

ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเสริมด้านในยึดติดกับวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ

ดลนภา น้าประเสริฐ น.บ., ไพทูนย์ โรจนรัตน์ น.บ.

สถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

Abstract: Shear Bond Strength of Relining Materials Bonded to 3D Printed Provisional Crown Material

Donnapa Naprasert, D.D.S., Paitoon Rojanarat, D.D.S.

Institute of Dentistry, Department of Medical Services, Talad Khwan, Mueang, Nonthaburi, 11000, Thailand

(E-mail: pattydent24@hotmail.com)

(Received: 24 June, 2022; Revised: 18 August, 2022; Accepted: 4 November, 2022)

Background: The availability of 3D printing technology provides an alternative option for fabricating a provisional crown. A strong bond between the 3D printed provisional crown and the relining materials is significant for success; however, there is limited information on the materials of choice regarding relining the 3D printed provisional crown. **Objectives:** This study aimed to evaluate the shear bond strength between the 3D printed provisional resin and different types of relining materials. **Method:** The specimens were divided into 3 groups (n = 15) according to the relining materials; Group 1 (control group): Heat polymerized polymethyl methacrylate (PMMA) bonded with autopolymerizing PMMA, Group 2: 3D printed provisional resin bonded with PMMA, Group 3: 3D printed provisional resin bonded with autopolymerizing bis-acryl composite. The surfaces were treated with silicon carbide paper. The specimens were then exposed to 2500 cycles of thermal cycling. The shear bond strength was measured via a universal testing machine. A statistical analysis was done using one-way ANOVA test and Bonferroni at the significance level of 0.05. **Result:** The group with heat-polymerized PMMA bonded with autopolymerizing PMMA showed the highest mean of shear bond strength (15.48 MPa). There were no statistically significant differences between autopolymerizing PMMA and bis-acryl composite bonded to the 3D printed provisional resin (10.38 and 11.08 MPa, respectively). **Conclusion:** There are no differences between autopolymerizing polymethyl methacrylate and bis-acryl composite bonded to the 3D printed provisional crown.

Keywords: 3D printed provisional crown, polymethyl methacrylate, bis-acryl, shear bond strength

บทคัดย่อ

ภูมิหลัง: การยึดติดระหว่างวัสดุเสริมด้านในและครอบฟันชั่วคราวมีความสำคัญต่อความสำเร็จของการรักษา แต่ยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ว่าวัสดุใดเหมาะสมในการเสริมด้านในครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ **วัตถุประสงค์:** เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติกับวัสดุเสริมด้านในต่างชนิดกัน **วิธีการ:** แบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ชิ้น ได้แก่ กลุ่ม 1 วัสดุครอบฟันชั่วคราวพอลิเมทิลเมทาไครเลต (PMMA) ชนิดบ่มด้วยความร้อนยึดกับวัสดุ PMMA กลุ่ม 2 วัสดุครอบฟันชั่วคราวผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติยึดกับวัสดุ PMMA และกลุ่ม 3 วัสดุครอบฟันชั่วคราวผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติยึดกับวัสดุบิสแอกริล เติริยม

พื้นผิวด้วยการขัดกระดาษทราย นำชิ้นงานเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อน-เย็น 2500 รอบก่อนทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล ใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและวิธีบอนเฟอโรนินที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ **ผล:** วัสดุครอบฟันชั่วคราว PMMA ยึดกับวัสดุเสริมด้านใน PMMA ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด (15.48 MPa) รองลงมาคือ กลุ่ม 3 (11.08 MPa) และกลุ่ม 2 (10.38 MPa) ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม 2 และ 3 **สรุป:** ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเสริมด้านใน PMMA และบิสแอกริลยึดติดกับวัสดุครอบฟันชั่วคราวจากเครื่องพิมพ์สามมิติ

คำสำคัญ: ครอบฟันชั่วคราวจากเครื่องพิมพ์สามมิติ, พอลิเมทิลเมทาไครเลต, บิสแอกริล, ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

