

กำลังแรงเฉือนของวัสดุเรซินชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ เมื่อถูกซ่อมด้วยระบบสารยึดติดที่แตกต่างกัน

Shear Bond Strength of Provisional 3d Printed Resin Repaired Using Different Adhesive Systems

ธนารักษ์ ฉายประดับ¹, เจษฎา ผลาสุข²

Thanarak Chaypradab¹, Jadesada Palasuk²

^{1,2}ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

^{1,2}Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

Corresponding Author: Email: Thanarak65@nu.ac.th

(Received: September 23, 2024; Revised: October 20, 2024; Accepted: November 9, 2024)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังแรงยึดเฉือนของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ซึ่งถูกซ่อมแซมด้วยสารยึดติดที่แตกต่างกัน วิจัยดำเนินการวิจัย การศึกษาที่ใช้สารไฮเลนชนิดที่ไม่รวมอยู่ในขวดเดียวกันกับสารยึดติด (RelyX Ceramic Primer, S) และสารยึดติด 2 ชนิดคือ (1) แอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (Adper Single Bond 2, adh, สารยึดติดที่มีไดเมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบหลัก) และ (2) สารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (Scotchbond Universal, Uadh, สารยึดติดที่มีไดเมทาคริเลตและสารไฮเลนเป็นองค์ประกอบหลักรวมอยู่ในขวดเดียวกัน) โดยขึ้นงานรูปทรงกระบอก ขนาด 20×15 มิลลิเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง × สูง) ทั้งหมด 25 ชิ้น นำไปจำลองการใช้งานในช่องปากด้วยเครื่องเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อน-เย็นเป็นจังหวะ (thermocycler) จำนวน 5,000 รอบ จากนั้นแบ่งกลุ่มของชิ้นงานออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้น ตามการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน คือ (1) ไม่มีการเตรียมพื้นผิว (กลุ่มควบคุมเชิงลบ), (2) ฟันทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (กลุ่มควบคุมเชิงบวก), (3) การใช้กรดฟอสฟอริกและใช้สารยึดติดแบบแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (E/Adh), (4) การใช้กรดฟอสฟอริก สารไฮเลนและใช้สารยึดติดแบบแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (E/S/Adh) และ (5) การใช้กรดฟอสฟอริก ร่วมกับสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (E/Uadh) จากนั้นทำการยึดชิ้นงานด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที และเก็บชิ้นงานแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปหาค่าความแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากล และนำชิ้นงานไปวิเคราะห์ความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอกำลังขยาย 10 เท่า ผลการวิจัย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่ากลุ่มที่ให้ค่ากำลังแรงยึดเฉือนมากที่สุด คือ การฟันทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (การควบคุมเชิงบวก) รองลงมาคือ การใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (E/Uadh) และการใช้กรดฟอสฟอริก สารไฮเลนและใช้สารยึดติดแบบแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (E/S/Adh) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการควบคุมเชิงบวก ($p>0.05$) สองกลุ่มที่มีกำลังแรงยึดเฉือนต่ำที่สุด ซึ่งต่ำกว่าการควบคุมเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือกลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิว (การควบคุมเชิงลบ) และการใช้กรดฟอสฟอริกและใช้สารยึดติดแบบแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (E/Adh) ตามลำดับ จากวิเคราะห์ความล้มเหลวพบการล้มเหลวแบบผสมส่วนใหญ่ สรุปผลการวิจัย การเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (E/Uadh) และการเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้กรดฟอสฟอริก สารไฮเลนและใช้สารยึดติดแบบแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (E/S/Adh) เป็นวิธีการ

ที่แนะนำในการซ่อมแซมวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติเนื่องจากให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวใกล้เคียงกับการฟันทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์

คำสำคัญ: กำลังแรงยึดเหนี่ยว; เรซินชนิดชั่วคราว; เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ; ซ่อมแซม; สารยึดติด

