

EFFECT OF PREHEATED RESIN COMPOSITE LUTING AGENT ON FLEXURAL STRENGTH OF LITHIUM DISILICATE CERAMIC AT CEMENT-CORE INTERFACE

Chanisa MONTATPHALIN^{1*}, Nuttaphon KITTIKUNDECHA¹, Katanyoo LIMCHAIKUL¹

¹ Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Thailand; chanisa.pin@g.swu.ac.th (C. M.)

(Corresponding Author)

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the effect of a pre-heated resin composite luting agent on the biaxial flexural strength of lithium disilicate ceramic bonded to a resin composite substrate, simulating immediate dentin sealing or composite core build-up.

Materials and Methods: Fifty-two heat-pressed, crystallized, and glazed lithium disilicate discs (diameter = 10 mm, thickness = 1 mm) were fabricated and randomly assigned to four groups (n = 13) based on the luting agent used: (1) pre-heated resin composite at 68°C (PRC), (2) dual-cured resin cement (DC), (3) light-cured resin cement (LC), and (4) high-strength flowable resin composite (HSF). Biaxial flexural strength was evaluated for all specimens. Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test ($\alpha = 0.05$). Differences among groups were analyzed using one-way ANOVA followed by post-hoc multiple comparison tests.

Results: The flexural strength of lithium disilicate ceramics varied significantly depending on the luting material applied. Mean biaxial flexural strength values increased in the following order: LC < DC < PRC < HSF. The PRC group exhibited significantly higher flexural strength compared to the DC and LC; however, no significant differences were observed between DC and LC groups.

Conclusion: Pre-heated resin composite as an alternative luting agent provides comparable or superior mechanical support to lithium disilicate restorations compared to conventional resin cements, offering clinical guidance for material selection to optimize restoration durability.

Keywords: Pre-Heated Resin Composite, Lithium Disilicate, Biaxial Flexural Strength, Luting Agent, Resin Cement

CITATION INFORMATION: Montatphalin, C., Kittikundecha, N., & Limchaikul, K. (2026). Effect of Preheated Resin Composite Luting Agent on Flexural Strength of Lithium Disilicate Ceramic at Cement-Core Interface. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7),18.

ผลของสารยึดติดเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนต่อความต้านแรงดัดโค้งของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างสารยึดติดและฐานรองรับ

ชานิสา มนธาตุผลิน^{1*}, ณัฐพล กิตติคุณเดชา¹, และ กตัญญู หลิมไชยกุล¹

¹ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; chanisa.pin@g.swu.ac.th (ชานิสา) (ผู้ประพันธ์
บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนก่อนใช้งานเป็นวัสดุยึดต่อค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ยึดติดกับแผ่นเรซินคอมโพสิต ซึ่งจำลองสภาวะการปิดผิวเนื้อฟันทันทีหรือแกนฟันคอมโพสิต ในการศึกษาได้เตรียมแผ่นเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดกดอัดด้วยความร้อน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร) จำนวน 52 ชิ้น และแบ่งแบบสุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม (กลุ่มละ 13 ชิ้น) ตามชนิดของวัสดุยึด ได้แก่ (1) เรซินคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส (PRC) (2) เรซินซีเมนต์ชนิดกอบมั่วสองแบบ (DC) (3) เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (LC) และ (4) เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (HSF) จากนั้นทำการทดสอบค่ากำลังดัดขวางแบบสองแกนของชิ้นงานทุกชิ้น โดยทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ one-way ANOVA ร่วมกับการทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อน ผลการศึกษาพบว่าค่ากำลังดัดขวางของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุยึดที่ใช้ โดยค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ $LC < DC < PRC < HSF$ โดยกลุ่ม PRC แสดงค่าสูงกว่ากลุ่ม DC และ LC อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กลุ่ม DC และ LC ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุป การใช้เรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนเป็นวัสดุยึดทางเลือกสามารถให้การรองรับทางกลที่เทียบเท่าหรือดีกว่าเรซินซีเมนต์แบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นแนวทางทางคลินิกในการเลือกวัสดุเพื่อเพิ่มความคงทนของชิ้นงานบูรณะเซรามิก

คำสำคัญ: เรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อน, ลิเทียมไดซิลิเกต, ความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกน, วัสดุยึดติด, เรซินซีเมนต์

ข้อมูลการอ้างอิง: ชานิสา มนธาตุผลิน, ณัฐพล กิตติคุณเดชา และ กตัญญู หลิมไชยกุล. (2569). ผลของสารยึดติดเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนต่อความต้านแรงดัดโค้งของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างสารยึดติดและฐานรองรับ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 18.

บทนำ

การบูรณะฟันทางอ้อม (indirect restorations) คือการขึ้นรูปชิ้นงานบูรณะนอกช่องปาก เช่น งานครอบและสะพานฟัน (crown and bridge), อินเลย์ (inlay), ออนเลย์ (onlay), โอเวอร์เลย์ (overlay) รวมไปถึงวีเนียร์ (veneer) ซึ่งในอดีตอาจจำเป็นต้องมีการเตรียมโพรงฟันที่นำไปสู่การสูญเสียเนื้อฟันปริมาณมาก แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาของวัสดุยึดติดในทางทันตกรรม (dental luting materials) นำมาซึ่งแนวทางการรักษาแบบอนุรักษ์ (minimal invasive concept) และการบูรณะฟันทางอ้อมด้วยวิธีนอกรีเทนทีฟ (non-retentive indirect restoration) (Kallayathi, 2024) วิธีนี้นิยมทำในฟันหลังที่มีเนื้อฟันเสียหายแต่ยังสามารถบูรณะได้ โดยวัสดุทางเลือก (material of choice) ของงานบูรณะฟันทางอ้อมด้วยวิธีนอกรีเทนทีฟ ได้แก่ วัสดุกลุ่มเซรามิกล้วน (all ceramic) ความหนาที่แนะนำคือ 0.7-1 มิลลิเมตร ซึ่งหนาเพียงพอต่อการใช้งานบริเวณฟันหลัง (Johnson et al., 2014) โดยกลุ่มที่นิยมใช้มากที่สุด จะเป็นกลาสเซรามิก (glass ceramic) ได้แก่ ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) ซึ่งมีข้อดีคือให้ความสวยงาม, ความใส (translucent), มีหลายสีให้เลือก, มีความต้านทานการสึกกร่อนเคลือบฟัน (enamel) รวมถึงต้านทานการแตกหัก และต้านแรงดัดโค้งได้ดี

