอเมอร์ ในซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี จึงสรุปได้ว่าปริมาณของวัสดุอุดแทรกส่งผลต่อความหนาแน่นของเรซินซีเมนต์ และมีส่วนช่วยลดขนาดฟองอากาศในชั้นของเรซินซีเมนต์⁶⁶ รวมถึงวิธีการผสมและลักษณะส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์ ก็มีผลต่อการเกิดขนาดฟองอากาศเช่นกัน จำนวนและขนาดของฟองอากาศที่มากส่งผลต่อการเกิดการขยายตัวของรอยแตกและทำให้เกิดการแตกกร้าว (Cohesive failure) ในชั้นของเรซินซีเมนต์แม้ได้รับแรงเพียงเล็กน้อย จนเกิดความล้มเหลวของการยึดวัสดุบูรณะด้วยเรซินซีเมนต์ได้ ส่วนลักษณะฟองอากาศที่พบในกลุ่มตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ แม้กึ่งอิลิทและรีโพลีเอ็กซ์ยูนีซีมีลักษณะเป็นฟองอากาศชนิดปิด (Closed pores) ตามการจำแนกฟองอากาศของ Milutinovic-Nilolinik และคณะ⁵¹ ซึ่งฟองอากาศ ชนิดดังกล่าวไม่เอื้อต่อการแทรกซึมของ ของเหลว

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาคั้งนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ความหนา ฟิล์ม 200 และ 400 ไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ยการเกิดฟองอากาศที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่เกิดฟองอากาศมากที่สุดคือเรซินซีเมนต์แม้กึ่งอิลิท รองลงมาคือรีโพลีเอ็กซ์ยูนีซีมี และเรซินซีเมนต์ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าฟองอากาศในเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีมีขนาดใหญ่กว่าสองชนิดแรกที่ได้กล่าวมา และมีลักษณะเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายต่างจากชนิดอื่นที่มี วัสดุอุดแทรกซึ่งมีฟองอากาศขนาดเล็กและห่างกัน ความหนาฟิล์มไม่มีผลต่อฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเปรียบเทียบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ได้ค่า (p-value>0.05)

การศึกษาเพิ่มเติม

การศึกษามลของฟองอากาศที่มีต่อความแข็งแรงกอดออกของเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมไฟเบอร์ในฟันธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

1. Mak YF, Lai SC, Cheung GS. Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite. *Dent Mater* 2002;18(8):609-21.
2. Marghalani HY. "Sorptions and Solubility Characteristics of Self-adhesive Resin Cements. *Dent Mater* 2012;28(10):187-98.
3. Ernst CP, Cohnen U, Stender E. *In vitro* retentive strength of zirconium

oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005;93(6):551-8.

4. Komal L, Mahesh V. Conventional and Contemporary Luting Cements: An Overview. *J Indian Prosthodont Soc* 2010;10(2):79-88.
5. Saskalauskaite E, Tam LE, McComb D. Strength, Elastic Modulus, and pH Profile of Self-etch Resin Luting Cements. *J Prosthodont* 2008;17(4):262-8.
6. Hill EE, Lott J. A clinically focused discussion of luting materials. *Aust Dent J* 2011;56(1 Suppl):67-76.
7. Duarte S, Sartori N, Sadan A, Phark J. Adhesive Resin Cements for Bonding Esthetic Restorations: A Review. *Quintessence Dent Technol* 2011;34(1): 42-54.
8. Carlos RGT, Léia QP, André GL, César RP, Alessandra BB. Interaction between total etch and self etch adhesives and conventional and self adhesive resin cement. *Braz J Oral Sci* 2007;6(22):1376-82.
9. Tasushi S, Janji T. Effect of regional enamel and prism orientation on resin bonding. *Oper Dent* 2003;28(1):20-7.
10. Franklin R T, Nigel M K, Kar-mun C, David H P. How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent* 2002;4(4):255-69.
11. Marcelo G, Patricia M, Ana PAA, Paulo MV, Bruna MF, Toru N, et al. Self-Etch Adhesive Systems: A Literature Review. *Braz Dent J* 2015;26(1):3-10.
12. Benetti P, Fernandes WV, Torres CR, Pagani C. Bonding Efficacy of New Self-etching, Self-adhesive, Dual-curing Resin Cements to Dental Enamel. *J Adhes Dent* 2011;13(3):231-4.
13. Toledano M, Osório R, de Leonardi G, Rosales-Leal JI, Ceballo L, Cabrerizo-Vilchez MA. Influence of self-etching primer on the resin adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent* 2001;14(4):205-10.
14. Holiel A, Abdel-Fattah W, El Mallakh B. Bond strength and interfacial morphology of a multi-mode adhesive resin cement to enamel and dentin. *Alex Dent J* 2015;40(2):133-9.
15. Siwaphon S, Pavisuth K, Weeranuch T. Effect of Dark Cure Activators in Resin Cements on Shear Bond Strength of Self-etch Adhesives. *CM Dent J* 2017;38(1):49-62.
16. RelyX Unicem 2 Self-Adhesive Resin Cement [webpage]. https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/relyx-unicem-2-RelyX-Unicem-2-Self-Adhesive-Resin-Cement/?N=5002385+3294776542&rt=rud. Accessed November 13, 2019.
17. Scaminaci R D, Pierleoni F, Buti J, Ferrari M, Giachetti L. *In vitro* comparison of bonding effectiveness of different adhesive strategies. *Am J Dent* 2014;27(6):323-9.
18. Michael RM, Jaclyn S, Andrew M, Dustin M, John CM. Comparison of 2 self-adhesive resin cements with or without a self-etching primer. *Gen Dent* 2020;68(1):22-8.

