

EFFECT OF DIFFERENT SURFACE TREATMENTS ON MICROSHEAR BOND STRENGTH OF AGED RESIN NANOCERAMIC REPAIRED WITH RESIN COMPOSITE

Termsak PITTARATE¹ and Kornkamon SUKCHIT^{1*}

1 Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand;
nidchan46@yahoo.com (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 16 August 2024

Revised: 30 August 2024

Published: 13 September 2024

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of surface treatments on aged resin nanoceramic repaired with resin composite. resin nanoceramic (Cerasmart[®]) specimens were prepared and subjected to 30,000 cycles of thermocycling for aging. The specimens were rough with diamond bur and randomly divided in to 5 groups (n=20): (RSB) RelyX[™] ceramic primer with Adper[™] single bond 2, (SU) Scotchbond[™] universal,(RSU) RelyX[™] ceramic primer with Scotchbond[™] universal adhesive, (UP) Scotchbond[™] universal plus adhesive and (RUP) RelyX[™] ceramic primer with Scotchbond[™] Universal Plus adhesive. All the specimens were restored with resin composite (Filtek[™] Z350XT) and subjected to microshear bond strength test with universal test machine. From one-way ANOVA and Bonferroni statistical analysis, it was found that (RUP) had significantly higher mean of microshear bond strength value than (SU)(RSU)(UP) ($P \leq 0.05$) but not different from (RSB) ($p > 0.05$). (RSB) and (RSU) had no significant differences in microshear bond strength value ($P > 0.05$) but significantly higher than (SU) and (UP) ($P \leq 0.05$)

Keywords: Resin Nanoceramic, Repair, Surface Treatment, Universal Adhesive, Silane Coupling Agent, Microshear Bond Strength

CITATION INFORMATION: Pittarate, T., & Sukchit, K. (2024). Effect of Different Surface Treatments on Microshear Bond Strength of Aged Resin Nanoceramic Repaired with Resin Composite. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(9), 24

ผลของการเตรียมพื้นผิวต่อค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิต

เต็มศักดิ์ ปิตตาระเต¹ และ กรกมล สุขจิตร์^{1*}

1 สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; nidchan46@yahoo.com
(ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลการเตรียมพื้นผิวต่อค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิต ชิ้นงานเรซินนาโนเซรามิก (Cerasmart[®]) ถูกเตรียมและเข้าเครื่องจำลองการใช้งานโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจำนวน 30,000 รอบ จากนั้นเตรียมพื้นผิวขรุขระด้วยหัวกรอภาคเพชรและแบ่งโดยการสุ่มอย่างง่ายเป็น 5 กลุ่ม (n = 20) ได้แก่ (RSB) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ยู, (SU) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล, รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล, (UP) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส และ (RUP) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส ชิ้นงานทั้งหมดจะถูกบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต (Filtek[™] Z350XT) และถูกทดสอบค่าแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาค จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA และ Bonferroni พบว่า (RUP) มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคสูงกว่า (SU)(RSU)(UP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่ต่างจาก (RSB) ($p > 0.05$) ส่วน (RSB) และ (RSU) มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มากกว่า (SU) และ (UP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

คำสำคัญ: เรซินนาโนเซรามิก, การซ่อมแซม, การเตรียมพื้นผิว, สารยึดติดยูนิเวอร์แซล, สารคู่ควบไซเลน, ค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาค

ข้อมูลอ้างอิง: เต็มศักดิ์ ปิตตาระเต และ กรกมล สุขจิตร์. (2567). ผลของการเตรียมพื้นผิวต่อค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิต. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(9), 24