ปัจจัยที่สำคัญต่อความสำเร็จของงานบูรณะฟันทางอ้อม ได้แก่ วัสดุยึดติดที่เลือกใช้ โดยปัจจุบันนิยมใช้วัสดุยึดติดกลุ่มเรซินซีเมนต์ (resin cements) ซึ่งซีเมนต์ชนิดนี้มีส่วนประกอบคล้ายกับเรซินคอมโพสิตที่ใช้เป็นวัสดุบูรณะ (restorative composite) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) และฟิลเลอร์ (filler) ที่เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic substance) เช่น ซิลิกา (silica) ซึ่งเรซินซีเมนต์จะมีปริมาณฟิลเลอร์ที่ผสม และมีความหนืดที่น้อยกว่าเรซินคอมโพสิตที่ใช้เป็นวัสดุบูรณะ (Duarte Jr et al., 2011) ข้อดีของเรซินซีเมนต์ คือ มีความแข็งแรง ต้านทานต่อการแตกหัก รวมถึงมีการละลายตัวที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุยึดติดชนิดอื่นๆ ให้ความสวยงามเพราะมีหลายสีให้เลือกใช้ (Kallayathi, 2024) เรซินซีเมนต์สามารถตามลักษณะการบ่มตัว (mode of polymerization) ได้แก่ ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light-cured), ชนิดบ่มตัวด้วยแสงและเคมี (dual-cured) และชนิดบ่มตัวด้วยเคมี (chemical-cured) (Heboyan et al., 2023) ทำให้ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน และผลลัพธ์ที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการใช้สารยึดติด เพื่อให้เกิดความทนทาน และมีคุณสมบัติที่ดีต่อการใช้งานวัสดุบูรณะมากขึ้น ซึ่งการนำเรซินคอมโพสิตมาใช้เป็นวัสดุยึดติดเป็นอีกวิธีที่เริ่มมีการศึกษามากขึ้น เพราะมีข้อดี เช่น ราคาถูกกว่า, ให้ความแข็งแรงเพราะมีปริมาณฟิลเลอร์ที่ผสมมากกว่าเรซินซีเมนต์ (Coelho et al., 2019) อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตยังมีความหนืดที่มากกว่าเรซินซีเมนต์ ส่งผลให้ความหนาของชั้นยึดติด (film thickness) สูง และมีความสามารถในการไหลแผ่ต่ำ จึงเกิดเทคนิคในการให้ความร้อนแก่คอมโพสิตก่อนที่จะทำการยึดติดขึ้น (preheating technique) เพื่อให้มีความหนืด และความหนาของชั้นยึดติดน้อยลง โดยมีหลายการศึกษาที่กล่าวถึงคุณสมบัติที่ดีของการใช้เรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนเป็นวัสดุยึดติด เช่น สามารถเพิ่มแรงยึดติด (bond strength), เพิ่มปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion), เพิ่มความแนบตามขอบ (marginal adaptation) (Magne & Belser, 2021) รวมไปถึงให้ความแข็งแรงที่มากขึ้น (Barbon et al., 2022) ซึ่งโดยปกติแล้วความแข็งแรงหรือความต้านทานต่อแรงบิดเคี้ยวของชิ้นงานบูรณะทางอ้อมที่ยึดติดด้วยวัสดุยึดติดนั้น จะขึ้นกับคุณสมบัติเชิงกลของทั้งวัสดุบูรณะ และ วัสดุยึดติด อันได้แก่ ค่าความต้านแรงดัดโค้ง (flexural strength) และ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) เพราะจะบ่งบอกความสามารถของวัสดุยึดติดต่อการกระจายของแรงบิดเคี้ยวที่ได้รับ (Guimaraes et al., 2016)

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานแรงดัดโค้งของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต เมื่อนำมายึดติดด้วยเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อน เปรียบเทียบกับวัสดุยึดติดชนิดอื่นๆ เนื่องจากที่เรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณฟิลเลอร์มากกว่าเรซินซีเมนต์ อาจมีผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเซรามิกเพิ่มขึ้นได้

การทบทวนวรรณกรรม

การบูรณะฟัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การบูรณะฟันโดยตรงในช่องปาก (direct restoration) และการบูรณะฟันทางอ้อม (indirect restoration) โดยผู้ป่วยจะได้รับการบูรณะฟันแบบใด ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของโพรง

ฟัน (cavity), เนื้อฟันที่ส่วนที่เหลืออยู่ (remaining tooth structure), ตำแหน่ง และปริมาณแรงที่จะกระทำลงบนชิ้นงานบูรณะ ร่วมกับการวินิจฉัยของทันตแพทย์ แต่เนื่องด้วยแนวทางการรักษาแบบอนุรักษ์ (minimal invasive concept) ได้รับความสนใจ และถูกนำเสนอมากขึ้น ทำให้การบูรณะฟันทางอ้อมด้วยวิธีอินเทินทีฟ (non-retentive indirect restoration) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกการรักษาที่สามารถอนุรักษ์โครงสร้างของฟันไว้ได้ และมีการศึกษาพบว่าการเคลือบปิดผิวเนื้อฟันทันที (immediate dentin sealing) หลังการเตรียมโพรงฟัน สามารถให้ผลลัพธ์ทางการรักษาที่ดีขึ้น (MAGNE, 2005; Magne et al., 2005)

