

การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซอร์โคเนียชนิดใส เมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่
ฟอสเฟตต่างชนิด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Comparison of Shear bond strength on Highly translucent zirconia using different
Phosphate monomer resin cements



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

FACULTY OF DENTISTRY

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซอริโคเนียชนิดใส
	เมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิด
โดย	นายศิววิชญ์ จิตสุธีศิริ
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ประเวช เสรีเชษฐพงษ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.แมนสรวง อักษรนุกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ประเวช เสรีเชษฐพงษ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร.กฤษ กมลขันติกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ชัยมงคล เปี่ยมพริ้ง)

ศิริวิชญ์ จิตสุธีศิริ : การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซรามิกเคลือบซีเมนต์ใส เมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ต่างชนิด. (The Comparison of Shear bond strength on Highly translucent zirconia using different Phosphate monomer resin cements) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ทพ.ประเวศ เสรีเชษฐพงษ์

เซรามิกเคลือบซีเมนต์ใสในงานทันตกรรมมีแนวโน้มถูกใช้โดยทันตแพทย์เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากความแข็งแรงและความสวยงามโดยไม่ต้องพอกผิวด้วยพอร์ซเลน การยึดวัสดุดังกล่าวต่อฟันมีผลต่อความยั่งยืนของการบูรณะ เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดต่างๆถูกอ้างว่าให้แรงยึดที่ดีกว่าวัสดุเซรามิกเคลือบซีเมนต์ใส หากแต่ยังไม่มีความชัดเจนในศักยภาพของฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดต่างๆเพื่อต้องการศึกษากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์สองชนิดที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซรามิกเคลือบซีเมนต์ใสต่อคอมโพสิตเรซิน โดยพื้นที่ยึดติดได้ถูกกำหนดตาม ISO 29022:2013 เซรามิกเคลือบซีเมนต์ใส (Ceramil[®] zolid fx White) จึงถูกเตรียมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มม. หนา 3.2 มม. จำนวน 32 แผ่น และถูกนำมายึดกับคอมโพสิตเรซินชนิดนาโนคอมโพสิต (Filtek[™] Z350 XT) ผ่านศูนย์กลาง 3.0 มม. หนา 2.0 มม. ด้วยเรซินซีเมนต์สองชนิดคือ PANAVIA[™] V5 และ Rely X[™] U200 โดยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดจะถูกแบ่งออกอีกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus และกลุ่มที่ไม่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus ทำให้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกได้เป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น และความหนาของเรซินซีเมนต์ถูกกำหนดตาม ISO 4049:2009 ภายหลังจากการยึดติดชิ้นงานทุกชิ้นถูกนำไปผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงจำนวน 5,000 รอบ และถูกทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวบนซีเมนต์คอมโพสิตเรซินหลุดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (EZ-S, SHIMADZU) และสังเกตรูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (FEI Quanta 250) ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวถูกคำนวณด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทูเกีย (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการทดลองกลุ่ม PANAVIA[™] V5 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus แสดงกำลังแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุด (1.38 ± 0.39 เมกะพาสกาล) และมีรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมร่วมกับเชื่อมแน่นล้มเหลว โดยความล้มเหลวแบบผสมมีค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณเรซินซีเมนต์คงเหลือบนเซรามิกเคลือบซีเมนต์ใสมากที่สุด (ร้อยละ 48.56 ± 9.44) กลุ่ม PANAVIA[™] V5 ที่ไม่ใช้ Clearfil ceramic primer plus แสดงกำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมร่วมกับรูปแบบยึดไม่อยู่ อย่างไรก็ตามกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ต่างชนิดกันนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสรุป PANAVIA[™] V5 หากไม่ได้ใช้ร่วมกับไพรเมอร์จะให้กำลังแรงยึดที่ต่ำที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus เพื่อเพิ่มกำลังแรงยึดเหนี่ยว ดังนั้นการยึดเซรามิกเคลือบซีเมนต์ใสจึงควรใช้เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบ หากใช้เรซินซีเมนต์ที่ไม่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ ควรทาไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ก่อน โดยเอมิตีพี หรือฟอสฟอริกเมทาไครเลทเอสเทอร์นั้นพบว่าให้กำลังแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6175844532 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORD: Highly translucent zirconia, Shear bond strength, Resin cements

Sirawit Chitsutheesiri : The Comparison of Shear bond strength on Highly translucent zirconia using different Phosphate monomer resin cements. Advisor: Assoc. Prof. PRAVEJ SERICHETAPHONGSE, D.D.S.