19. Ahn JS, Yi YA, Lee Y, Seo DG. Shear bond strength of MDP-containing self-adhesive resin cement and Y-TZP ceramics: effect of phosphate monomer-containing primers. *Biomed Res Int* 2015; Article ID 389234, 6 pages.
20. Chen C, Xie H, Song X, Zhang F. Effects of a zirconia primer and a self-adhesive resin cement on zirconia bonding. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2013;31(5):500-3.
21. Casucci A, Goracci C, Chieffi N, Monticelli F, Giovannetti A, Juloski J, et al. Microtensile bond strength evaluation of self-adhesive resin cement to zirconia ceramic after different pre-treatments. *Am J Dent* 2012;25(5):269-75.
22. Cavalcanti AN, Foxton RM, Watson TF, Oliveira MT, Giannini M, Marchi GM. Bond Strength of Resin Cements to a Zirconia Ceramic with Different Surface Treatments. *Oper Dent* 2009;34(3):280-7.
23. Klaisiri A, Krajangta N. Self-Adhesive Resin Cements. *J Dent Assoc Thai* 2015;65(1):11-20.
24. Ferracane JL, Stansburg JW, Bruke FJ. Self-adhesive Resin Cements-Chemistry, Properties and Clinical Considerations. *J Oral Rehabil* 2011;38(4):295-314.
25. Burgess JO, Ghuman T, Cakir D. Self-adhesive resin cements. *J Esthet Restor Dent* 2010;22(6):412-9.
26. Ronaldo GV, Alline K, Carlos EP, Rodrigo SA, Cesar AA, Andre FR. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. Comparative Study. *J Prosthet Dent* 2009;102(5):306-12.
27. Pisani-Proenc J, Erhardt MC, Amaral R, Valandro LF, Bottino MA, Castillo-Salmerón RD. Influence of different surface conditioning protocols on microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. *J Prosthet Dent* 2011;105(4): 227-35.
28. Santos MJ, Bapoo H, Rizkalla AS, Santos GC. Effect of dentin-cleaning techniques on the shear bond strength of self-adhesive resin luting cement to dentin. *Oper Dent* 2011;36(5):512-20.
29. Marilia MV, Tatiana RN, Cassiana KS, et al. Improved mechanical performance of self-adhesive resin cement filled with hybrid nanofibers-embedded with niobium pentoxide. *Dent mater* 2019; 35(11):272-85.
30. Meharry MR, Schwartz J, Montalvo A, Mueller D, Mitchell JC. Comparison of 2 self-adhesive resin cements with or without a self-etching primer. *Gen Dent* 2020;68(1):22-8.
31. Sattthachai P, Sirimongkolwattana S, Mamane T. New Adhesive System and Resin Cement. *CM Dent J* 2015;36(2):13-23.
32. Spencer P, Wang Y, Walker MP, Wieliczka DM, Swafford JR. Interfacial chemistry of the dentin/adhesive bond. *J Dent Res* 2000;79(7):1458-63.
33. 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):974-79.
34. Nakabayashi N, Pashley DH. Hybridization of dental hard tissue. Tokyo;Chicago: *Quintessence Pub.Co.*,1998.
35. 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):235-40.
36. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 2000;13(Spec No):9B-13B.
37. Fredriksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent* 1998;80(2):151-7.
38. Mirmohammadi H, Gerges E, Salameh Z, Wesselink PR. Effect of Post Diameter and Cement Thickness on Bond Strength of Fiber Posts. *Quintessence Int* 2013;44(10):801-10.
39. Uzunoğlu E, Türker SA, Yılmaz Z. Influence of Cement Type and Thickness on Polyfiber Post Adhesion. *J Conserv Dent* 2014; 17(3):255-60.
40. Watzkea R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater* 2008;24(11):1512-7.
41. Fakiha Z, Alaujan A, Saleh Al-Shamrani S. Retention of cast post cemented with zinc phosphate cement using different cementing techniques. *J Prosthodont* 2001;10(1):37-41.
42. Vichi A, Grandini S, Davidson CL, Ferrari M. An SEM evaluation of several adhesive systems used for bonding fiber posts under clinical conditions. *Dent Mater* 2002;18(7):495-502.
43. Ferrari M, Vichi A, Grandini S. Efficacy of different adhesive techniques on bonding to root canal walls: an SEM investigation. *Dent Mater* 2001;17(5):422-9.
44. Prisco D, De Santis R, Mollica F, Ambrosio L, Rengo S, Nicolais L. Fiber post adhesion to resin luting cements in the restoration of endodontically-treated teeth. *Oper Dent* 2003;28(5):515-21.
45. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent* 2004;32(6):443-50.
46. Carlo R, Gianrico S, Gianluca A, Jelena J, Sandro R, Marco F. Micro-computerized tomographic analysis of premolars restored with oval and circular posts. *Clin Oral Invest* 2014;18(2):571-8.
47. Lundström TS, Gebart BR. Influence from process parameters on void formation in resin transfer molding. *Polymer Composite* 1994;15(1):25-33.
48. Zdravkov BD, Cermak JJ, Sefara M, Janku J. Pore classification in the characterization of porous materials: A perspective. *Cent Eur J Chem* 2007;5(2):385-95.
49. Silva NRD, Aguiar GC, Rodrigues MP, Bicalho AA, Soares PB, Verissimo C, et al. Effect of Resin Cement Porosity on Retention of Glass-Fiber Posts to Root Dentin: An Experimental and Finite Element Analysis. *Braz Dent J* 2015;26(6):630-6.
50. Uzun IS, Malkoç MA, Keles A. 3D micro-CT analysis of void formations and push-out bonding strength of resin cements used for fiber post cementation. *Adv Prosthodont* 2016;8(2):101-19.