วัสดุกลุ่มเซรามิกที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นกลาสเซรามิก กลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate $2\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O}$) ซึ่งในทางการค้าวัสดุเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่มีการศึกษา และการใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไอพีเอสอีแมกซ์ (IPSTMe.max) มีทั้งในรูปแบบของการขึ้นรูปด้วยความร้อน (e.max press) โดยใช้วิธีลอสต์แว็กซ์ (lost wax technique) ร่วมกับการกดอัด และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบ และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการกลึง (e.max CAD) (Politano et al., 2018) การปรับสภาพพื้นผิวสำหรับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต เพื่อยึดกับวัสดุยึดติดกลุ่มเรซิน จะต้องมีการสร้างรอยขรุขระบนผิวของเซรามิกเพื่อให้สารยึดติดเข้าไปยึดได้ (micromechanical interlocking) โดยเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตจัดอยู่ในกลุ่มของกลาสเซรามิก สามารถใช้กรดกัดแก้ว หรือกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid; HF) กัดส่วนโครงสร้างที่เป็นแก้วทำให้ได้ความขรุขระบนพื้นผิว (surface roughness) และเพิ่มพื้นที่การยึดติด (surface area) ซึ่งจะแนะนำให้เป็นการกัดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น HF ร้อยละ 5 หรือ ร้อยละ 9-9.5 กัดเป็นเวลา 20 วินาที ร่วมการใช้สารไซเลน (silane) ที่มีฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (phosphate functional monomer) เช่น สารเท็นเอ็มดีพี (10- methacryloyloxydecyl-dihydrogen-phosphate ;10-MDP) ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติด โดยทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างวัสดุยึดติดกลุ่มเรซิน และเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งวิธีการนี้ถือเป็นกระบวนการที่ดีที่สุด (gold standard) ในปัจจุบัน (Zarone et al., 2019)

วัสดุกลุ่มที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน คือกลุ่มที่เรียกกันว่า เรซินซีเมนต์ (resin cements) สำหรับส่วนประกอบจะคล้ายกับเรซินคอมโพสิตคือประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) และฟิลเลอร์ ซึ่งเรซินซีเมนต์จะมีปริมาณฟิลเลอร์ที่ผสม และความหนืดที่น้อยกว่าเรซินคอมโพสิต นอกจากนั้นอาจผสมสารสี (pigment) และสารที่บ่งสีเพื่อให้มองเห็นผ่านภาพถ่ายรังสีได้ (Duarte Jr et al., 2011) เรซินซีเมนต์ สามารถแบ่งตามลักษณะการบ่มตัว (mode of polymerization) ดังที่กล่าวไปข้างต้น อย่างไรก็ตามเรซินซีเมนต์บางชนิด สามารถเลือกการใช้งานได้ทั้งการบ่มตัวด้วยแสงและการบ่มตัวด้วยแสงและเคมีเนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตเป็น 2 หลอดแยกจากกัน โดยเลือกใช้หลอดซีเมนต์ที่มีตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงเมื่อต้องการ เช่น Variolink N ซึ่งเป็นอีกหนึ่งซีเมนต์ที่มีการใช้งานทางคลินิกอย่างแพร่หลายและยาวนาน รวมถึงมีผลจากหลายศึกษารองรับ โดยในการเลือกใช้ระบบบ่มตัวด้วยแสงและเคมี ใช้การผสมเบส (Variolink N base) และ แคทาลิส (Variolink N catalyst) ในอัตราส่วน 1:1 และหากเลือกใช้เป็นระบบบ่มตัวด้วยแสง จะใช้เพียงเบสในการยึดชิ้นงาน และ ใช้ระบบสารยึดติดซินแท็ก (Syntac®) (Scientific Documentation Syntac, 2012)

นอกจากนั้นปัจจุบันได้มีการนำเรซินคอมโพสิตมาใช้เป็นวัสดุยึดติด เพราะมีข้อดี เช่น ราคาถูกกว่า, ให้ความแข็งแรง เพราะมีปริมาณฟิลเลอร์ที่ผสมมากกว่าเรซินซีเมนต์ (Coelho et al., 2019) ซึ่งปริมาณและชนิดฟิลเลอร์ที่ผสมในวัสดุยึดติดนั้น ส่งผลต่อทั้งความแข็งแรง และ การต้านทานการสึกได้ โดยช่องว่างระหว่างชิ้นงาน และ การเตรียมโพรงฟันจะเป็นพื้นที่อยู่ของวัสดุยึดติด ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจเกิดการสึก หรือการละลายตัวของวัสดุยึดติดได้ โดยมีการศึกษาพบว่าเมื่อนำเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดมาให้ความร้อนและใช้เป็นวัสดุยึดติดช่วยลดการสึกได้เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินซีเมนต์ (Duarte Jr et al., 2011) เทคนิคในการให้ความร้อนแก่คอมโพสิตก่อนที่จะทำการยึดติด (preheating technique) มีผลการศึกษาพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่เรซินคอมโพสิตสามารถช่วยให้ เรซินคอมโพสิตมีความหนืด และความหนาของชั้นยึดติดน้อยลง มีความสามารถในการไหลแผ่ได้ดีขึ้น (Magne & Belser, 2021) รวมไปถึงช่วยลดการเกิดการรั่วซึมตามขอบ เนื่องด้วยผลจากการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนรูปโมโนเมอร์ (monomer conversion) ทำให้วัสดุยึด