บทนำ

เรซินเมทริกซ์เซรามิก (resin matrix ceramic) เป็นเซรามิกที่ถูกพัฒนาในรูปแบบของบล็อกสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับโครงสร้างของฟันธรรมชาติ (Angwarawong, 2020; Gracis et al., 2016) ทำให้เกิดการกระจายแรง (force distribution) การดูดซับแรง (force absorption) และมีความต้านทานการล้า (fatigue resistance) จากแรงบดเคี้ยวที่ต่ำกว่าเซรามิกประเภทอื่น และด้วยความต้านทานการหัก (fracture resistance) และความแข็ง (hardness) ของเรซินเมทริกซ์เซรามิกที่มีค่าน้อยกว่าเซรามิกประเภทอื่นทำให้ลดอัตราการสึกของฟันคู่สบด้านตรงข้าม สามารถปรับแต่งได้ง่ายทั้งในและนอกช่องปาก (Alves de Lucena et al., 2021; Angwarawong, 2020; Duarte et al., 2016; Fasbinder, 2010) อีกทั้งเรซินเมทริกซ์เซรามิก สามารถผ่านกระบวนการกลึง (milling) ง่าย รวดเร็ว ยืดอายุการใช้งานของเครื่องกลึง และไม่ต้องอาศัยกระบวนการเผา (sintering) หลังขึ้นรูป (Gracis et al., 2016) ด้วยคุณสมบัติข้างต้นทำให้ทางเรซินเมทริกซ์เซรามิกรูปแบบของบล็อกสำเร็จรูปเป็นวัสดุทางเลือกในการขึ้นรูปชิ้นงานบูรณะสีเหมือนฟันด้วยระบบดิจิทัล (CAM-Computer aided manufacture) เรซินเมทริกซ์เซรามิกสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท (AI Otaibi & Taher, 2023; Gracis et al., 2016; Spitznagel et al., 2016) ได้แก่ 1) เรซินนาโนเซรามิก (resin nanoceramic) (Duarte et al., 2016; Gracis et al., 2016) ยกตัวอย่างเช่น เซราสมาร์ท (Cerasmart®, GC, USA). 2) เซรามิกที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบหลักแทรกด้วยกลาสส์เซรามิกหรือพีไอซีเอ็น (polymer infiltrated ceramic network/PICN) (Duarte et al., 2016; Gracis et al., 2016) ยกตัวอย่างเช่น วิต้าอีนามิก (Vita Enamic®, VITA Zahnfabrik, Germany) เรซินเมทริกซ์เซรามิกจึงนิยมใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานวีเนียร์ (veneer) อุดฝัง (inlay) อุดครอบ (onlay) ครอบฟันเดี่ยว (single crown) (Angwarawong, 2020; Gracis et al., 2016; Spitznagel et al., 2016) และสวมทับบนรากเทียม (crown on Implant) (Angwarawong, 2020; Spitznagel et al., 2016) แต่ไม่เหมาะสมที่จะขึ้นรูปชิ้นงานสะพานฟัน (bridge) (Angwarawong, 2020; Gracis et al., 2016) จากการศึกษาอัตราอายุรอดในช่องปากของเรซินเมทริกซ์เซรามิก การศึกษาของ spitznagel และคณะ ในปี 2020 ซึ่งติดตามชิ้นงานบูรณะด้วยเรซินเมทริกซ์เซรามิกระยะเวลา 3 ปี พบว่า มีอัตราการอายุรอดในช่องปาก ร้อยละ 93.9 เมื่อบูรณะครอบฟันเต็มซี่ (full coverage) และร้อยละ 96.4 เมื่อบูรณะชิ้นงานบูรณะคลุมบางส่วน (partial coverage) (Spitznagel et al., 2020) โดยสาเหตุที่พบบ่อยของความล้มเหลวของชิ้นงานบูรณะด้วยเรซินเมทริกซ์เซรามิกคือการแตกหักของชิ้นงาน (Banh et al., 2021; Fathy et al., 2022) ซึ่งเมื่อเกิดการแตกหักของชิ้นงานการพิจารณาระหว่างการซ่อมแซม (repair) และการทดแทน (replacement) ชิ้นงานที่แตกหักนั้นวิธีการรักษายังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอน (Loomans & Özcan, 2016) แต่การซ่อมแซมเพียงส่วนที่เสียหายด้วยเรซินคอมโพสิตทางตรง (direct resin composite restoration) ร่วมกับสารยึดติด (adhesive agent) เป็นไปตามหลักการบูรณะฟันเชิงอนุรักษ์ (minimal invasive) ซึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานบูรณะช่วยลดความเสียหายต่อเนื้อฟันหรือเนื้อเยื่อใน ทั้งยังประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย (AI Otaibi & Taher, 2023; Denehy et al., 1998; Kittiwinchann Neeranuch & Kunawarote Sitthikorn, 2019; Loomans & Özcan, 2016) การยึดอยู่ระหว่างเรซินคอมโพสิตและเรซินเมทริกซ์เซรามิกต้องอาศัยการยึดติดเชิงกล (mechanical retention) จากการทำให้พื้นผิววัสดุเกิดความขรุขระ (surface roughness) และอาศัยการยึดติดเชิงเคมี (chemical retention) จากการสร้างพันธะเคมีระหว่างพื้นผิว (AI Otaibi & Taher, 2023; Chuenjit et al., 2021; Stawarczyk et al., 2015) จากการศึกษาที่ผ่านมาการเตรียมพื้นผิวพีไอซีเอ็นที่ก่อให้เกิดการยึดติดที่ดีการศึกษาส่วนใหญ่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน (Blatz et al., 2022; Duarte et al., 2016; O' Connor & Gavriil, 2021; Özcan & Volpato, 2016) ในขณะที่หลากหลายการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียมพื้นผิวของเรซินนาโนเซรามิกเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีต่อเรซินคอมโพสิตยังให้ข้อสรุปที่ไม่เหมือนกันดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมยังเป็นข้อถกเถียงในปัจจุบัน (Duarte et al., 2016; O' Connor & Gavriil, 2021; Spitznagel et al., 2016) ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาคระหว่างเรซินคอมโพสิตและเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาวที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดแอตเปอร์ซิงเกลบอนด์ทูร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไพร์เมอร์ สารยึดติดสกอทซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล สารยึดติดสกอทซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับ

รีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส ร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์