51. Pedreira A, D'Alpino P, Pereira P. Effects of the application techniques of self- adhesive resin cements on the interfacial integrity. *J Appl Oral Sci* 2016;24(5):437-46.
52. Milutinovic-Nikolic AD, Medic VB, Vukivic ZM. Porosity of different dental luting cements. *Dental Mater* 2007;23(6):674-8.
53. Mansur FV, Segalla JCM, Beloti AM. Study on film thickness of four resin cements. *Rev Odontol* 2002;31(2):171-7.
54. Nazari A, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. 3D assessment of void and gap formation in flowable resin composites using optical coherence tomography. *J Adhes Dent* 2013;15(3):237-43.
55. Bolhuis P, de Gee A, Feilzer A. The influence of fatigue loading on the quality of the cement layer and retention strength of carbon fiber post-resin composite core restorations. *Oper Dent* 2005;30(2):220-7.
56. Baba NZ, Goodacre CJ, Daher T. Restoration of endodontically treated teeth: the seven keys to success. *Gen Dent* 2009;57(6):596-603.
57. Morgano SM, Rodrigues AC, Sabrosa CE. Restoration of endodontically treated teeth. *Dent Clin N Am* 2004;48(2):397-416.
58. Watzke R, Blunck U, Frankenberger R. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater* 2008;24(11):1512-17.
59. Silva NRD, Rodrigues MP, Bicalho AA, Soares PBF, Price RB, Soares CJ. Effect of Resin Cement Mixing and Insertion Method into the Root Canal on Cement Porosity and Fiberglass Post Bond Strength. *J Adhes Dent* 2019;21(1):37-46.
60. Goracci C, Grandini S, Bossù M, Bertelli E, Ferrari M. Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: a review. *J Dent* 2007;35(11):827-35.
61. Gomes GM, Rezende EC, Gomes OM, Gomes JC, Loguercio AD, Reis A. Influence of the resin cement thickness on bond strength and gap formation of fiber posts bonded to root dentin. *J Adhes Dent* 2014;16(1):71-8.
62. Caceres EA, Sampaio CS, Atria PJ, Moura H, Giannini M, Coelho PG, *et al.* Void and gap evaluation using microcomputed tomography of different fiber post cementation techniques. *J Prosthet Dent* 2017;119(1):103-7.
63. Boschian PL, Cavalli G, Bertani P. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater* 2002;18(8):596-602.
64. Yoshida K, Tanagawa M, Atsuta M. In-vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. *J Oral Rehabil* 1998;25(4):285-91.
65. Somchai U, Wutipong L, Chatcharee S. Effect of cement film thickness on shear bond strengths of two resin cements. *M Dent J* 2014;34(2):122-8.
66. Ferrari M, Carvalho CA, Goracci C, Antonioli F, Mazzoni A, Mazzotti G, *et al.* Influence of Luting Material Filler Content on Post Cementation. *J Dent Res* 2009;88(10):951-6.