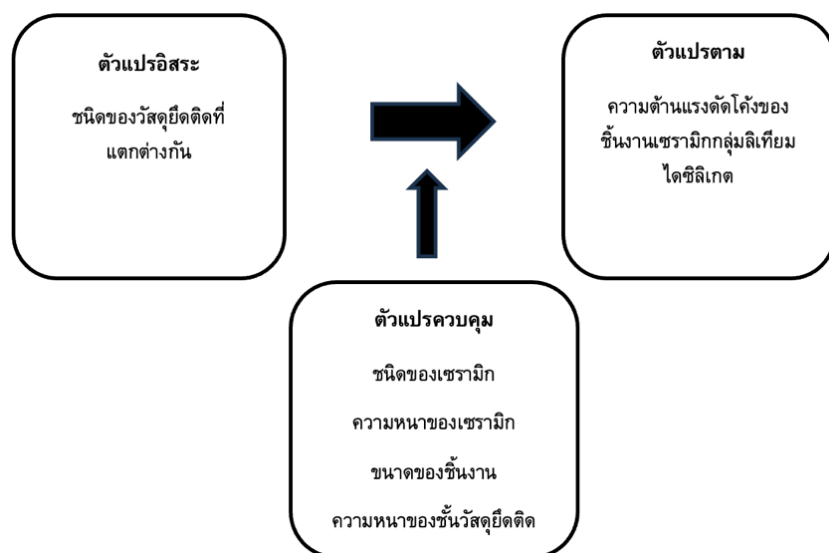
ติดชนิดนี้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น (Wagner et al., 2008) โดยจะให้ความร้อนแก่เรซินคอมโพสิตด้วยเครื่องทำความร้อน (composite heater) หรือ อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 68°C (55-70°C) เป็นเวลาประมาณ 5-10 นาที (Magne & Belser, 2021) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่าการใช้เรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนอาจเพิ่มการเกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) ได้ (Duarte Jr et al., 2011) รวมถึงผลจากความหนาแน่นยึดติดที่ยังคงมากกว่าเรซินซีเมนต์ และมีค่าแตกต่างกันตามชนิดและยี่ห้อของเรซินคอมโพสิตที่เลือกใช้ เพราะมีรูปร่าง และปริมาณของฟิลเลอร์ที่ผสมแตกต่างกัน (Duarte Jr et al., 2011) อย่างไรก็ตามการใช้งานเรซิน คอมโพสิตที่นำมาให้ความร้อนเป็นวัสดุยึดติดอาจมีข้อจำกัดอยู่บางประการ เช่น ช่วงเวลาการใช้งาน (working time) นั้น จำกัด เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิลดลงตามเวลา ความหนืดของวัสดุก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อาจทำให้ต้องออกแรงกดบน ชิ้นงานและ มีผลต่อตำแหน่งในการยึดชิ้นงานได้ ซึ่งหากทันตแพทย์ไม่สะดวกใช้วิธีให้ความร้อนแก่คอมโพสิต อันเนื่องด้วยข้อจำกัดนี้ หรือ ขั้นตอนและเวลาที่ต้องเพิ่มขึ้น สามารถใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (high strength flowable resin composite) เป็นวัสดุยึดติดชิ้นงานได้เช่นกัน ซึ่งการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มีความหนืดที่ต่ำ ทำให้เกิดการไหลแผ่ได้ดี และมีความยืดหยุ่นสูง อย่างไรก็ตามข้อเสียหลักของวัสดุยึดติดชนิดนี้ คือ มีการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) รวมถึงเกิดการขยายและหดตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ (Dionysopoulos et al., 2014) อย่างไรก็ตามยังคงต้องการการศึกษาถึงผลลัพธ์ และคุณสมบัติเชิงกลของการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดนี้เป็นวัสดุยึดติดเพิ่มเติม

สมมติฐานการวิจัย

H0: ความต้านแรงดัดโค้งของชิ้นงานเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อถูกนำมายึดติดด้วยวัสดุยึดติดที่แตกต่างกัน

H1: ความต้านแรงดัดโค้งของชิ้นงานเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าแตกต่างกันเมื่อถูกนำมายึดติดด้วยวัสดุยึดติดที่แตกต่างกัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยประชากรของงานวิจัย คือ เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตเพรส ความโปร่งแสงสูง (IPS e.max Press HT, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ที่

ความหนา 1.0 มิลลิเมตร คำนวณขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*Power 3.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 52 ชิ้น (N=52) แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามวัสดุยึดติดที่ทำการศึกษา จำนวนกลุ่มละ 13 ชิ้น (n=13) ดังนี้

- 1) ยึดติดด้วยเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อน (preheated-resin composite; PRC) (Clearfil™ AP-X refill)
- 2) ยึดติดด้วย เรซินซีเมนต์ ชนิดบ่มตัวสองแบบ (dual-cured resin cement; DC) (Variolink N, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein dual-cure)
- 3) ยึดติดด้วย เรซินซีเมนต์ ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light-cured resin cement; LC) (Variolink N, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein light -cure)
- 4) ยึดติดด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (high strength flowable resin composite; HSF) (Clearfil™ AP-X esthetics flow)