การทบทวนวรรณกรรม

การยึดอยู่ระหว่างเรซินคอมโพสิตและเรซินเมทริกซ์เซรามิก เรซินเมทริกซ์เซรามิกในรูปแบบของบล็อกสำเร็จรูปมีปริมาณมอนอเมอร์อิสระ (unpolymerized monomer) ในเนื้อวัสดุน้อยลง (Angwarawong, 2020; Duarte et al., 2016; O' Connor & Gavriil, 2021) และปราศจากชั้นที่ถูกการยับยั้งโดยออกซิเจน (oxygen inhibited layer) ที่บริเวณพื้นผิว ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดกระบวนการยึดอยู่ระหว่างเรซินคอมโพสิตและเรซินเมทริกซ์เซรามิกต้องอาศัยการยึดติดเชิงกลหรือการทำให้พื้นผิววัสดุเกิดความขรุขระที่เหมาะสมต่อการยึดอยู่ที่ดีซึ่งพื้นผิวที่ขรุขระจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในยึดติด (Alves de Lucena et al., 2021; Loomans & Özcan, 2016; O' Connor & Gavriil, 2021) เช่น การกรอด้วยหัวกรอปากเพชร การกัดพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide particle) หรืออนุภาคไตรโบเคมีคอล (tribochemical particle) หรือการใช้เลเซอร์ (laser) (AlOtaibi & Taher, 2023; Chuenjit et al., 2021; Chuenweravanich et al., 2022) ทั้งนี้ยังอาศัยการยึดติดเชิงเคมี โดยใช้สารยึดติดเพื่อป้องกันการเกิดพันธะเคมีระหว่างเรซินเมทริกซ์หรืออนุภาคเซรามิกหรือเซรามิกเมทริกซ์ที่เป็นองค์ประกอบในเรซินเมทริกซ์เซรามิกกับสารยึดติดหรือเรซินซีเมนต์ (Alves de Lucena et al., 2021; Loomans & Özcan, 2016; O' Connor & Gavriil, 2021) ดังนั้นการยึดติดระหว่างเรซินเมทริกซ์เซรามิกกับเรซินคอมโพสิต เพื่อป้องกันการเกิดความแข็งแรงของพันธะที่เหมาะสมควรเตรียมพื้นผิวเรซินเมทริกซ์เซรามิกด้วยวิธีการที่ก่อให้เกิดการเพิ่มการยึดติดเชิงกลรวมกับการเตรียมพื้นผิวเรซิน เมทริกซ์เซรามิกด้วยสารยึดติด (AlOtaibi & Taher, 2023; Chuenjit et al., 2021; Stawarczyk et al., 2015) หลากหลายการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกเพื่อเกิดการยึดติดต่อเรซินคอมโพสิตแต่ละการศึกษายังให้ข้อสรุปที่ไม่เหมือนกัน (O' Connor & Gavriil, 2021; Spitznagel et al., 2016) ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมยังเป็นที่สรุปไม่แน่ชัดในปัจจุบัน (Duarte et al., 2016) แต่การเพิ่มชั้นตอนทาสารคู่ควบไซเลนจะช่วยทำให้ค่าความแข็งแรงพันธะในการยึดอยู่ระหว่างเรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์กับเรซินนาโนเซรามิกสูงขึ้น (O' Connor & Gavriil, 2021; Spitznagel et al., 2014, 2016) ส่วนการใช้ประเภทของสารติดพบว่าสารยึดติดยูนิเวอร์แซลให้ค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเรซินนาโนเซรามิกสูงที่สูงกว่าสารยึดติดชนิดเอทซ์แอนติรีนส์ (Spitznagel et al., 2014; Yin et al., 2022)

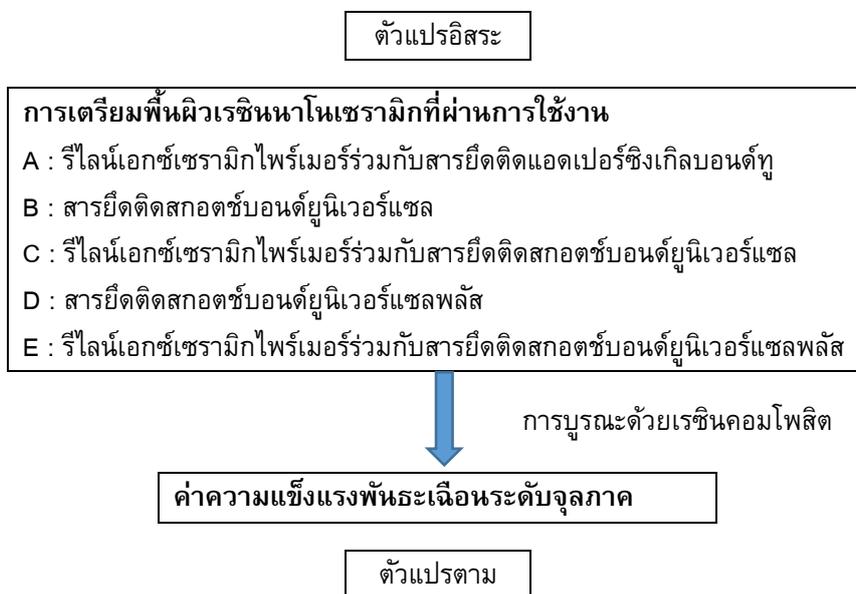
การจำลองการเพิ่มอายุการใช้งาน (aging process) เป็นการจำลองอายุวัสดุภายในช่องปากสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการแช่น้ำหรือสารตัวกลางอื่นๆ การนำไปต้มในน้ำ หรือการเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermocycling machine) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุทางทันตกรรมผ่านการจำลองการใช้งานโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิองค์การมาตรฐานสากลแนะนำควรทำการทดลองอย่างน้อย 500 รอบ (ISO/TS 11405., 2015) แต่อาจจะไม่เพียงพอต่อการประเมินความคงทนของวัสดุในระยะยาว จากการศึกษาของของ Gale and Darvell ในปี ค.ศ. 1999 พบว่า การจำลองการใช้งานโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจำนวน 10,000 รอบ มีค่าเทียบเท่าอายุของวัสดุทางทันตกรรมเมื่ออยู่ในช่องปากประมาณ 1 ปี (Gale & Darvell, 1999)

การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาค เป็นการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินและเปรียบเทียบคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุทางทันตกรรมอย่างกว้างขวาง ด้วยวิธีการการเตรียมขนาดของชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเล็กกว่าการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับมหภาค โดยชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ตารางมิลลิเมตร ทำให้ค่าความแข็งแรงพันธะที่ได้แสดงถึงค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างวัสดุมากกว่าค่าความแข็งแรงพันธะที่ได้จากการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับมหภาค (Armstrong et al., 2010; Placido et al., 2007; Roeder et al., 2011; Van Meerbeek et al., 2010)

สมมติฐานการวิจัย

การเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาวด้วยสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทูร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัสร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคระหว่างเรซินนาโนเซรามิกและเรซินคอมโพสิตแตกต่างกัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยการวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental study) เพื่อทดสอบผลของการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ ของเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานต่อค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคระหว่างเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาวและเรซินคอมโพสิต

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง นำแท่งเรซินนาโนเซรามิกชนิดรูปแบบของบล็อกสำเร็จรูปเซราสมาร์ท (Cerasmart® A3.5-HT/14, GC, USA) ขนาด 14 (14.5 x 14.5 x 18 มิลลิเมตร) มาตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำโดยมีน้ำหล่อเลี้ยงขณะตัดให้ได้ชิ้นงานเรซินนาโนเซรามิกขนาด 14.5 x 14.5 x 6 มิลลิเมตร นำมายึดกับท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 นิ้ว สูง 0.75 นิ้ว ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองโดยให้ตำแหน่งของชิ้นงานเรซินนาโนเซรามิกอยู่กึ่งกลางของท่อพอลิไวนิลคลอไรด์และสูงจากขอบของท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ 3 มิลลิเมตรเก็บชิ้นงานตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างมาขัดบริเวณหน้าตัดด้านบนของเรซินนาโนเซรามิกด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 400 และ 600 กริต ตามลำดับ อย่างละ 10 วินาที เพื่อให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความเรียบสม่ำเสมอด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายความเร็ว 300 รอบต่อนาที โดยมีน้ำหล่อเลี้ยง ทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างภายหลังการขัดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกพร้อมกับน้ำกลั่น 10 นาที จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะเพื่อจำลองการใช้งานระยะยาวโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจำนวน 30,000 รอบ โดยแช่สลับระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาแช่ค้าง 30 วินาที และใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายระหว่างอุณหภูมิ 10 วินาที เพื่อจำลองการใช้งานเป็นระยะเวลา 3 ปี

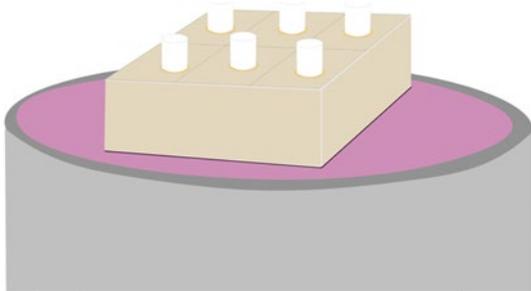
การเตรียมพื้นผิว ชิ้นงานทั้งหมดจะถูกเตรียมเพื่อก่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลด้วยหัวกรอกกากเพชรทรงกระบอกปลายมน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ขนาดของกริต 107-120 ไมโครเมตร (คาดสีน้ำเงิน) ความยาวของส่วนกากเพชร 8 มิลลิเมตร ร่วมกับด้ามหัวกรอเร็วโดยมีน้ำหล่อเลี้ยงตลอดเวลา วางหัวกรอให้ขนานกับพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิก ออกแรงกดเบาๆ ให้หัวกรอสัมผัสกับพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิก ทำการเคลื่อนหัวกรอในแนวนอน (horizontal) ของพื้นผิวชิ้นงานไป-กลับ 1 รอบ โดยชิ้นงานพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิก 1 ชิ้น จะถูกแบ่งเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านซ้ายและด้านขวา ทำการกรอทีละด้านตามวิธีข้างต้น จากนั้น ล้างพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยน้ำ 15 วินาที เป่าแห้ง 15 วินาที ทำการเปลี่ยนหัวกรอใหม่เมื่อเตรียมพื้นผิวครบ 10 ชิ้นงาน จากนั้นชิ้นตัวอย่างทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มย่อย (n=20) ตามวิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงเคมีโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ได้แก่ (RSB) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ (RelyX™ ceramic primer, 3M ESPE, USA) ร่วมกับสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (Adper™ single bond 2, 3M ESPE, USA), (SU) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (Scotchbond™ universal, 3M ESPE, USA), (RSU) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล, (UP) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (Scotchbond™ universal plus, 3M ESPE, USA) และ (RUP) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัสโดยเตรียมพื้นผิวดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิก

RSB: วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู	SU: วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล	RSU: วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล	UP: วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส	RUP: วิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส
1) ทารีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ทิ้งไว้ 60 วินาที เป่าแห้ง 10 วินาที 2) ทาสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู ในลักษณะทาถู โดยทาสารยึดติด 2 ชั้น ทิ้งไว้ 15 นาที เป่าลมเบาๆ นาน 5 วินาที ฉายแสงนาน 10 วินาที	1) ทาสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล ในลักษณะทาถู ทิ้งไว้ นาน 15 วินาที เป่าลม เบาๆ นาน 5 วินาที ฉายแสง นาน 10 วินาที	1) ทารีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ทิ้งไว้ 60 วินาที เป่าแห้ง 10 วินาที 2) ทาสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล ในลักษณะทาถู ทิ้งไว้ 15 นาที เป่าลม เบาๆ นาน 5 วินาที ฉายแสงนาน 10 วินาที	1) ทาสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล พลัส ในลักษณะทาถู ทิ้งไว้ นาน 15 วินาที เป่าลม เบาๆ นาน 5 วินาที ฉายแสงนาน 10 วินาที	1) ทารีไลน์เอกซ์เซรามิกไพรเมอร์ทิ้งไว้ 60 วินาที เป่าแห้ง 10 วินาที 2) ทาสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส ในลักษณะทาถู ทิ้งไว้ 15 นาที เป่าลม เบาๆ นาน 5 วินาที ฉายแสงนาน 10 วินาที

ภายหลังจากการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างด้วยวิธีการตามที่กำหนด (ตารางที่ 1) ก่อนฉายแสงสารยึดติด นำท่อพลาสติกไทกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร สูง 1.0 มิลลิเมตร วางบนพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกตรงบริเวณที่กำหนดไว้เพื่อเป็นแม่แบบในการบูรณะเรซินคอมโพสิตแล้วจึงฉายแสงนาน 10 วินาที ตามที่กำหนด ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีที่มีความเข้มแสง 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต นำเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ (Filtek™ Z350XT universal restorative shade XWB, 3M ESPE, USA) ใส่ลงในท่อพลาสติกไทกอนโดยใช้เครื่องมือกดอัดวัสดุแบบชายตรงกดเรซินคอมโพสิตให้เต็มท่อพลาสติกไทกอน และใช้แผ่นพลาสติกใสขนาด 2 x 2 มิลลิเมตร วางทับบนพื้นผิวเรซินคอมโพสิตและฉายแสงโดยวางเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีบนแผ่นพลาสติกใสนาน 40 วินาที จากนั้นใช้ใบมีดผ่าตัดหมายเลข 11 กรีดท่อพลาสติกไทกอนออกนำชิ้นตัวอย่างไปแช่ไว้ในน้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยชิ้นงานตัวอย่างเรซินนาโนเซรามิก 1 ชิ้น จะสามารถบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตได้ 6 ชิ้นงาน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ชั้นงานตัวอย่างเรซินนาโนเซรามิก 1 ชั้น จะสามารถบรรจุระดับจูลภาคด้วยเรซินคอมโพสิตได้ 6 ชั้นงาน

การทดสอบความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาค นำชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นครบ 24 ชั่วโมง ทั้ง 15 กลุ่ม มาทดสอบความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล โดยใช้หัวกดจัดพันเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร คล้องรอบแท่งเรซินคอมโพสิตโดยให้เส้นลวดอยู่ติดพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกมากที่สุด ใช้แรงในการทดสอบที่ 100 นิวตัน ดึงขึ้นด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นงานเกิดการแตกหัก บันทึกแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักระหว่างแท่งเรซินคอมโพสิตที่ติดกับเรซินนาโนเซรามิกในหน่วยเมกะปาสคาลตามสูตรคำนวณดังนี้ $\sigma = F/A$ โดย σ คือ ความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาค (หน่วยเป็นปาสคาล: Pa), F คือ ค่าแรงที่เกิดการแตกหัก (หน่วยเป็นนิวตัน: N) และ A คือ พื้นที่หน้าตัด (หน่วยเป็นตารางเมตร: m^2)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส วี 28.0 (SPSS program V28.0, SPSS Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) ดังนี้ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคบรรยายผลของการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ และบรรยายรูปแบบความล้มเหลวจากการแตกหักของแต่ละกลุ่มชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้ความถี่ และค่าร้อยละ สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจะใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ในการวิเคราะห์ผลของการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ ต่อค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคระหว่างเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาวและเรซินคอมโพสิต โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni test) หากข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ จะใช้การทดสอบครัสคาลวัลลิส เอช (Kruskal-Wallis H test) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบดับบอนเฟอร์โรนี-โพสต์ฮอค (Dunn's Bonferroni post hoc test)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษา (ตารางที่ 2) พบว่า การเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (RUP) มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคสูงที่สุดมีค่า 35.30 ± 2.46 เมกะปาสคาล รองลงมาคือ การเตรียมด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไพร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (RSB) รีไลน์เอกซ์เซรามิกไพร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (RSU) และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (UP) มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคมีค่า 34.60 ± 41.4 , 31.05 ± 5.92 และ 27.81 ± 3.73 เมกะปาสคาลตามลำดับ และการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (SU) มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อระดับจุลภาคต่ำที่สุดมีค่า 26.32 ± 2.96 เมกะปาสคาล เมื่อตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของพันธะเนื้อระดับจุลภาคทุกกลุ่มด้วยการทดสอบ โคลโมโกรอฟ-สมิร์นอฟ พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ ($p\text{-value} > 0.05$) และเมื่อตรวจสอบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (test of homogeneity of variances) ด้วยการทดสอบเลวีเน (Levene's test) ของข้อมูลดังกล่าว พบว่า มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) ดังนั้นจึงใช้การทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียวในการวิเคราะห์ผลของการเตรียม

พื้นผิวแบบต่างๆ ของเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาว พบว่า ค่าความแข็งแรงของพันธะเชื่อมระดับจุลภาคอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน ($p\text{-value} < 0.01$) (ตารางที่ 3) จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบบอนเฟอร์โรนิน พบว่า การเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (RUP) มีค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระดับจุลภาคที่มากกว่ากลุ่มอื่น (SU)(RSU)(UP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.05$) (ภาพที่ 5) แต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการเตรียมด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (RSB) ($p\text{-value} > 0.05$) (ภาพที่ 3) ส่วนเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู (RSB) และรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (RSU) มีค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (ภาพที่ 3) แต่มากกว่าการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (SU) และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (UP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.05$) (ภาพที่ 3) และการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (SU) และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (UP) มีค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (ภาพที่ 3) จากการคำนวณกำลังการทดสอบของการวิจัยโดยใช้โปรแกรมจีเพาเวอร์ 3.1 พบว่า ข้อมูลที่ได้มีกำลังการทดสอบคือ 0.84