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate the shear bond strength of aged provisional 3D printed resin repaired with different adhesive systems. Methodology: A silane coupling agent (RelyX Ceramic Primer, S) and two adhesive systems; Adper Single Bond 2 (adh, dimethacrylate based resin) and Scotchbond Universal (Uadh, dimethacrylate based resin containing silane coupling agent), were used. Twenty-five cylindrical specimens (20×15 mm, diameter × height) were designed, 3D-printed and aged by thermocycling for 5,000 cycles. Then, specimens (n=5) were repaired/bonded according to surface treatments as follows: (1) no surface treatment (negative control), (2) Al₂O₃ sandblasting (positive control), (3) etching and Adper Single Bond 2 (E/Adh), (4) etching, silane coupling agent and Adper Single Bond 2 (E/S/Adh), and (5) etching and Scotchbond Universal adhesive (E/Uadh). After surface treatment, flowable resin composite was bonded to the specimen's surface by the aid of a Teflon mold (5×3 mm, diameter×height) and light cured for 40 seconds. All bonded specimens were kept in distilled water at 37°C for 24 hours and they were subjected to shear bond strength testing using an Instron testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Failure modes were analyzed by stereomicroscope (10×). Data were analyzed using One-way ANOVA. Results: The highest shear bond strength was achieved in Al₂O₃ sandblasting (positive control) followed by E/Uadh and E/S/Adh which were not significantly different to the positive control (p>0.05). The two lowest shear bond strength, significantly lower than the positive control (p<0.05), was observed in no surface treatment (negative control) and E/Adh, respectively. Failure modes were mostly mixed failure. Conclusion: E/Uadh and E/S/Adh are the suggested surface treatment prior to repairing aged provisional 3D printed resin due to their comparable shear bond strength to the Al₂O₃ sandblasting.

Keywords: Shear bond strength; Provisional resin; 3D printed resin; Repair; Adhesive

1. บทนำ

เทคโนโลยีการออกแบบและการผลิตชิ้นงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ (CAD/CAM) ได้เข้ามามีบทบาทในทางทันตกรรม และได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว มีความแม่นยำสูง การผลิตชิ้นงานสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ (3D printing) หรือการกลึง (milling) (Jeong and Kim 2019) การขึ้นรูปด้วยการพิมพ์แบบ 3 มิติเป็นการสร้างชิ้นงาน โดยทำให้วัสดุ เชื่อมกันเป็นชั้นต่อชั้น ซึ่งตรงข้ามกับวิธีผลิตแบบการกลึงซึ่งเป็นการตัดแต่งเนื้อวัสดุที่ไม่

จำเป็นออก ทำให้ข้อได้เปรียบของการพิมพ์แบบ 3 มิติ คือ สามารถผลิตชิ้นงาน หรือรูปทรงอื่นๆ ที่มีความละเอียดได้ และ ลดการสูญเสียวัสดุ (Lim NK 2020)

การใส่ฟันเทียมชนิดติดแน่นเป็นฟันเทียมที่ยึดติดในช่องปากบนฟันธรรมชาติ เช่น ครอบฟัน (crown) หรือใช้ฟันข้างเคียงเป็นหลักในการยึด เช่น สะพานฟัน (bridge) โดยผู้ป่วยที่ใส่ไม่สามารถถอดออกมาเพื่อทำความสะอาดภายนอกช่องปากได้ ซึ่งในขั้นตอนการรักษาจำเป็นต้องให้ผู้ป่วยใส่ครอบฟันหรือสะพานฟันชั่วคราวเพื่อประเมินการใช้งานก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นวัสดุในการบูรณะจริง ครอบฟันชั่วคราวสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เนื่องจากมีความแม่นยำ และความแข็งแรงมากกว่าการขึ้นรูปด้วยวิธีดั้งเดิม (Adulroj Vachirawit 2023) ในระหว่างการใช้งานครอบฟันชั่วคราวนั้นอาจจำเป็นต้องมีการปรับแต่งหรือเกิดการแตกหักขึ้น จำเป็นต้องแก้ไขโดยการซ่อมแซม หรือเสริมการบูรณะชิ้นงานชั่วคราวให้มีสภาพดั้งเดิม (Chen, Lai Yl Fau - Chou et al. 2008)