โดยทำการยึดติดแผ่นเซรามิกเทียมไดซิติเกท ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร เข้ากับแผ่นเรซินคอมโพสิต ซึ่งจำลองสภาวะการปิดผิวเนื้อฟันทันทีหรือแกนฟันคอมโพสิต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ตามคำแนะนำของผู้ผลิตวัสดุยึดติดทั้ง 4 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อนจะใช้เครื่องให้ความร้อนแก่เรซินคอมโพสิตชนิดหน้าจอดิจิทัล (Resin heater with digital display, Deasin, China) โดยตั้งอุณหภูมิที่ 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และแต่ละกลุ่มจะทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Smartlite Focus, Dentsply sirona, USA) ที่มีความเข้มแสง 1,000 mW/cm² เป็นเวลา 40 วินาที กำหนดความหนาสุดท้ายของชิ้นงานตัวอย่างที่ 3.1 (± 0.5) มิลลิเมตร ประกอบด้วย ความหนาของเซรามิก 1 มิลลิเมตร, ความหนาของแผ่นคอมโพสิต 2 มิลลิเมตร และ ความหนาของชั้นซีเมนต์ 0.1 มิลลิเมตร หรือ 100 ไมโครเมตร จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการยึดติด และจัดเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสครบ 24 ชั่วโมงแล้ว มาทดสอบความต้านแรงดัดโค้งแบบ 2 แกน ตามมาตรฐาน ISO 6872 ค.ศ. 2015 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิก (Universal testing machine Instron 8872, Instron, UK) การทดสอบชนิดนี้ ชิ้นทดสอบจะถูกวางไว้ที่ฐานโลหะ ที่ด้านล่างมีลูกบอลทรงกลมจำนวน 3 ลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร วางด้วยระยะห่างเท่าๆกันคือท่ามุม 120 องศาในระนาบเดียวกัน โดยจะให้แรงบนกึ่งกลางชิ้นทดสอบทรงแผ่นดิสก์ผ่านหัวกดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ลงบนแป้นรองรับ (Lee et al., 2016)

การศึกษานี้ได้ใช้ชิ้นงานทดสอบที่ประกอบด้วยวัสดุสองชั้นที่แตกต่างกัน (เซรามิก และ เรซินคอมโพสิต) และยึดติดกันด้วยวัสดุยึดติดซึ่งเป็นชั้นที่บาง จึงใช้การวิเคราะห์โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลและความหนาของแต่ละชั้นวัสดุ โดยใช้แบบจำลองสองชั้นตามที่ Hsueh และ Kelly ได้นำเสนอไว้ในปี ค.ศ.2008 (Hsueh & Kelly, 2008) และเป็นสมการที่ใช้ทดสอบในการศึกษาก่อนหน้า (Barbon et al., 2018; Porto et al., 2022) โดยตำแหน่ง (Axial Position) ที่ใช้คำนวณในการศึกษานี้ คือ $z = -t_2$ หมายถึง ผิวบริเวณรอยต่อระหว่าง วัสดุยึดติด และ ฐานเรซินคอมโพสิต โดยค่าจากตำแหน่งนี้ สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงของทั้งระบบ ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติของฐานเรซินคอมโพสิตร่วมด้วย การวัดค่าความต้านแรงดัดโค้ง แบบ 2 แกน (σ_{bf}) ที่ตำแหน่ง Axial Position $z = -t_2$ จะทำการวิเคราะห์ผลการศึกษด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (normality test) ด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA), เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Post hoc tests โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison) ด้วยวิธี Tukey HSD เพื่อหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความต้านแรงดัดโค้ง แบบ 2 แกน เมื่อใช้วัสดุยึดติดแต่ละกลุ่ม โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเอสเวอร์ชัน 25.0 (SPSS statistics 25.0, IBM)

ผลการวิจัย

ที่ตำแหน่ง $z = -t_2$ ค่าเฉลี่ย σ_{bf} กลุ่ม HSF อยู่ที่ 55.95 MPa (S.D. = 2.04), กลุ่ม PRC อยู่ที่ 50.25 MPa (S.D. = 4.25), กลุ่ม DC อยู่ที่ 44.65 MPa (S.D. = 4.30) และกลุ่ม LC อยู่ที่ 41.54 MPa (S.D. = 3.29) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย σ_{bf} รายคู่จำแนกตามชนิดของวัสดุยึดติดที่ต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ย σ_{bf} กลุ่ม PRC แตกต่างจากทั้ง 3 กลุ่ม (DC, LC, HSF) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$) ค่าเฉลี่ย σ_{bf} กลุ่ม DC แตกต่างจากกลุ่ม HSF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$) แต่ไม่ต่างจากกลุ่ม LC ($p\text{-value} > 0.05$) และค่าเฉลี่ย σ_{bf} กลุ่ม LC แตกต่างจากกลุ่ม HSF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบ 2 แกน (σ_{bf}) จำแนกตามชนิดของวัสดุยึดติดที่ต่างกันรายคู่ ในแต่ละ Axial Position $z = -t_2$ โดยใช้สถิติ Tukey HSD

Group	Biaxial Flexural Strength (σ_{bf}) at Axial Position $z = -t_2$
	mean $\pm$ S.D., MPa
Preheated-resin composite (PRC)	50.25 $\pm$ 4.25 ^a
Dual-cured resin cement (DC)	44.65 $\pm$ 4.30 ^b
Light-cured resin cement (LC)	41.54 $\pm$ 3.29 ^b
High strength flowable resin composite (HSF)	55.95 $\pm$ 2.04 ^c

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่ม HSF มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด, รองลงมาคือกลุ่ม PRC, กลุ่ม DC และกลุ่ม LC ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบรายคู่ กลุ่ม PRC มีค่าแตกต่างจากทั้งสามกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาในครั้งนี้จึงได้ปฏิเสธสมมติฐานของงานวิจัย โดยสมมติฐานกล่าวว่า “ความต้านแรงดัดโค้งของชิ้นงานเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลเกตมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อ ถูกนำมายึดติดด้วยวัสดุยึดติดที่ต่างกัน” แต่เนื่องจากพบว่าค่าความต้านแรงดัดโค้งของชิ้นงานตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อยึดด้วยวัสดุยึดติดที่ต่างกันออกไป