บทนำ

ครอบฟันชั่วคราวเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการรักษาทางทันตกรรมประดิษฐ์ชนิดติดแน่น (fixed prosthodontic treatment) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องฟันหลักจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อโพรงประสาทฟัน ปกป้องฟันหลักจากการเกิดฟันผุ ป้องกันการเคลื่อนของฟันหลัก สร้างการสบฟันเพื่อให้เคี้ยวอาหารได้ เพื่อให้เกิดความสวยงามระหว่างรอชิ้นงานชิ้นสุดท้ายและใช้ประเมินแผนการรักษา เป็นต้น ซึ่งครอบฟันชั่วคราวเป็นชิ้นงานที่มีความสำคัญที่จะทำให้การรักษาประสบความสำเร็จ¹ ดังนั้นครอบฟันชั่วคราวควรมีคุณสมบัติที่ดี ได้แก่ ความแข็งแรงของวัสดุ ครอบฟันชั่วคราวควรแก้ไขให้เป็นไปตามฟันหลักที่ถูกแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ และการเสริมฐานด้านในครอบฟันชั่วคราว (reline) เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ครอบฟันชั่วคราวมีความแนบสนิทกับฟันหลัก โดยเฉพาะในการรักษาที่ใช้ระยะเวลาอันยาวนานและความซับซ้อนของการรักษา

การผลิตครอบฟันชั่วคราวในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์ หรือ แกดแคม (computer aided design/ computer aided manufacturing; CAD/CAM) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างชิ้นงานในงานทันตกรรมประดิษฐ์ ซึ่งเป็นทางเลือกในการผลิตครอบฟันชั่วคราว แม้ยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายแต่เทคโนโลยีนี้มีแนวโน้มจะเข้ามาแทนที่วิธีแบบดั้งเดิมมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคตอันใกล้ ข้อดีของการใช้ระบบแคดแคม ได้แก่ ลดความผิดพลาดจากการทำงานของมนุษย์ ลดจำนวนคนในการปฏิบัติงาน และลดระยะเวลาในการผลิตชิ้นงาน โดยครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากระบบแคดแคมสามารถผลิตได้ทั้งการผลิตแบบตัดเนื้อวัสดุออก (subtractive manufacturing) และการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (additive manufacturing) หรือเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing)^{2, 3}

วัสดุที่ใช้ในระบบแคดแคม เป็นวัสดุประเภทเดียวกับการผลิตครอบฟันชั่วคราวแบบดั้งเดิม แบ่งเป็น 2 กลุ่มตามองค์ประกอบของวัสดุ ได้แก่ กลุ่มเรซินชนิดเมทาโครเลต (methacrylate resin) และเรซินคอมโพสิต (resin composite) เรซินชนิดเมทาโครเลตที่นิยมใช้เป็นวัสดุครอบฟันชั่วคราวคือ พอลิเมทิลเมทาโครเลต (polymethyl methacrylate) ซึ่งถูกพัฒนาและเริ่มนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ปัจจุบันยังคงใช้เป็นวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่นิยมมากที่สุด

ส่วนเรซินคอมโพสิตนั้นวัสดุครอบฟันชั่วคราวในกลุ่มนี้ได้แก่ เรซินชนิดบิสเอคริล (bis-acryl) โดยการเลือกวัสดุครอบฟันชั่วคราวนั้นควรคำนึงถึงคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติด้านชีวภาพ^{4, 5}

การเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการเสริมฐานด้านใน (reline) ครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากระบบแคดแคม มีวิธีเช่นเดียวกับการเสริมฐานด้านในครอบฟันชั่วคราวแบบดั้งเดิม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำครอบฟันชั่วคราว หลายการศึกษาพบว่าการเสริมฐานด้านในครอบฟันชั่วคราว ด้วยวัสดุที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน จะให้ความแข็งแรงของการยึดติดมากกว่าการใช้วัสดุที่มีโครงสร้างเคมีแตกต่างกัน⁶⁻⁸ แต่การผลิตครอบฟันชั่วคราวจากเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นใช้วัสดุเรซินชนิดบ่มด้วยแสง (light cured resin) ซึ่งแต่ละบริษัทจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน โดยมีทั้งชนิดบิสเอคริลและพอลิเมทิลเมทาโครเลต^{4, 9} การเสริมฐานด้านในด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ที่มีส่วนประกอบเป็นบิสเอคริลในการเสริมฐานด้านในอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่มีความหนืดต่ำทำให้ไม่คงตัวและการแข็งตัวของวัสดุต้องใช้แสง¹⁰ ซึ่งการฉายแสงผ่านครอบฟันชั่วคราวอาจทำให้เกิดการแข็งตัวที่ไม่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นวัสดุกลุ่มพอลิเมทิลเมทาโครเลตชนิดบ่มเอง (self cured polymethyl methacrylate) และวัสดุบิสเอคริลชนิดบ่มเอง (self cured bis-acryl) จึงเป็นวัสดุทางเลือกในการเสริมฐานด้านในครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และในปัจจุบันมีการศึกษาเรื่องแรงยึดติดระหว่างครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิตอกับวัสดุที่ใช้ในการเสริมฐานด้านในค่อนข้างน้อยและยังไม่มีข้อแนะนำในการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการเสริมฐานด้านในสำหรับวัสดุกลุ่มนี้อย่างชัดเจน^{8, 11, 12}

วัตถุประสงค์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิตอกับวัสดุเสริมฐานด้านในต่างชนิดกันและความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิมด้วยวัสดุพอลิเมทิลเมทาโครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนกับวัสดุเสริมฐานในพอลิเมทิลเมทาโครเลตชนิดบ่มเองโดยวัสดุที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาและบริษัทผู้ผลิต

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบหลัก	ผู้ผลิต	อัตราส่วนผสม ผงต่อน้ำ	ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization condition)
Nextdent C&B MFH	Methacrylic oligomers, methacrylate monomer, inorganic filler	Vertex-Dental B. V., Soesterberg,	One component paste	พอลิเมอไรเซชันด้วยแสง 405 nm
Major C&B- Dentine	Methylmethacrylate (Polymethylmethacrylate resin)	MAJOR Prodotti Dentari S.p.A., Italy	2.2 g/1 ml	พอลิเมอไรเซชันด้วยความร้อน 120°C เป็นเวลา 15 นาที
Unifast trad	Methylmethacrylate (Polymethylmethacrylate resin)	GC America Inc., USA	1 g/ 0.5 ml	พอลิเมอไรเซชันด้วยตัวเอง
Luxatemp Star	Glass filler in a matrix of multifunctional methacrylates (Bis-acryl composite resin)	DMG, Hamburg, Germany	Automixing gun	พอลิเมอไรเซชันด้วยตัวเอง
Luxatemp-Glaze & Bond	Multifunctional acrylates, methyl methacrylate	DMG, Hamburg, Germany	-	พอลิเมอไรเซชันด้วยแสง 450 nm

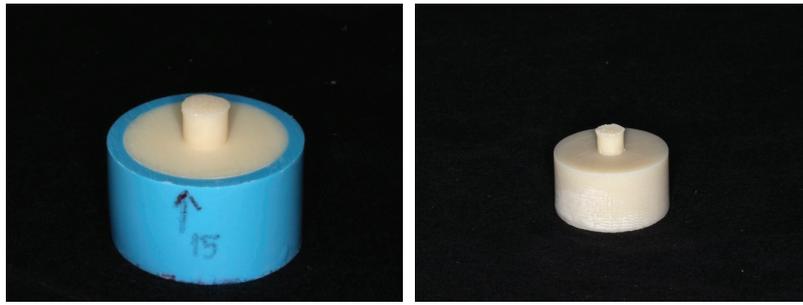
แบ่งกลุ่มการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวออกเป็น 3 กลุ่ม โดยมี 15 ตัวอย่างต่อหนึ่งกลุ่มการทดสอบดังนี้ กลุ่ม 1 ได้แก่ วัสดุครอบฟันชั่วคราวพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน Major C&B-Dentine ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลต Unifast Trad ส่วนกลุ่ม 2 ได้แก่ วัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ Nextdent C&B MFH ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลต Unifast Trad และกลุ่ม 3 ได้แก่ วัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ Nextdent C&B MFH ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านในบิสอะคริล Luxatemp Star