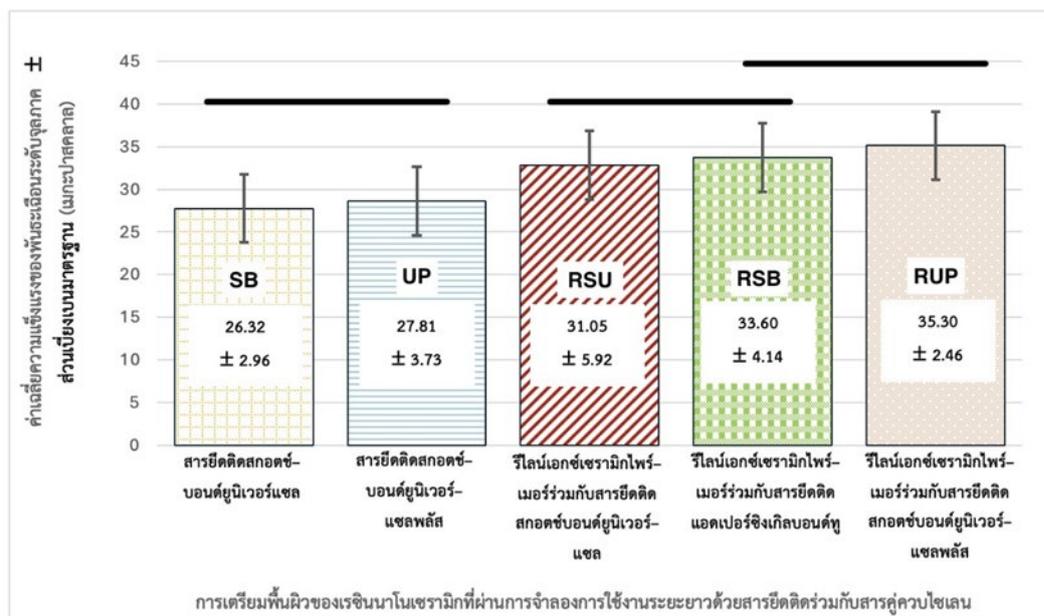
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของพันธะเชื่อมระดับจุลภาค ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิก									
รีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ทู		สกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล		รีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล		สกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส		รีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ร่วมกับสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส	
(RSB)		(SU)		(RSU)		(UP)		(RUP)	
ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของพันธะเชื่อมระดับจุลภาค \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมกาปาสคาล)	จำนวนชิ้นตัวอย่าง								
34.60 ± 4.14^{AB}	20	26.32 ± 2.96^C	20	31.05 ± 5.92^B	20	27.81 ± 3.73^C	20	35.30 ± 2.46^A	20

ตัวอักษรที่เหมือนกันคือไม่มีความต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลของการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ ของเรซินนาโนเซรามิกที่ต่อค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระดับจุลภาคด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว

ANOVA					
microshear					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1271.729	4	317.932	19.653	<.001
Within Groups	1536.816	95	16.177		
Total	2808.545	99			



* เห็นตรงเหนือแผนภูมิหมายถึง ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยการทดสอบบอเนเฟอร์รี (p-value > 0.05)

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาคที่เตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกแต่ละกลุ่ม

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการจำลองการใช้งานระยะยาวด้วยสารยึดติดแอดเปอร์ซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ (RSB) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (SU) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ (RSU) สารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัส (UP) และสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัสร่วมกับรีไลน์เอกซ์เซรามิกไฟร์เมอร์ (RUP) ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาคระหว่างเรซินนาโนเซรามิกและเรซินคอมโพสิตแตกต่างกัน ($p < 0.01$) ทำให้สมมติฐานข้อนี้ถูกยอมรับ และการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดร่วมกับสารควบคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด (RSB RSU RUP) ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาคที่สูงกว่าการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดที่มีองค์ประกอบในขวดเพียงอย่างเดียว (SU UP) ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษา (AlOtaibi & Taher, 2023; Chuenweravanich et al., 2022; Nagarkar et al., 2019; Yao et al., 2021) ทั้งนี้เนื่องจากสารยึดติดยูนิเวอร์แซลส่วนใหญ่องค์ประกอบในขวดมีสถานะความเป็นกรด (Chen et al., 2015; Perdigão et al., 2021; Van Meerbeek et al., 2011) ทำให้สารควบคู่ควบไซเลนชนิดเอมพีทีเอส (MPTS) ในสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (Matinlinna et al., 2018; Sriamporn, 2021; Yao et al., 2021) เกิดการควบแน่นภายในโครงสร้างและเกิดการสร้างพันธะระหว่างพื้นผิวที่ไม่เสถียร (Matinlinna et al., 2018; Sriamporn, 2021) ส่งผลให้การเตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระดับจุลภาคต่ำกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัสที่ถูกพัฒนาสารควบคู่ควบไซเลนที่ลดการเกิดควบแน่นของโครงสร้างสารควบคู่ควบไซเลน และเกิดการสร้างพันธะที่เสถียรมากขึ้นโดยสารยึดติดสกอตซ์บอนด์ยูนิเวอร์แซลพลัสใช้สารควบคู่ควบไซเลนชนิดเอพีทีเอส (APTES) และทรีเอมพีทีเอส (3-MPTES) เป็นองค์ประกอบ (Yao et al., 2021) ถึงแม้ว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดยูนิเวอร์แซลที่มีองค์ประกอบของสารควบคู่ควบไซเลนจะให้ค่าความแข็งแรงพันธะมากกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดเอพทีเอสหรือระบบเซลฟ์เอทซ์ (Spitznagel et al., 2014; Yin et al., 2022) แต่เรซินนาโนเซรามิกที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดเอพทีเอสหรือระบบเซลฟ์เอทซ์ร่วมกับสารควบคู่ควบไซเลนแบบแยกหรือสารควบคู่ควบไซเลนที่เตรียมใหม่ให้ค่าความแข็งแรงพันธะมากกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยสารยึดติดยูนิเวอร์แซลที่มีองค์ประกอบของสารควบคู่ควบไซเลน (Demirel & Baltacıoğlu, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ทั้งนี้การยึดอยู่ระหว่างเรซินคอมโพสิตและเรซินนาโนเซรามิกที่เหมาะสมต้องอาศัย