ในตำแหน่ง Axial Position $z = -t_2$ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นวัสดุยึดติดและแกนเรซินคอมโพสิต อันเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นดึงสูงสุดในการทดสอบความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกน พบว่ากลุ่ม HSF มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือกลุ่ม PRC ซึ่งแตกต่างจากทุกกลุ่มเช่นกัน ในขณะที่กลุ่ม DC และ LC ไม่แตกต่างกัน ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าที่ตำแหน่งซึ่งรับความเค้นดึงสูงสุด ความสามารถในการยึดเกาะและความสมบูรณ์ของชั้นวัสดุยึดติดมีความสำคัญอย่างยิ่ง กลุ่ม HSF ที่มีความหนืดต่ำโดยธรรมชาติสามารถไหลแผ่และเปียกผิวได้ดีที่สุด จึงเกิดการยึดเกาะที่สมบูรณ์และมีข้อบกพร่องน้อยที่สุด ส่งผลให้มีค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนสูงที่สุดอย่างชัดเจน ในขณะที่กลุ่ม PRC แม้จะมีปริมาณฟิลเลอร์สูงกว่าแต่อาจมีข้อบกพร่องจากการไหลแผ่ที่ไม่สมบูรณ์เท่ากลุ่ม HSF ทำให้แตกต่างจากกลุ่ม HSF อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับในการศึกษาของ Dionysopoulos และคณะในปี ค.ศ. 2014 ที่รายงานว่า การให้ความร้อนแก่เรซินคอมโพสิตทั่วไปไม่สามารถทำให้ค่าความหนาของชั้นฟิล์มต่ำเท่ากับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น เรซินคอมโพสิตทั่วไปที่ถูกให้ความร้อนจึงไม่สามารถทดแทนการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ (Dionysopoulos et al., 2014; Wagner et al., 2008) ส่วนกลุ่ม DC และ LC ที่มีปริมาณฟิลเลอร์ต่ำกว่าจึงมีค่าต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Marco และคณะในปี ค.ศ. 2017 ที่สรุปได้ว่าปริมาณฟิลเลอร์ที่สูงกว่าส่งผลให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าในหลายด้าน ได้แก่ ค่าความแข็งแรง, ค่ามอดูลัสความ

ยืดหยุ่น และความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ที่สูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคฟิลเลอร์ซึ่งมักเป็นอนุภาคแก้วหรือซิลิกาที่มีความแข็งแรงสูงทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง (Gresnigt et al., 2017)

ในการศึกษานี้ยังพบว่าค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนของกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบ (DC) ไม่แตกต่างจากกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (LC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่ากลุ่ม DC จะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าก็ตาม ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ประการแรก ทั้งกลุ่ม DC และกลุ่ม LC ใช้วัสดุพื้นฐานชนิดเดียวกัน คือ Variolink N ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์และองค์ประกอบของเรซินเมทริกซ์ที่ใกล้เคียงกัน (ปริมาณฟิลเลอร์; DC: base ร้อยละ 48.4, catalyst ร้อยละ 46.2; LC: base ร้อยละ 48.4) (Scientific Documentation Syntac, 2012) ด้วยเหตุนี้ สมบัติเชิงกลพื้นฐานของวัสดุทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเกิดการบ่มตัวอย่างสมบูรณ์ ประการที่สอง ในสภาวะการทดลองที่ขึ้นทดสอบเชรามิกลิเทียมไดซิลิเกต IPS e.max Press มีความหนา 1 มิลลิเมตร แสงจากเครื่องฉายแสงสามารถส่องผ่านชั้นเชรามิกไปยังชั้นวัสดุยึดติดได้อย่างเพียงพอ ประกอบกับเชรามิกลิเทียมไดซิลิเกตมีคุณสมบัติความโปร่งแสง (translucency) ค่อนข้างสูง ทำให้วัสดุยึดติดในกลุ่ม LC สามารถบ่มตัวอย่างได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยกลไกการบ่มตัวทางเคมีเพิ่มเติม ด้วยเหตุนี้ ข้อได้เปรียบของระบบบ่มตัวสองแบบในกลุ่ม DC จึงไม่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Spazzin และคณะในปี ค.ศ.2016 พบว่าค่าความต้านแรงดัดโค้งของกลุ่ม DC และ LC ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แม้กลุ่ม DC มีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย เนื่องด้วยการเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ และการเชื่อมขวางของโครงสร้างพอลิเมอร์เน็ตเวิร์กของกลุ่ม DC นั้น เป็นอิสระต่อการฉายแสง ทำให้มีปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ที่มากกว่ากลุ่ม LC ที่อาศัยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากการฉายแสงเพียงอย่างเดียว (Spazzin et al., 2016) อย่างไรก็ตาม ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของกลุ่ม LC มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม DC ซึ่งอาจบ่งชี้ว่า Variolink N ชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีความสม่ำเสมอในการบ่มตัวมากกว่า Variolink N ชนิดบ่มตัวสองแบบ ภายใต้สภาวะการทดลองที่แสงสามารถส่องผ่านได้อย่างเพียงพอ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลไกการบ่มตัวด้วยแสงเพียงอย่างเดียวมีความเสถียรและควบคุมได้ง่ายกว่าการทำงานร่วมกันของกลไกการบ่มตัวสองแบบ