ปัจจุบันการซ่อมแซมครอบฟันชั่วคราวมีหลากหลายแนวทางทั้งการปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มความขรุขระเช่นการเป่าทราย (sandblasting) และการใช้สารยึดติดที่แตกต่างกัน (Klaisiri, Phumpatrakom et al. 2022) โดยสารยึดติดในปัจจุบันแบ่งออกได้ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเอทช์แอนด์รีนส์ (etch-and-rinse system) ซึ่งสามารถแบ่งตามขั้นตอนการทำงานได้ 2 ชนิด คือชนิด 3 ขั้นตอน โดยมีการเตรียมผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก ล้างน้ำ ทาสารไพรเมอร์ และสารยึดติด ตามลำดับ และชนิด 2 ขั้นตอน โดยการเตรียมผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก ล้างน้ำ ทาด้วยสารละลายที่มีสารไพรเมอร์และสารยึดติดรวมไว้ในขวดเดียวกัน อีกระบบคือระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch system) ซึ่งสามารถแบ่งตามขั้นตอนการทำงานได้ 2 ชนิดคือ คือชนิด 2 ขั้นตอนที่มีการเตรียมผิวฟันด้วยสารไพรเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด และทาสารยึดติด ตามลำดับ และชนิดขั้นตอนเดียวที่มีการรวมองค์ประกอบของสารไพรเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด และสารยึดติดไว้ในขวดเดียวกัน เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน (Tyas and Burrow 2004, Klaisiri, et al. 2016)

สารยึดติดทางทันตกรรมจะมีไดเมทาคริเลต (dimethacrylate) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ระบบตัวเริ่มปฏิกิริยาและตัวยับยั้งปฏิกิริยา (initiator and inhibitor systems) ตัวทำละลาย (solvent) และวัสดุอุดแทรก (filler) (Cherdsatirakul and Santisupmongkol 2021) โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบสารยึดติดโดยใส่สารอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด ลดขั้นตอนการทำงานและสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางในการยึดติดทางทันตกรรม เช่น ผลิตภัณฑ์ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอล (Single bond universal adhesive, 3M, Deutschland GmbH, Neuss, Germany) ที่มีการใส่สารไฮเลน และสารเทิน-เมทาคริลอยล็กซีดีซิลไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต หรือสารเอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, MDP) รวมไว้ในขวดเดียวกันกับสารยึดติดเพื่อช่วยให้ใช้งานได้ทั้งการยึดติดกับผิวฟัน และวัสดุบูรณะชนิดต่างๆ (Klaisiri, et al. 2016)

พบว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ยังไม่เป็นที่แพร่หลายและผลการศึกษาที่แตกต่างกันออกไป (Lim NK 2020) โดยการศึกษานี้จะใช้สารยึดติดหลัก 2 ชนิดคือสารยึดติดยูนิเวอร์ซอล (Scotchbond Universal) ที่มีไดเมทาคริเลตและสารไฮเลนเป็นองค์ประกอบหลักรวมอยู่ในขวดเป็นสารละลายเดียวกัน และสารสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (Adper Single Bond 2) ซึ่งสารยึดติดที่มีไดเมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบหลัก (ไม่มีสารไฮเลนเป็นองค์ประกอบ) แต่อาจจะใช้หรือไม่ใช้ร่วมกับสารไฮเลนชนิดแยกขวด (ไม่รวมอยู่ในสารละลายเดียวกับสารยึดติด) โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแข็งแรงของแรงเฉือนของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ได้รับการซ่อมแซมโดยการเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้ระบบสารยึดติดที่แตกต่างกัน ผลการศึกษานี้จะช่วยในการเลือกเทคนิคการรักษาพื้นผิวที่เหมาะสมในทางทันตกรรมบูรณะ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษากำลังแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ผ่านการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากที่ถูกซ่อมแซมโดยการใช้สารยึดติดที่แตกต่างกัน

2.2 เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบความล้มเหลว (mode of failure) หลังการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ผ่านการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องถูกซ่อมแซมโดยการใช้สารยึดติดที่แตกต่างกัน

สมมติฐานการวิจัย

ไม่มีความแตกต่างกันของกำลังแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ผ่านการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากที่ถูกซ่อมแซมโดยการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านการศึกษา: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (in vitro study)

3.2 สถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย: ห้องปฏิบัติการวิจัยชั้น 4 และห้องปฏิบัติการ CAD/CAM วิทยาลัยบัณฑิตศึกษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมชิ้นงาน (Preparation of the specimens)

ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 25 ชิ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ($n=5$) ตามชนิดของการเตรียมพื้นผิว โดยชิ้นงานรูปทรงกระบอกขนาด 20×15 มิลลิเมตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง \times ความสูง) ถูกออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (CAD software) และขึ้นรูปด้วยน้ำยาเรซินชนิดโพลีเมอร์โดยใช้เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ชนิด Digital Light Processing (DLP) (ภาพที่ 1) เมื่อชิ้นงานขึ้นรูปเสร็จแล้วจึงนำไปฉีดล้างเรซินส่วนเกินออกด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 99 (99% isopropyl alcohol) เป็นเวลา 60 วินาที และนำไปแช่ในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 99 และเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เพื่อกำจัดเอาส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกไปเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำชิ้นงานมาเป่าลมให้แห้งแล้วนำไปเข้าเครื่อง post-cured ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นเวลา 200 วินาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ที่สมบูรณ์



ภาพที่ 1 ชิ้นงานรูปทรงกระบอกที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ขนาด 20×15 มิลลิเมตร

4.2 การจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปาก (Aging process)

นำชิ้นงานไปจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากด้วยเครื่องเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อน-เย็นเป็นจังหวะ จำนวน 5,000 รอบ ที่อุณหภูมิ 5°C และ 55°C โดยใช้เวลาแช่ (dwell time) 30 วินาที และถ่ายโอน (transfer time) 5 วินาที (Wiegand, Stucki et al. 2015)

4.3 การเตรียมพื้นผิว (Surface treatment)

หลังจากชิ้นงานผ่านการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากแล้ว ชิ้นงานจะถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามวิธีการเตรียมพื้นผิว โดยการกำหนดขอบเขตการเตรียมพื้นผิวด้วยเทปกาวที่เจาะรูเป็นวงกลมยึดไว้ที่กึ่งกลางของชิ้นงานแล้วทำการเตรียมพื้นผิว ดังนี้

กลุ่มที่ 1: No surface treatment กลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิว (กลุ่มควบคุมเชิงลบ)

กลุ่มที่ 2: Aluminum oxide sandblasting (sandblasting, กลุ่มควบคุมเชิงบวก) กลุ่มที่พันทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร ที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ความดัน 2 บาร์ เป็นเวลา 10 วินาที

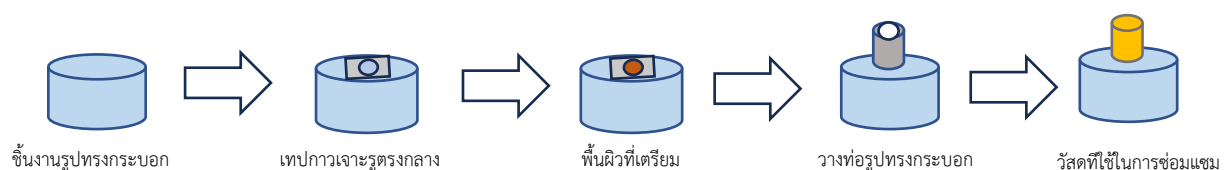
กลุ่มที่ 3: Etching & Adper Single Bond 2 (E/Adh) กลุ่มที่มีการเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกรดฟอสฟอริก และใช้สารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู โดยทากรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 37 ลงบนชิ้นงานเป็นเวลา 15 วินาที ล้าง 20 วินาทีและเป่าแห้ง จากนั้นทาสารยึดติด (Adper Single Bond 2, 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, USA) ลงบนชิ้นงานเป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นเป่าลมให้แห้งแล้วทำการฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัท

กลุ่มที่ 4: Etching, silane & Adper Single Bond 2 (E/S/Adh) การเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกรดฟอสฟอริก ไฮเลนและใช้สารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู โดยทากรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 37 ลงบนชิ้นงานเป็นเวลา 15 วินาที ล้าง 20 วินาทีและเป่าแห้ง จากนั้นทาสารไฮเลน (RelyX Ceramic Primer, 3M ESPE, Seefeld, Germany) เป็นเวลา 60 วินาที เป่าแห้ง (Haneda, Almeida Jr et al. 2017) และทาสารยึดติด (Adper Single Bond 2, 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, USA) ลงบนชิ้นงาน ตามคำแนะนำของบริษัท

กลุ่มที่ 5: Etching & Scotchbond Universal adhesive (E/Uadh) การเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกรดฟอสฟอริก ร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล โดยทากรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 37 ลงบนชิ้นงานเป็นเวลา 15 วินาที ล้าง 20 วินาทีและเป่าแห้ง จากนั้นทาสารยึดติด (Scotchbond Universal, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ลงบนชิ้นงานเป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นเป่าลมให้แห้งแล้วทำการฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัท

4.4 การซ่อมแซมชิ้นงาน (Repair of the specimens)