การยึดติดเชิงกล จากการทำให้พื้นผิววัสดุเกิดความขรุขระ และอาศัยการยึดติดเชิงเคมีจากการสร้างพันธะเคมีระหว่างพื้นผิว (AI Otaibi & Taher, 2023; Chuenjit et al., 2021; Stawarczyk et al., 2015) การศึกษาในครั้งนี้เลือกการเตรียมพื้นผิวเชิงกลด้วยหัวรอกากเพชรเนื่องจากหาได้ง่ายในคลินิก อีกทั้งหลายการศึกษาพบว่าการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกที่เตรียมพื้นผิวด้วยหัวรอกากเพชรให้ค่าความแข็งแรงพันธะต่อเรซินคอมโพสิตที่มากกว่าหรือไม่แตกต่างกับการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทราย (Arkoy & Ulusoy, 2022) (Chuenweravanich et al., 2022; Duzyol et al., 2016) แต่มากกว่าการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (Chuenweravanich et al., 2022) ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงพันธะที่รับได้ในการใช้งานในช่องปากยังคงเป็นที่ถกเถียง (Ghavam et al., 2018) แต่อย่างไรก็ดีค่าความแข็งแรงพันธะที่ยอมรับได้ระหว่างเคลือบฟันและเรซินคอมโพสิตควรมีค่า 15 ถึง 30 เมกะปาสคาล ค่าดังกล่าวจึงอาจเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางคลินิก เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะเงื่อนไขระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิตอยู่ในช่วงดังกล่าว

สรุป การซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการการจำลองการใช้งานระยะยาวด้วยเรซินคอมโพสิตวิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกด้วยสารยึดติดร่วมกับสารควบคู่ไซเลนแบบแยกขวดให้ค่าความแข็งแรงพันธะเงื่อนไขระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิตที่ดีที่สุด

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาผลการเตรียมพื้นผิวต่อค่าความแข็งแรงพันธะเงื่อนไขระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิตผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1) เรซินนาโนเซรามิกเป็นหนึ่งในทางเลือกของวัสดุขึ้นรูปชิ้นงานบูรณะทางอ้อมด้วยระบบด้วยระบบดิจิทัลเนื่องด้วยคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเรซินคอมโพสิต มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงผิวใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากกว่าเซรามิกประเภทอื่น ลดการสึกของคู่สบ ลดการแตกของชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานบาง กรอบปรับแต่งในช่องปากง่าย และสามารถซ่อมแซมบางส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรณีชิ้นงานเกิดการแตกหักบางส่วน โดยใช้เรซินคอมโพสิตร่วมกับสารยึดติดทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานบูรณะ ช่วยลดความเสียหายต่อเนื้อฟันหรือเนื้อเยื่อใน ทั้งยังประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

2) จากการศึกษาวิธีการเตรียมพื้นผิวเรซินนาโนเซรามิกผ่านการใช้งาน เพื่อให้เกิดการยึดอยู่ที่ระหว่างเรซินนาโนเซรามิกและเรซินคอมโพสิตที่เหมาะสม คือ การเตรียมพื้นผิวเชิงกลร่วมกับสารยึดติดและสารควบคู่ไซเลนแบบแยกขวด เนื่องจากสารยึดติดยูนิเวอร์แซลมีองค์ประกอบของมอนอเมอร์ที่หลากหลายรวมถึงสารควบคู่ไซเลนที่มีส่วนสำคัญในการยึดติดระหว่างระหว่างเรซินนาโนเซรามิกและเรซินคอมโพสิตถูกผสมในขวดเดียวอาจจะส่งผลให้มอนอเมอร์เหล่านั้นทำงานได้ไม่เหมาะสมดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการซ่อมแซมที่ดีควรรีใช้สารควบคู่ไซเลนแบบแยกขวด

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษานี้เป็นเพียงการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเงื่อนไขระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิตทันที ทำให้ไม่สามารถทราบค่าผลของการใช้งานในระยะยาวภายหลังการซ่อมแซมเหมาะสม หรือต่างกันให้แต่ละวิธีการเตรียมพื้นผิวหรือไม่ ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่ได้วัดค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างซ่อมแซมเรซินนาโนเซรามิกที่ยังไม่ผ่านการใช้งานด้วยเรซินคอมโพสิต

เอกสารอ้างอิง

- AlOtaibi, A. A., & Taher, N. M. (2023). Repair Bond Strength of Two Shadeless Resin Composites Bonded to Various CAD-CAM Substrates with Different Surface Treatments. *Coatings*, 13(7), 1226.
- Alves de Lucena, M., Relvas, A., Lefrançois, M., Venício Azevedo, M., Sotelo, P., & Sotelo, L. (2021). Resin matrix ceramics-mechanical, aesthetic and biological properties. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*, 69, e20210018.
- Angwarawong, T. (2020). *Restoration of endodontically treated teeth*. 1st ed. Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.
- Arkoy, S., & Ulusoy, M. (2022). Effect of different surface treatments on repair bond strength of CAD/CAM resin-matrix ceramics. *Materials*, 15(18), 6314.
- Armstrong, S., Geraldeli, S., Maia, R., Raposo, L. H. A., Soares, C. J., & Yamagawa, J. (2010). Adhesion to tooth structure: a critical review of “micro” bond strength test methods. *Dental Materials*, 26(2), e50-e62.
- Banh, W., Hughes, J., Sia, A., Chien, D. C. H., Tadakamadla, S. K., Figueredo, C. M., & Ahmed, K. E. (2021). Longevity of polymer-infiltrated ceramic network and zirconia-reinforced lithium silicate restorations: a systematic review and meta-analysis. *Materials*, 14(17), 5058.
- Blatz, M. B., Conejo, J., Alammar, A., & Ayub, J. (2022). Current protocols for resin-bonded dental ceramics. *Dental Clinics*, 66(4), 603-625.
- Chen, C., Niu, L.-N., Xie, H., Zhang, Z.-Y., Zhou, L.-Q., Jiao, K., Chen, J.-H., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2015). Bonding of universal adhesives to dentine-old wine in new bottles?. *Journal of Dentistry*, 43(5), 525-536.
- Chuenjit, P., Suzuki, M., & Shinkai, K. (2021). Effect of various surface treatments on the bond strength of resin luting agent and the surface roughness and surface energy of CAD/CAM materials. *Dental Materials Journal*, 40(1), 16-25.
- Chuenweravanich, J., Kuphasuk, W., Saikaew, P., & Sattabanasuk, V. (2022). Bond durability of a repaired resin composite using a universal adhesive and different surface treatments. *J Adhes Dent*, 24(1), 67-76.
- Demirel, G., & Baltacıoğlu, İ. H. (2019). Influence of different universal adhesives on the repair performance of hybrid CAD-CAM materials. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 44(3).
- Denehy, G., Bouschlicher, M., & Vargas, M. (1998). Intraoral repair of cosmetic restorations. *Dental Clinics of North America*, 42(4), 719-737.
- Duarte, S., Sartori, N., & Phark, J.-H. (2016). Ceramic-reinforced polymers: CAD/CAM hybrid restorative materials. *Current Oral Health Reports*, 3, 198-202.
- Duzyol, M., Sagsoz, O., Polat Sagsoz, N., Akgul, N., & Yildiz, M. (2016). The effect of surface treatments on the bond strength between CAD/CAM blocks and composite resin. *Journal of Prosthodontics*, 25(6), 466-471.
- Fasbinder, D. J. (2010). Materials for chairside CAD/CAM restorations. *Compend Contin Educ Dent*, 31(9), 702-704.