ทั้งนี้ ในการศึกษาของ Tribst และคณะในปี ค.ศ. 2023 (Tribst et al., 2023) ได้ทำการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element analysis) เพื่อประเมินค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนของเชรามิกลิเทียมไดซิลิเกต ยึดด้วยวัสดุยึดติดกลุ่ม PRC, DC, LC และ HSF เช่นเดียวกัน แต่กลับได้ผลการศึกษาที่แตกต่างออกไป โดยพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนของกลุ่ม LC สูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่ม DC ตามด้วยกลุ่ม PRC และกลุ่ม HSF มีค่าต่ำที่สุดและต่ำกว่าทั้งสามกลุ่มที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้เหตุผลว่ากลุ่ม HSF มีขนาดอนุภาคฟิลเลอร์ที่ใหญ่กว่า (0.18-3.5 ไมโครเมตร) เมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ และการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคฟิลเลอร์ทำให้เกิดความเค้นเฉพาะที่เพิ่มขึ้นและค่าความต้านแรงดัดโค้งลดลง อย่างไรก็ตาม เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบ และชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าวเป็นคนละชนิดกับที่ใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์มากกว่า กล่าวคือ กลุ่ม DC มีปริมาณร้อยละ 61 และ กลุ่ม LC มีปริมาณร้อยละ 66 ส่งผลให้มีคุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน แนวโน้มของค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนจึงแตกต่างกัน รวมถึงยังใช้วิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของผลการศึกษาระหว่างการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองในห้องปฏิบัติการสามารถอธิบายได้จากข้อจำกัดของแต่ละวิธี กล่าวคือ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการจำลองสภาวะอุดมคติที่ตั้งอยู่บนสมมติฐานหลายประการ เช่น วัสดุมีเนื้อเดียวกัน (homogeneous) และมีสมบัติสม่ำเสมอทุกทิศทาง (isotropic) รอยต่อระหว่างชั้นวัสดุมีการยึดเกาะที่สมบูรณ์แบบ (perfect bonding) และไม่มีข้อบกพร่องภายในเนื้อวัสดุ เช่น ฟองอากาศ (void) หรือรอยแตกร้าวขนาดเล็ก (microcrack) ในทางตรงกันข้าม การทดลองจริงสะท้อนสภาพความเป็นจริงที่วัสดุมีความไม่สม่ำเสมอ มีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเตรียมชิ้นงานและการผสมวัสดุ รวมถึงความแปรปรวนของคุณภาพการยึดเกาะระหว่างชั้น ความสมบูรณ์ของการบ่มตัว และความหนาของชั้นฟิล์มที่แท้จริง ข้อบกพร่องเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นจุดรวมความเค้นและจุดเริ่มต้นของการแตกหัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้ ดังนั้น ผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอ

ลิเมนต์และการทดลองจริงจึงควรนำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อให้ได้ความเข้าใจที่ครอบคลุมเกี่ยวกับพฤติกรรมของวัสดุในสถานการณ์ต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีเพียงการศึกษาดังกล่าวและการศึกษานี้เท่านั้นที่นำเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงมาพิจารณาใช้เป็นวัสดุยึดติด จึงอาจเป็นแนวทางการศึกษาสำหรับงานวิจัยอื่นๆ ในภายภาคหน้า

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

การใช้เรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณฟิลเลอร์สูงเป็นวัสดุยึดติดสามารถให้ค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนที่สูงกว่า เรซินซีเมนต์ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง Clearfil AP-X esthetics flow (HSF) ที่ให้ค่าสูงที่สุด และมีความสะดวกในการใช้งานโดยไม่ต้องให้ความร้อน ในขณะที่เรซินคอมโพสิตที่ถูกให้ความร้อน Clearfil AP-X (PRC) เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ แต่อาจต้องคำนึงถึงการควบคุมความหนาของชั้นวัสดุยึดติด และอาศัยความชำนาญในขั้นตอนการใช้งาน โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกน ได้แก่ ปริมาณฟิลเลอร์ ความหนืด ความสามารถในการไหลแผ่ กลไกการบ่มตัว และความหนาของชั้นวัสดุยึดติด โดยการทดสอบความต้านแรงดัดโค้งแบบสองแกนเป็นวิธีที่เหมาะสมในการประเมินความแข็งแรงของระบบเซรามิก-วัสดุยึดติด เนื่องจากสามารถจำลองสภาวะการรับแรงที่ซับซ้อนในช่องปากได้ดี และลดผลกระทบจากข้อบกพร่องที่ขอบชั้นทดสอบ ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับ ทันตแพทย์ในการเลือกใช้วัสดุยึดติดที่เหมาะสม โดยควรพิจารณาร่วมกับสถานการณ์ทางคลินิก เช่น ความหนาของเซรามิก ตำแหน่งของชิ้นงานบูรณะ และแรงบดเคี้ยวที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ทำการวัดค่าความหนืด และความหนาของชั้นยึดติด ของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ทางสถิติ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวกับค่าความต้านแรงดัดโค้ง ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจกลไกที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น
- 2) เนื่องจากกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ให้ค่าความต้านแรงดัดโค้งสูงที่สุดในการศึกษานี้ จึงคาดว่าอาจนำเรซินคอมโพสิตกลุ่ม วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ยี่ห้ออื่นๆ ที่มีการผสมฟิลเลอร์ในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน มาทดสอบเปรียบเทียบเพิ่มเติม เพื่อประเมินว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันหรือไม่ และเพื่อหาวัสดุยึดติดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานทางคลินิก
- 3) งานวิจัยนี้ใช้การแช่ชิ้นทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจไม่เพียงพอในการจำลองสภาวะการใช้งานในช่องปากในระยะยาว ดังนั้น การศึกษาในอนาคตควรนำกระบวนการเร่งอายุการใช้งาน (aging procedure) เช่น การทดสอบด้วยวิธี thermocycling มาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย เพื่อให้ผลการทดสอบสะท้อนสภาวะการใช้งานจริงในช่องปากได้อย่างใกล้เคียง และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น
- 4) ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกัน ด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้ม และ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการศึกษาทั้งสองแบบ