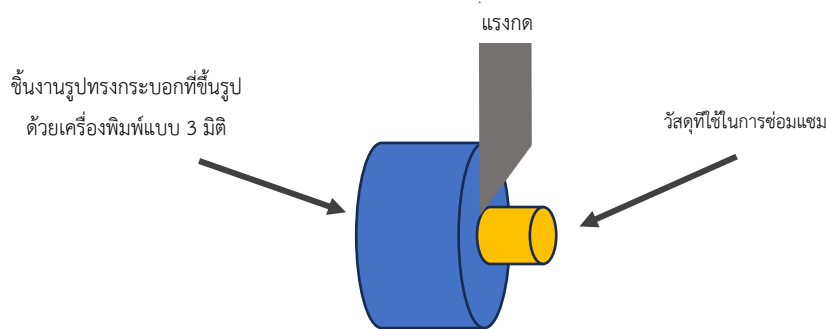
หลังจากทำการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานที่แตกต่างกันแล้ว จึงนำชิ้นงานในแต่ละกลุ่มมาทำการซ่อมแซมด้วย เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (Filtek Supreme XT Flowable Restorative, 3 M ESPE, ST. Paul, MN, USA) โดยฉีควัสดุลงในท่อทรงกระบอกเล็ก (Teflon mold) ขนาด 5×3 มิลลิเมตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง×ความสูง) เพื่อทำให้เกิดการยึดติดกันที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน จากนั้นกำจัดส่วนเกินของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ และเก็บชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการซ่อมแซมด้วยวัสดุต่างๆ

4.5 การทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond strength testing)

นำชิ้นงานที่ถูกซ่อมแซมไปทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานและวัสดุซ่อมแซม โดยการใช้เครื่องทดสอบแรงแบบสากล (Instron, ElectroPuls™ E1000, England) โดยทำการยึดชิ้นงานเข้ากับอุปกรณ์ โดยให้ระนาบของปลายมีดที่จะใช้ทดสอบ (knife-edge shear blade) ขนานกับรอยต่อระหว่างชิ้นงานกับวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมและให้เครื่องออกแรงกดที่ความเร็ว (crosshead speed) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก (ภาพที่ 3) ซึ่งค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวได้จากการคำนวณโดยนำแรงเฉือนสูงสุดหาร (force, N) ด้วยพื้นที่ของวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม (area, mm²) มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (MPa)



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond strength testing)

4.6 การศึกษารูปแบบความล้มเหลว (Failure mode analysis)

หลังจากชิ้นงานเกิดการแตกหัก นำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 10 เท่า เพื่อศึกษารูปแบบความล้มเหลว (mode of failure) โดยสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

- 1) การยึดไม่อยู่ (Adhesive failure): เกิดความล้มเหลวระหว่างรอยต่อของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติกับวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม วัสดุจะหลุดแยกออกจากกันโดยสมบูรณ์
- 2) การเชื่อมแน่นล้มเหลว (Cohesive failure): เกิดความล้มเหลวในเนื้อของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ หรือในเนื้อวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม โดยไม่มีการล้มเหลวครอบคลุมถึงรอยต่อระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิด
- 3) การล้มเหลวแบบผสม (Mixed failure): เกิดความล้มเหลวทั้งแบบการยึดไม่อยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว โดยพบมีการล้มเหลวที่รอยต่อและในเนื้อของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบแบบจับคู่ชนิดทูเกีย (Tukey's post hoc test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และใช้ค่าร้อยละและค่าความถี่เพื่ออธิบายรูปแบบความล้มเหลว