เตรียมชิ้นงานวัสดุครอบฟันชั่วคราวชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน Major C&B Dentine และ วัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ NextDent C&B ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ± 1 มิลลิเมตร และมีความสูง 15 ± 1 มิลลิเมตร จากนั้นล้างทำความสะอาดชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 5 นาที แล้วแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปเตรียมพื้นผิวและทาสารยึดติด

การเตรียมพื้นผิวก่อนการยึดติด โดยขัดด้วยกระดาษทราย น้ำที่มีความละเอียด 80 grit 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที ด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย ยี่ห้อ Struers รุ่น RotoPol-21 แล้วล้างทำความสะอาดชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 5 นาที ทำให้ชิ้นงานแห้งจากนั้นแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของวัสดุครอบฟันชั่วคราวและสุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 4 ตัวอย่าง นำไปวัดความขรุขระผิววัสดุโดยใช้เครื่องทดสอบความขรุขระผิววัสดุยี่ห้อ Taylor-Hobson ก่อนยึดติดกับวัสดุเสริมฐานนำชิ้นงาน

ตัวอย่างมาทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ ล้างด้วยน้ำกลั่น และเป่าให้แห้งตามลำดับ

การยึดติดกับวัสดุเสริมด้านใน กลุ่มตัวอย่างที่ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านใน Unifast Trad ทำการเตรียมพื้นผิวสำหรับการยึดติดด้วยการทา Unifast trad (Monomer liquid) เป็นเวลา 180 วินาที โดยมีการเตรียมวัสดุเสริมฐาน Unifast Trad ในอัตราส่วนผง 2 กรัม ต่อส่วนน้ำ 1 มิลลิลิตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต นำแม่แบบซิลิโคนที่มีช่องว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร มาวางอยู่กึ่งกลางชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นนำวัสดุใส่ลงในช่องว่างของแม่แบบ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านใน Luxatemp Star ทำการเตรียมพื้นผิวสำหรับการยึดติดด้วยการทา Luxatemp-Glaze & Bond เป็นชั้นบาง ๆ และฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที (light intensity > 1000mW/cm²) นำแม่แบบซิลิโคน มาวางอยู่กึ่งกลางชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นนำวัสดุ Luxatemp Star ฉีดใส่ลงในช่องว่างของแม่แบบ เมื่อวัสดุเสริมฐานเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างสมบูรณ์แล้ว นำแม่แบบออกและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อกำจัด oxygen inhibition layer ที่พื้นผิวของวัสดุเสริมฐาน แช่ชิ้นงานที่ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านใน ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อน-เย็น เป็นจังหวะ (thermocycling machine) อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 วินาทีในแต่ละอุณหภูมิ จำนวน 2,500 รอบ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

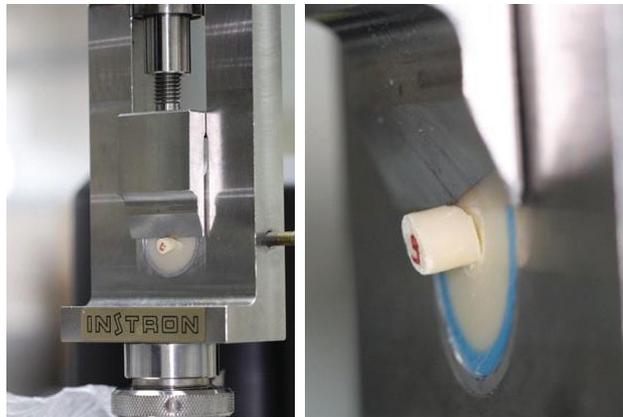


ภาพที่ 1 วัสดุครอบฟันชั่วคราว Major C&B-Dentine และ NextDent C& B ยึดติดกับวัสดุเสริมด้านใน

การทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

นำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมาทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Instron model 5566) ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM หมายเลข

D4501 โดยใส่แรงเฉือนที่บริเวณรอยต่อและขนานกับพื้นผิวที่มีการยึดติดกันของสองวัสดุ ด้วยความเร็วหัวกด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (เมกะปาสคาล, MPa)