- Fathy, H., Hamama, H. H., El-Wassefy, N., & Mahmoud, S. H. (2022). Clinical performance of resin-matrix ceramic partial coverage restorations: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, 26(5), 3807-3822.
- Gale, M. S., & Darvell, B. W. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *Journal of Dentistry*, 27(2), 89-99.
- Ghavam, M., Naeemi, M., Hashemikamangar, S. S., Ebrahimi, H., & Kharazifard, M. J. (2018). Repair bond strength of composite: Effect of surface treatment and type of composite. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 10(6), e520-e527.
- Gracis, S., Thompson, V., Ferencz, J., Silva, N., & Bonfante, E. (2016). A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *The International Journal of Prosthodontics*, 28(3), 227-235.
- ISO/TS 11405. (2015). *Dentistry-testing of adhesion to tooth structure*. 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Standard Organization.
- Kashi, T. S. J., Erfan, M., Rakhshan, V., Aghabaigi, N., & Tabatabaei, F. S. (2011). An in vitro assessment of the effects of three surface treatments on repair bond strength of aged composites. *Operative Dentistry*, 36(6), 608-617.
- Kittiwichnan Neeranuch, & Kunawarote Sitthikorn. (2019). Effect Of Surface Treatment Methods On Microtensile Bond Strength Of Aged Resin Composite Repair. *CM Dent J*, 40(2), 65-80.
- Loomans, B. A. C., & Özcan, M. (2016). Intraoral repair of direct and indirect restorations: procedures and guidelines. *Operative Dentistry*, 41(S7), S68-S78.
- Matinlinna, J. P., Lung, C. Y. K., & Tsoi, J. K. H. (2018). Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dental Materials*, 34(1), 13-28.
- Nagarkar, S., Theis-Mahon, N., & Perdigão, J. (2019). Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107(6), 2121-2131.
- O' Connor, C., & Gavriil, D. (2021). Predictable bonding of adhesive indirect restorations: factors for success. *British Dental Journal*, 231(5), 287-293.
- Özcan, M., & Volpato, C. Â. M. (2016). Surface conditioning and bonding protocol for polymer-infiltrated ceramic: how and why?. *Journal of Adhesive Dentistry*, 18(2), 174-175.
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 51-68.
- Placido, E., Meira, J. B. C., Lima, R. G., Muench, A., de Souza, R. M., & Ballester, R. Y. (2007). Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dental Materials*, 23(9), 1086-1092.
- Roeder, L., Pereira, P. N. R., Yamamoto, T., Ilie, N., Armstrong, S., & Ferracane, J. (2011). Spotlight on bond strength testing—Unraveling the complexities. *Dental Materials*, 27(12), 1197-1203.
- Spitznagel, F. A., Horvath, S. D., Guess, P. C., & Blatz, M. B. (2014). Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 26(6), 382-393.

- Spitznagel, F. A., Scholz, K. J., Vach, K., & Gierthmuehlen, P. C. (2020). Monolithic Polymer-Infiltrated Ceramic Network CAD/CAM Single Crowns: Three-Year Mid-Term Results of a Prospective Clinical Study. *The International Journal of Prosthodontics*, 33(2), 160-168.
- Spitznagel, F. A., Vuck, A., Gierthmühlen, P. C., Blatz, M. B., & Horvath, S. D. (2016). Adhesive bonding to hybrid materials: an overview of materials and recommendations. *Compend Contin Educ Dent*, 37(9), 630-637.
- sriamporn, tool. (2021). *Fundamental of dental materials 1*. 3rd ed. Chulalongkorn University Printery.
- Stawarczyk, B., Krawczuk, A., & Ilie, N. (2015). Tensile bond strength of resin composite repair in vitro using different surface preparation conditionings to an aged CAD/CAM resin nanoceramic. *Clinical Oral Investigations*, 19, 299-308.
- Van Meerbeek, B., Peumans, M., Poitevin, A., Mine, A., Van Ende, A., Neves, A., & De Munck, J. (2010). Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental Materials*, 26(2), e100-e121.
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Yoshida, Y., Mine, A., De Munck, J., & Van Landuyt, K. L. (2011). State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 17-28.
- Yao, C., Ahmed, M. H., De Grave, L., Yoshihara, K., Mercelis, B., Okazaki, Y., Van Landuyt, K. L., Huang, C., & Van Meerbeek, B. (2021). Optimizing glass-ceramic bonding incorporating new silane technology in an experimental universal adhesive formulation. *Dental Materials*, 37(5), 894-904.
- Yin, H., Kwon, S., Chung, S. H., & Kim, R. J. Y. (2022). Performance of universal adhesives in composite resin repair. *BioMed Research International*, 2022(1), 7663490.

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: © 2024 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).