5. ผลการวิจัย

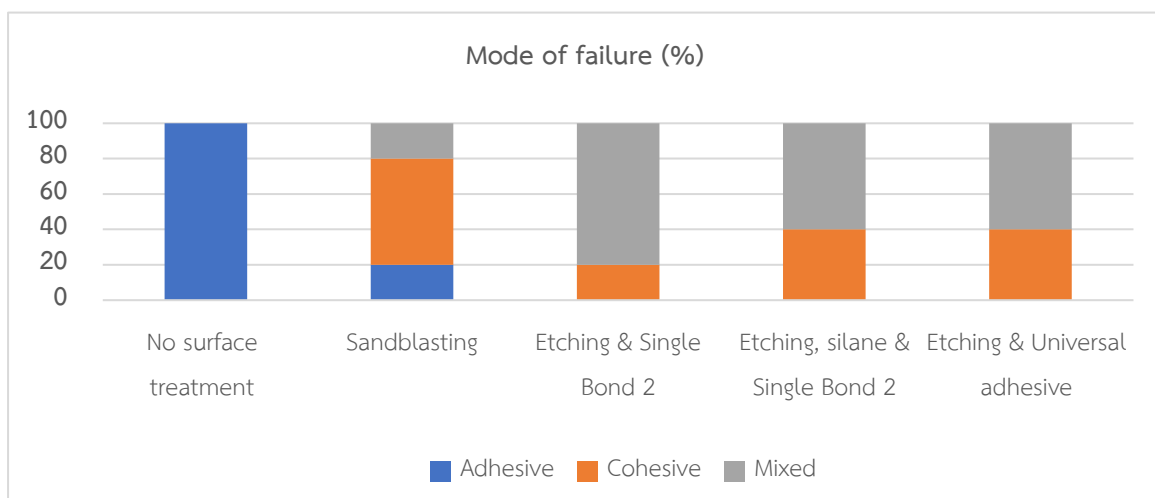
ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (เมกะพาสคาล: MPa) ของวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ผ่านการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปาก ที่ถูกซ่อมแซมโดยใช้การเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน เมื่อนำข้อมูลไปทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธีลีวิน (Levene's test) พบว่าข้อมูลในทุกกลุ่มการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า การพ่นทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (sandblasting) ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดคือ 12.99 ± 2.46 เมกะพาสคาล และกลุ่มที่ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิว (no treatment) คือ 7.41 ± 1.50 เมกะพาสคาล

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มแบบจับคู่พหุคูณชนิดทูเกย์ (Tukey's post hoc test) พบว่า ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสามารถจำแนกได้เป็นสองกลุ่มตามความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ กลุ่มที่ 1 (no treatment) และกลุ่มที่ 3 (etching & Single Bond 2) และอีกกลุ่มคือ กลุ่มที่ 2 (sandblasting) กลุ่มที่ 4 (etching, silane & Single Bond 2) และกลุ่มที่ 5 (etching & Universal adhesive) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (เมกะพาสคาล: MPa)

Group	Surface treatment	Shear bond strength (MPa)		
		Mean \pm SD	Maximum	Minimum
1	No surface treatment (negative control)	7.41 ± 1.50^A	8.79	5.33
2	Sandblasting (positive control)	12.99 ± 2.46^B	15.38	9.59
3	Etching & Single Bond 2 (E/Adh)	10.69 ± 1.93^A	12.81	7.99
4	Etching, silane & Single Bond 2 (E/S/Adh)	12.56 ± 0.75^B	13.34	11.89
5	Etching & Universal adhesive (E/Uadh)	12.88 ± 2.20^B	16.28	10.47

ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงกลุ่มที่มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4 การกระจายของรูปแบบความล้มเหลว (mode of failure, ร้อยละ)

ภาพที่ 4 แสดงรูปแบบความล้มเหลว (mode of failure) หลังนำชิ้นงานที่เกิดการแตกหักหลังการทดสอบค่าความแข็งแรงเดือนมาส่งด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 10 เท่า พบว่าชิ้นงานทั้งหมดกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวก่อนการซ่อมแซมมีความล้มเหลวชนิดการยึดไม่อยู่ (adhesive failure) และกลุ่มที่ 2 มีการเตรียมพื้นผิวด้วยการพ่นทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ พบมีการล้มเหลวทั้ง 3 ชนิด แต่พบการเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนชิ้นงานกลุ่มที่ 3-5 ที่มีการใช้กรดกัดร่วมกับการทาสารยึดติดที่แตกต่างกับพบการล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) และการเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) มากที่สุดตามลำดับ แต่ไม่พบความล้มเหลวชนิดการยึดไม่อยู่ (Adhesive failure)