ภาพที่ 2 ทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Instron model 5566)

บันทึกลักษณะการแตกหักของวัสดุใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; JEOL JSM-5410L, Tokyo, Japan) รายงานข้อมูลที่ได้เป็นคำร้อยละของลักษณะการแตกหักในแต่ละรูปแบบ โดยลักษณะการแตกหักของวัสดุ (mode of failure) มี 3 ลักษณะ ได้แก่ การแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure) การแตกหักแบบเชื่อมแน่น (cohesive failure) และการแตกหักแบบผสม (mixed failure)

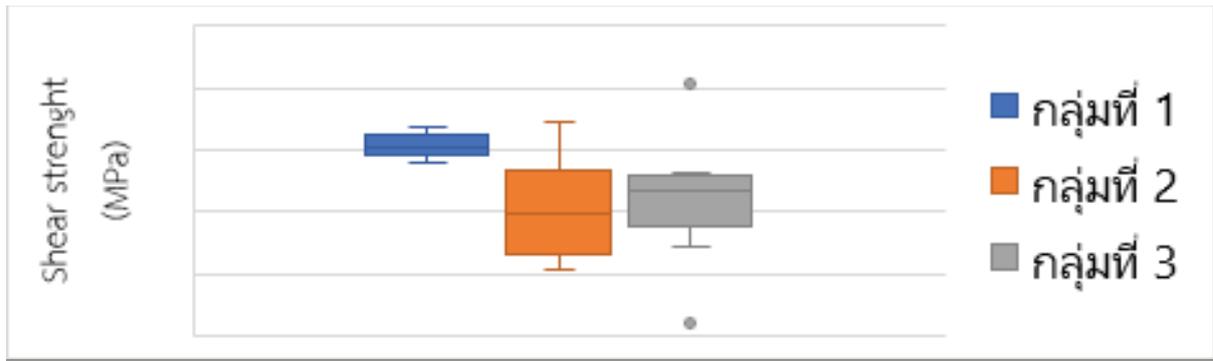
การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ

การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของแต่ละกลุ่มโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยวิธีการทดสอบ Post-hoc test วิธี Bonferroni เปรียบเทียบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผล

ผลการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (ตารางที่ 2, ภาพที่ 3)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวทั้ง 3 กลุ่มด้วยสถิติ One-way ANOVA พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด (15.48 ± 0.97 MPa) รองลงมาคือ กลุ่มที่ 3 (11.08 ± 4.03 MPa) กลุ่มที่ 2 (10.38 ± 3.86 MPa) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่ม ด้วยสถิติ One-way ANOVA และ Post-hoc test วิธี Bonferroni พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.002$) โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงยึดเฉือน

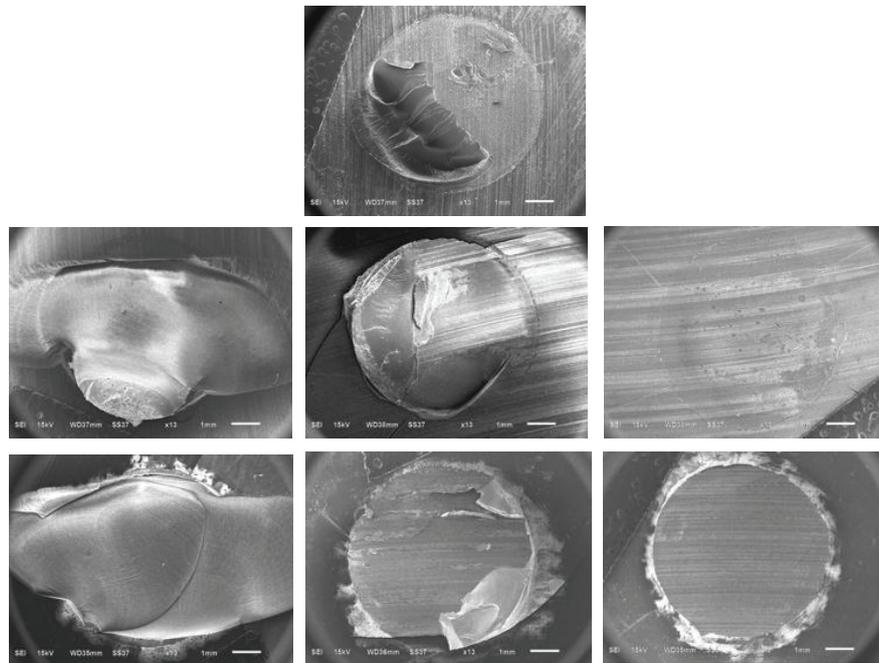
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงยึดเฉือน (ตัวอักษร a, b บนค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติที่ $p > 0.05$) และแสดงลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน (%)