เอกสารอ้างอิง

- Barbon, F. J., Isolan, C. P., Soares, L. D., Bona, A. D., de Oliveira da Rosa, W. L., & Boscato, N. (2022). A systematic review and meta-analysis on using preheated resin composites as luting agents for indirect restorations. *Clin Oral Investig*, 26(4), 3383-3393. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04406-z>
- Barbon, F. J., Moraes, R. R., Boscato, N., Alessandretti, R., & Spazzin, A. O. (2018). Feldspar Ceramic Strength and The Reinforcing Effect by Adhesive Cementation Under Accelerated Aging. *Braz Dent J*, 29(2), 202-207. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201801896>

- Coelho, N. F., Barbon, F. J., Machado, R. G., Boscato, N., & Moraes, R. R. (2019). Response of composite resins to preheating and the resulting strengthening of luted feldspar ceramic. *Dent Mater*, 35(10), 1430-1438. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.07.021>
- Dionysopoulos, D., Tolidis, K., Gerasimou, P., & Koliniotou-Koumpia, E. (2014). Effect of preheating on the film thickness of contemporary composite restorative materials. *Journal of Dental Sciences*, 9(4), 313-319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jds.2014.03.006>
- Duarte Jr, S., Sartori, N., Sadan, A., & Phark, J.-H. (2011). Adhesive Resin Cements for Bonding Esthetic Restorations: A Review. *Quintessence of Dental Technology (QDT)*, 34.
- Gresnigt, M. M. M., Özcan, M., Carvalho, M., Lazari, P., Cune, M. S., Razavi, P., & Magne, P. (2017). Effect of luting agent on the load to failure and accelerated-fatigue resistance of lithium disilicate laminate veneers. *Dent Mater*, 33(12), 1392-1401. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.09.010>
- Guimaraes, I., Murillo-Gómez, F., & Goes, M. (2016). Effect of Activation Mode on Flexural Strength and Elasticity Modulus of Dual Cure Resin Cements. *Odovtos International Journal of Dental Sciences*, 18, 18-19. <https://doi.org/10.15517/ijds.v0i0.23556>
- Heboyann, A., Vardanyan, A., Karobari, M. I., Marya, A., Avagyan, T., Tebyaniyan, H., Mustafa, M., Rokaya, D., & Avetisyan, A. (2023). Dental Luting Cements: An Updated Comprehensive Review. *Molecules*, 28(4). <https://doi.org/10.3390/molecules28041619>
- Hsueh, C.-H., & Kelly, J. R. (2008). Simple solutions of multilayered discs subjected to biaxial moment loading. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 25, 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.10.002>
- Johnson, A. C., Versluis, A., Tantbirojn, D., & Ahuja, S. (2014). Fracture strength of CAD/CAM composite and composite-ceramic occlusal veneers. *J Prosthodont Res*, 58(2), 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2014.01.001>
- Kallayathi, U. (2024). Non-Retentive Indirect Restoration in Molars: Case Report. *Udonthani Hospital Medical Journal*, 32(2), 304-316.
- Lee, K.-R., Choe, H.-C., Heo, Y.-R., Lee, J.-J., & Son, M.-K. (2016). Effect of different grinding burs on the physical properties of zirconia. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 8, 137. <https://doi.org/10.4047/jap.2016.8.2.137>
- MAGNE, P. (2005). Immediate Dentin Sealing: A Fundamental Procedure for Indirect Bonded Restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 17(3), 144-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2005.tb00103.x>
- Magne, P., & Belser, U. (2021). *Biomimetic Restorative Dentistry*. Quintessence Publishing Company, Incorporated. <https://books.google.co.th/books?id=aew8zgEACAAJ>
- Magne, P., Kim, T. H., Cascione, D., & Donovan, T. E. (2005). Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *J Prosthet Dent*, 94(6), 511-519. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.10.010>
- Politano, G., Van Meerbeek, B., & Peumans, M. (2018). Nonretentive Bonded Ceramic Partial Crowns: Concept and Simplified Protocol for Long-lasting Dental Restorations. *J Adhes Dent*, 20(6), 495-510. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a41630>

- Porto, B. L., Barbon, F. J., Isolan, C. P., Borges, A. L., Spazzin, A. O., Moraes, R. R., & Boscato, N. (2022). Effect of ultrasound on preheated resin composites used as ceramic luting agents. *Dent Mater J*, 41(3), 451-458. <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-246>
- Scientific Documentation Syntac*. (2012).
- Spazzin, A. O., Guarda, G. B., Oliveira-Ogliari, A., Leal, F. B., Correr-Sobrinho, L., & Moraes, R. R. (2016). Strengthening of Porcelain Provided by Resin Cements and Flowable Composites. *Oper Dent*, 41(2), 179-188. <https://doi.org/10.2341/15-025-l>
- Tribst, J. P. M., Etoeharnowo, L., Tadros, M., Feilzer, A. J., Werner, A., Kleverlaan, C. J., & Dal Piva, A. M. O. (2023). The influence of pre-heating the restoration and luting agent on the flexural strength of indirect ceramic and composite restorations. *Biomater Investig Dent*, 10(1), 2279066. <https://doi.org/10.1080/26415275.2023.2279066>
- Wagner, W. C., Aksu, M. N., Neme, A. L., Linger, J. B., Pink, F. E., & Walker, S. (2008). Effect of Pre-heating Resin Composite on Restoration Microleakage. *Operative Dentistry*, 33(1), 72-78. <https://doi.org/10.2341/07-41>
- Zarone, F., Di Mauro, M. I., Ausiello, P., Ruggiero, G., & Sorrentino, R. (2019). Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*, 19(1), 134. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0838-x>

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).