6. สรุปและอภิปรายผล

การเพิ่มความแข็งแรงพันธะระหว่างวัสดุทั้งชนิดสามารถทำได้โดยการเพิ่มความขรุขระของพื้นผิวซึ่งช่วยเพิ่มการยึดติดเชิงกล (mechanical retention) เช่น การพ่นทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ และการใช้หัวกรอ วิธีการที่กล่าวมานี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการยึดเกาะ ช่วยทำความสะอาดพื้นผิว และเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) เสริมสร้างให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น (Kiomarsi, Saburian et al. 2017) และอีกกลไกที่มีความสำคัญคือ การสร้างการยึดทางเคมีเพื่อส่งเสริมให้เกิดพันธะเคมี (chemical retention) ได้แก่ การใช้สารยึดติด การใช้ไซเลน (Jeong and Kim 2019, Lim NK 2020) โดยโพลีเมอร์ของสารยึดติดจะไหลเข้าสู่รอยแตกขนาดเล็กของวัสดุบูรณะเพื่อสร้างการยึดเกาะ (micro-entanglement) และยังช่วยเพิ่มให้พื้นผิวมีความเปียก (surface wetting) ทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงผลของการเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้สารยึดติดชนิดต่างๆต่อ กำลังแรงยึดเดือนระหว่างวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวผ่านกระบวนการจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากและวัสดุซ่อมแซมชนิดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่จากการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลอง โดยกลุ่มที่ 2 (sandblasting, กลุ่มควบคุมเชิงบวก) กลุ่มที่ 4 (E/S/Adh) และกลุ่มที่ 5 (E/UAdh) ให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมเชิงลบ (กลุ่มที่ 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นถึงการใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับการใช้ ไซเลนและสารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกลบบอนด์ทู (E/S/Adh) และการใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (E/UAdh) เป็นการเตรียมพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีค่าเทียบเคียงกับกลุ่มควบคุมเชิงบวกที่ใช้การพ่นทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (sandblasting) ที่ให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนสูงที่สุด ซึ่งการพ่นทรายเป็นวิธีมาตรฐานและนิยมกันอย่างแพร่หลายเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุด

จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกลบบอนด์ทู (E/Adh กลุ่มที่ 3) ให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมเชิงลบ (กลุ่มที่ 1) ที่ไม่ได้มีการเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกลบบอนด์ทูอาจไม่เพียงพอที่จะเพิ่มการยึดติดที่ดีได้ จำเป็นต้องทาไซเลนก่อนการทาสารยึดติดชนิดแอดเปอร์ซิงเกลบบอนด์ทู ดังเช่นกลุ่มที่ 4 (E/S/Adh) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด โดยไซเลนช่วยเพิ่มพื้นผิวมีความเปียก (surface wetting) ช่วยให้สารยึดติดสามารถไหลแผ่เข้าบนพื้นผิวชิ้นงานได้ดีขึ้นจึงช่วยส่งเสริมการเกิดยึดทางเคมีให้ดียิ่งขึ้นกว่าการทาสารยึดติดเพียงอย่างเดียว ดังเช่นกลุ่มที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นงานในกลุ่มควบคุมเชิงลบ (กลุ่มที่ 1) เป็นชนิดการยึดไม่อยู่ (adhesive failure) ทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความไม่แข็งแรงของชั้นยึดติดที่เกิดขึ้นระหว่าง วัสดุเรซินชนิดชั่วคราวและวัสดุซ่อมแซมชนิดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ แต่ในกลุ่มที่ 3 (E/Adh) พบความล้มเหลวชนิดผสม (mixed failure) เป็นส่วนใหญ่ ไม่พบการแตกหักชนิดการยึดไม่อยู่ (adhesive failure) จึงแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่ 3 มีการยึดติดที่ดีกว่า แม้ว่ากลุ่มที่ 3 (E/Adh) จะให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุมเชิงลบ

กลุ่มทดลองที่ 5 ใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอล (E/UAdh) ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมเชิงบวก และมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากในสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซอลมีไซเลนเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในอยู่แล้ว จึงให้ผลเช่นเดียวกับผลการศึกษาที่พบในกลุ่มที่ 4 (E/S/Adh) มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของพันธะจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไซเลนร่วมกับสารยึดติด (Brosh, Pilo R Fau - Bichacho et al. 1997) โดยไซเลนประกอบด้วยหมู่ซิลานอล (silanol groups) ซึ่งทำปฏิกิริยากับอนุภาคอินทรีย์ (inorganic filler) ของสารตั้งต้นเรซินคอมโพสิตและหมู่อร์แกนิกฟังก์ชัน (organofunctional groups) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์กับกลุ่มเมทาคริเลตของวัสดุซ่อมแซม (Yin, Kwon et al. 2022)