กลุ่ม	วัสดุครอบฟันชั่วคราว	วัสดุเสริมด้านใน	ความแข็งแรงยึดเฉือน (MPa) (Mean±SD)	ลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน (%)		
				การแตกหักแบบเชื่อมแน่น	การแตกหักแบบผสม	การแตกหักแบบยึดติด
1	Major C&B Dentine	Unifast trad	15.48 ± 0.97 ^a	0	100	0
2	Nextdent C&B MFH	Unifast trad	10.38 ± 3.86 ^b	26.67	33.33	40
3	Nextdent C&B MFH	Luxatemp Star	11.08 ± 4.03 ^b	13.33	33.33	53.33

ผลการศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน (ตารางที่ 2, ภาพที่ 4)

จากผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ 1 วัสดุครอบฟันชั่วคราว Major C&B Dentine ยึดติดกับวัสดุ Unifast Trad มีการแตกหัก

แบบผสมทั้งหมด (ร้อยละ 100) แต่พบว่ากลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 มีลักษณะการแตกหักของชิ้นงานเกิดขึ้นทั้ง 3 ลักษณะในอัตราส่วนใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะการแตกหักแบบยึดติดซึ่งเป็นการแตกหักระหว่างพื้นผิวของสองวัสดุร้อยละ 40 และ 53.33 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (กำลังขยาย x13) แถวบนแสดงตัวอย่างกลุ่มที่ 1 แตกหักแบบผสม, แถวกลางแสดงตัวอย่างกลุ่มที่ 2 และแถวล่างแสดงตัวอย่างกลุ่มที่ 3 แสดงการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (ซ้าย) การแตกหักแบบผสม (กลาง) และการแตกหักแบบยึดติด (ขวา)

วิจารณ์

ปัจจุบันเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์ หรือแคดแคม (computer aided design/computer aided manufacturing; CAD/CAM) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์ ซึ่งเป็นทางเลือกในการผลิตครอบฟันชั่วคราวที่มีแนวโน้มนำมาใช้งานมากขึ้น จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติและวัสดุที่นำมาเสริมด้านในอย่างต่อเนื่อง การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงการยึดติด โดยการทดสอบด้วยแรงเฉือนระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติกับวัสดุเสริมด้านในต่างชนิดกัน และนำมาเปรียบเทียบกับความแข็งแรงการยึดติดระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิมด้วยวัสดุพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนกับวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเองเนื่องจากมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับว่ามีความประสบความสำเร็จทางคลินิก

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยภาพรวมทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้วัสดุวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิมด้วยวัสดุพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนยึดติดกับวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเองมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ⁵ ได้ทำการวิจัยเรื่องการซ่อมแซมวัสดุกลุ่มโพลีเมอร์ พบว่าการซ่อมแซมโดยใช้วัสดุที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันจะทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างวัสดุสูงกว่าการใช้วัสดุที่มีโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกัน

ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเอง และวัสดุเสริมด้านในชนิดบิสเอคิลยึดติดกับวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ แม้ว่าวัสดุเสริมด้านในชนิดบิสเอคิลจะมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกับวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติมากกว่าวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลต อาจเป็นผลจากการเตรียมพื้นผิวทางกลที่ทำให้พื้นผิวของวัสดุครอบฟันชั่วคราวมีความขรุขระเพียงพอที่จะทำให้วัสดุเสริมด้านในไหลแผ่ไปตามพื้นผิวจึงทำให้เกิดการยึดติดทางกล โดยในการทดลองนี้สร้างการยึดติดทางกลด้วยการขัดกระดาษทรายความหยาบ 80 ด้วยรูปแบบและระยะเวลาการขัดพื้นผิวที่เหมือนกันทุกชิ้น และวัดค่าความขรุขระพื้นผิวก่อนนำมาทำการทดสอบ เนื่องจากได้ทำการศึกษานำร่อง (pilot study) พบว่าการขัดกระดาษทรายด้วยความหยาบ 80 มีค่าความขรุขระพื้นผิวใกล้เคียงกับการกรอพื้นผิวด้วยหัวกรอ carbide bur (Tungsten Cross Cut, Green Band) มากกว่าการศึกษาในอดีตที่เตรียมพื้นผิวด้วยการขัดกระดาษทรายความหยาบ 220 ซึ่งการเตรียมพื้นผิวที่มีความแตกต่างกันทำให้ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงยึดติดมีความแตกต่างกัน^{13,12} มีการศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมวัสดุครอบฟันชั่วคราว โดยใช้วัสดุ

ซ่อมแซมที่มีโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกับวัสดุครอบฟันชั่วคราว โดย Vimonkittipong และคณะ¹⁴ ศึกษาผลของการเตรียมผิวต่อความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ของวัสดุครอบฟันชั่วคราวบิสเอคิลเรซินและเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง โดยมีการเปรียบเทียบการยึดติดทางกลและการสร้างการยึดติดทางเคมี พบว่าผลของการเตรียมผิวทางกลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดสูงสุดและสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเตรียมพื้นผิวทางกล (mechanical preparation) ด้วยวิธีที่ต่างกันจะทำให้ผลการทดลองแตกต่างกันโดยการศึกษาของ Albahri และคณะ¹¹ เตรียมพื้นผิวด้วย airborne particle abrasion ขนาด 30 mm, แรงดัน 2.5 bar เป็นเวลา 5 วินาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุซ่อมแซม 3 ชนิด และการศึกษาของ Jeong และ Kim¹² พบว่าซ่อมแซมครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยวัสดุ Luxatemp ร่วมกับการเตรียมพื้นผิวทางกลด้วยการขัดกระดาษทรายร่วมกับ sandblasting จะทำให้มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด และการศึกษาของ Lim และ Shin⁸ มีการเตรียมพื้นผิวครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาสรุปว่าการซ่อมแซมครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยบิสเอคิลคอมโพสิตโดยไม่มีการเตรียมพื้นผิวนั้นมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด ซึ่งการเตรียมพื้นผิวทางกลที่มีความขรุขระของพื้นผิวน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการยึดติดทางกลน้อยจึงทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวน้อย แต่ในการศึกษานี้ได้เลือกเตรียมพื้นผิวทางกลด้วยการขัดกระดาษทรายเบอร์ 80 ซึ่งเป็นกระดาษทรายเบอร์หยาบที่สุดเมื่อเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา

นอกจากปัจจัยเรื่ององค์ประกอบของวัสดุครอบฟันชั่วคราว และวัสดุที่นำมาเสริมฐานด้านใน และปัจจัยเรื่องการเตรียมพื้นผิวแล้ว ยังมีปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะใช้งานในช่องปาก ซึ่งจากการศึกษาของ Minami และคณะ¹⁵ พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะใช้งานในช่องปากมีผลทำให้ความแข็งแรงการยึดติดระหว่างวัสดุลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycling) จำนวน 2,500 รอบ การทดสอบหาค่าความแข็งแรงยึดติด นอกจากจะเป็นผลมาจากปัจจัยข้างต้นแล้ว อาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของพื้นผิวที่มีการยึดติด, การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง, วิธีการเก็บชิ้นงานตัวอย่าง, รูปแบบแรงและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ^{16,17}

ลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน พบว่ากลุ่มที่ 1 วัสดุครอบฟันชั่วคราวพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนยึดติดกับวัสดุเสริมด้านในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเอง มีการแตกหักแบบผสมทั้งหมด อาจเกิดจากการยึดติดระหว่างวัสดุไม่ได้เกิดในลักษณะที่มีความแข็งแรงยึดที่สม่ำเสมอ จึงทำให้บางบริเวณมีแรงยึดสูง บางบริเวณมีแรงยึดต่ำจึงเกิดการแตกหักแบบผสม แต่กลุ่มที่ 2 และ 3 มีลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้นพบที่บริเวณรอยต่อและภายในชิ้นงานใกล้เคียงกัน และส่วนใหญ่มีลักษณะการแตกหักแบบ

ยึดติดอาจเป็นผลมาจากความแข็งแรงภายในเนื้อของวัสดุทั้งสองชนิดมีค่ามากกว่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างวัสดุครอบฟันชั่วคราวและวัสดุเสริมฟันใน

จากการศึกษานี้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุในการเสริมฟันในวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ แม้ว่าเลือกใช้วัสดุเสริมฟันในที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน หากมีการปรับสภาพผิวทางกล (mechanical preparation) อย่างเหมาะสมอาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดติดได้

References

1. Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 2003; 90:474-97.
2. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent.* 2014; 2014:783948.
3. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 2008; 204:505-11.
4. Revilla-León M, Meyers MJ, Zandinejad A, Özcan M. A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *J Esthet Restor Dent.* 2019; 31:51-7.
5. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 5th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2016.
6. Chen HL, Lai YL, Chou IC, Hu CJ, Lee SY. Shear bond strength of provisional restoration materials repaired with light-cured resins. *Oper Dent.* 2008; 33:508-15.
7. Patras M, Naka O, Doukoudakis S, Pissiotis A. Management of provisional restorations' deficiencies: a literature review. *J Esthet Restor Dent.* 2012; 24:26-38.
8. Lim NK, Shin SY. Bonding of conventional provisional resin to 3D printed resin: the role of surface treatments and type of repair resins. *J Adv Prosthodont.* 2020; 12:322-8.
9. Revilla-León M, Sadeghpour M, Özcan M. An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry. *Odontology.* 2020; 108: 331-8.
10. Baroudi K, Rodrigues JC. Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *J Clin Diagn Res.* 2015; 9:Ze18-24.
11. Albahri R, Yoon H-I, Lee JD, Yoon S, Lee SJ. Shear bond strength of provisional repair materials bonded to 3D printed resin. *Journal of Dental Sciences.* 2021; 16:261-7.
12. Jeong K-W, Kim S-H. Influence of surface treatments and repair materials on the shear bond strength of CAD/CAM provisional restorations. *J Adv Prosthodont.* 2019;11:95-104.
13. Lee J, Lee S. Evaluation of add-on methods for bis-acryl composite resin interim restorations. *J Prosthet Dent.* 2015; 114:594-601.
14. Umaporn V, Apittita T, Kitinun T, Rus-ake T, Waritta M, Winwan V, et al. Effect of Surface Treatments on Microtensile Bond Strength of Bis-acryl Resin Provisional Restoration and Self-Curing Acrylic Resin. *J DENT ASSOC THAI* 2018;68.
15. Minami H, Suzuki S, Minesaki Y, Kurashige H, Tanaka T. In vitro evaluation of the influence of repairing condition of denture base resin on the bonding of autopolymerizing resins. *J Prosthet Dent.* 2004; 91:164-70.
16. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. *Dent Mater.* 2010; 26:e38-49.
17. Rasmussen ST. Analysis of dental shear bond strength tests, shear or tensile? *International Journal of Adhesion and Adhesives.* 1996; 16:147-54.

สรุป

1. วัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิมด้วยวัสดุพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนยึดติดกับวัสดุเสริมฟันในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเองมีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติยึดติดกับพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเองและวัสดุบิสเอคริลชนิดบ่มเอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)
2. ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเสริมฟันในพอลิเมทิลเมทาไครเลตชนิดบ่มเองและวัสดุเสริมฟันในชนิดบิสเอคริลยึดติดกับวัสดุครอบฟันชั่วคราวที่ผลิตจากเครื่องพิมพ์สามมิติ