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมผิวชิ้นงานเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่ผ่านการใช้งานในช่องปากแล้วมีความสำคัญต่อการยึดติดของวัสดุซ่อมแซม เนื่องจากวัสดุที่ผ่านการใช้งานจะสูญเสียพันธะ C=C บนพื้นผิว ซึ่งพันธะนี้มีความสำคัญต่อการเกิดพันธะเคมีกับสารอื่น ๆ หรือวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม ซึ่งการสูญเสียนี้ทำให้ออกาสในการเกิดพันธะเคมีลดลงตามไปด้วยตามระยะเวลาในการใช้งาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานให้เหมาะสมโดยการเพิ่มการยึดติดเชิงกล และ/หรือการยึดทางเคมีเพื่อให้เกิดการยึดติดที่มีประสิทธิภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการแต่ในการทำงานทางคลินิกอาจมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเรซินชนิดชั่วคราวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติกับวัสดุซ่อมแซม เช่น ความชื้นในช่องปาก การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการอื่นๆ ก็อาจให้ผลที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การจำลองการใช้งานในสภาวะช่องปากด้วยเครื่องเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อน-เย็นเป็นจังหวะ ซึ่งเป็นวิธีในห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้ทดสอบวัสดุทางทันตกรรมเพื่อให้วัสดุสัมผัสกับร้อนและเย็นสลับกัน โดยอาศัยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ก่อเกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุ ซึ่งอาจจะไม่ได้จำลองการใช้งานเหมือนกับการใช้งานจริงในสภาวะช่องปาก

8. เอกสารอ้างอิง

- Adulroj Vachirawit, C. P., Yavirach Apichai, Angkasith Pattarika (2023). Semi-permanent Restorations Just Temporary or Long-lasting Use?: A Review of the Literature: Review articles. *CM Dent J*, 44(1); 13-21.
- Brosh, T., N. Pilo R Fau - Bichacho, R. Bichacho N Fau - Blutstein and R. Blutstein. (1997). Effect of combinations of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Prosthet Dent*, 77(2), (0022-3913 (Print)); 122-126.
- Chen, H. L., I. c. Lai Yl Fau - Chou, C.-J. Chou Ic Fau - Hu, S.-y. Hu Cj Fau - Lee and S. Y. Lee. (2008). Shear bond strength of provisional restoration materials repaired with light-cured resins. *Oper Dent*, 33(5); 508-515.
- Cherdasirakul, P. and W. Santisupmongkol. (2021). Residual Monomer from Dental Adhesive: A Review of the Literature. *Chiang Mai Dental Journal*, 42(1); 13-24.
- Haneda, I., A. Almeida Jr, R. Fonseca and G. Adabo. (2017). **Intraoral repair in metal-ceramic prostheses: a clinical report.** *Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo*, 21; 282.
- Jeong, K. W. and S. H. Kim (2019). Influence of surface treatments and repair materials on the shear bond strength of CAD/CAM provisional restorations. *J Adv Prosthodont*, 11(2); 95-104.

- Kiomarsi, N., P. Saburian, N. Chiniforush, M. J. Karazifard and S. S. Hashemikamangar. (2017). **Effect of thermocycling and surface treatment on repair bond strength of composite**. 98 (1989-5488 (Print)): e945-e951.
- Klaisiri, A., N. K. , T. S. and N. T. (2016). Effects of different adhesives on ceramic/resin composite bond strength. *J DENT*, 66(4); 344-356.
- Klaisiri, A. A.-O., P. Phumpatrakom and N. Thamrongananskul. (2022). **Chemical Surface Modification Methods of Resin Composite Repaired with Resin-Modified Glass-Ionomer Cement**. LID - 10.1055/s-0042-1755627 [doi]. *Eur J Dent*.
- Lim NK, S. S. (2020). Bonding of conventional provisional resin to 3D printed resin: the role of surface treatments and type of repair resins. *J Adv Prosthodont*, 12(5); 322-328.
- Tyas, M. J. and M. F. Burrow. (2004). Adhesive restorative materials: a review. 49(3); 112-121.
- Wiegand, A., L. Stucki, R. Hoffmann, T. Attin and B. Stawarczyk. (2015). Repairability of CAD/CAM high-density PMMA- and composite-based polymers. 19(8); 2007-2013.
- Yin, H., S. Kwon, S. H. Chung and R. J. Y. Kim. (2022). **Performance of Universal Adhesives in Composite Resin Repair**. *Biomed Res Int* 2022: 7663490.