Nowadays, the monolithic translucent zirconia restoration has been increasingly used by dental practitioners due to superior strength and better esthetic appearance without porcelain layering. Bonding between the restoration and tooth structures affects the longevity of restorations. Many resin cements which present phosphate monomer have been claimed by manufacturers to provide better bond strength to the translucent zirconia, however the potential of phosphate monomer is still unclear. This *in vitro* study aimed to investigate the shear bond strength on highly translucent zirconia between two different phosphate monomer resin cements to the resin composite. The bond area was controlled following ISO 29022:2013. Thirty-two super-high translucent zirconia discs (Ceramil[®] zolid fx White), 8.5 mm in diameter and 3.2 mm in height were cemented to the nanocomposite resin cylinders (Filtek[™] Z350 XT), 3.0 mm in diameter and 2.0 mm in height. Two different resin cements, PANAVIA[™] V5 and Rely X[™] U200, were used. Each resin cement was divided to two groups, with and without Clearfil ceramic primer plus, therefore there were four groups of specimens (n=8). The resin cement thickness was controlled following ISO 4049:2009. All specimens were received thermocycling 5,000 cycles. The Universal testing machine(EZ-S, SHIMADZU) was used to examine the shear bond strength until the specimens were debonded. The scanning electron microscope(SEM) (FEI Quanta 250) was used to observed the mode of failures. The shear bond strength values were statistically analyzed by One-way ANOVA and Tukey's post hoc test with 95% confidence interval. The results showed that the mean shear bond strength of PANAVIA[™] V5 with Clearfil ceramic primer plus showed the highest values(1.38 ± 0.39 MPa). The mixed and cohesive failure were observed. The mixed failures of this group showed the highest mean percentages of the resin cement remnants(48.56±9.44 %). The mean shear bond strength values of PANAVIA[™] V5 without Clearfil ceramic primer plus was lower than other groups, significantly (p<0.05). The mixed and adhesive failures were observed. However, there were no statistically significant differences between the mean shear bond strength of different phosphate monomer resin cements. To conclude, PANAVIA[™] V5 without MDP primer showed the lowest shear bond strength and Clearfil ceramic primer plus was required to enhance the shear bond strength. To cement the highly translucent zirconia, the phosphate monomer resin cements should be used. If the non-phosphate monomer resin cements were used, the phosphate monomer primer should be applied and the use of MDP and Phosphoric methacrylate ester showed no statistically significant differences of shear bond strength.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Prosthodontics

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ขึ้นรูปชิ้นงานเซอร์โคเนียจาก เอดีไอ เด็นทอล แลป (ADI dental lab) รวมทั้งได้รับการสนับสนุนงานวิจัยจากเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้

ศิริวิชญ์ จิตสุธีศิริ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บรรณานุกรม.....	50
ประวัติผู้เขียน.....	56



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

หลักการและเหตุผล (Background and rationale)

ปัจจุบันวัสดุที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมบูรณะ และรากเทียมมีหลายชนิด อาทิ โลหะผสมมีตระกูล (Noble metal alloy) โลหะผสมกึ่งมีค่า (Semi-precious metal alloy) โลหะผสมพื้นฐาน (Non-precious metal alloy) แก้วเซรามิก (Glass ceramic) และเซอร์โคเนีย (Zirconia) ซึ่งวัสดุดังกล่าวควรมีสมบัติทางกล ทางชีวภาพ และ ความสวยงามที่เหมาะสม และเพียงพอต่อการใช้งานในช่องปากได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน อันเป็นปัจจัยหนึ่งแสดงถึงอัตราความสำเร็จในการรักษาทางคลินิก เนื่องจากเซอร์โคเนียเป็นวัสดุหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่ามีสมบัติทางกล และทางชีวภาพที่ดี อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่มีสีขาวซึ่งสามารถแต่งสีเพิ่มเติมให้มีลักษณะสีเหมือนฟันได้มากกว่าวัสดุจำพวกโลหะผสม เซอร์โคเนียจึงได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นจำนวนมาก¹ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซอร์โคเนียชนิดมอนออลิติก (Monolithic zirconia)² ซึ่งมีค่าความทนแรงดัดสูง สามารถรับแรงบดเคี้ยวได้ดีโดยไม่แตกหัก เมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียชนิดที่ถูกเคลือบผิวชั้นนอกด้วยพอร์ซเลน (Porcelain layering zirconia) ซึ่งพบปัญหาการบิ่นแตกของพอร์ซเลนที่ผิวชั้นนอกได้มาก จึงทำให้เซอร์โคเนียชนิดเคลือบผิวด้วยพอร์ซเลน ถูกนำมาใช้น้อยลง³

อิทเทรียมเทอร์อะโกนอลเซอร์โคเนีย (Yttrium stabilized tetragonal zirconia polycrystals, Y-TZP) เป็นเซอร์โคเนียชนิดที่ได้รับการยอมรับ และถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมจากการที่ให้สมบัติทางกลที่ดี ซึ่งการที่เซอร์โคเนียมีสมบัติทางกลที่ดีนี้เนื่องจากวัสดุเซอร์โคเนียมีหลายรูปผลึก (Polymorphic) และเป็นผลึกรวม (Polycrystalline) และเกิดกระบวนการทรานสฟอร์มชันทัฟเฟนิง (Transformation toughening)⁴ ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปผลึกจากผลึกเป็นเทอร์อะโกนอล (Tetragonal, T) เป็นผลึกมอนอคลินิก (Monoclinic, M) ได้โดยผลึกเซอร์โคเนียจะเกิดการขยายตัวทางปริมาตรขึ้นร้อยละ 4.4 เกิดเป็นชั้นแรงอัดที่สามารถยับยั้งรอยร้าวในเนื้อวัสดุเซอร์โคเนียได้⁵ เซอร์โคเนียชนิดนี้ประกอบด้วยอิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) ร้อยละ 2-3 โดยโมลเพื่อช่วยคงสภาพผลึกเทอร์อะโกนอล (Tetragonal, T) ณ อุณหภูมิห้อง⁶ ซึ่งเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี นี้มีสมบัติความทนแรงดัดได้สูง โดยทนแรงดัดได้ตั้งแต่ 900 เมกะพาสคาลขึ้นไป⁷ อย่างไรก็ตามเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี ชนิดมอนออลิติกนั้นเป็นวัสดุที่มีความขุ่น ซึ่งส่งผลต่อความสวยงามของวัสดุบูรณะในแง่ของ

การมีความโปร่งแสงที่ไม่ดี⁸ ทำให้ต่อมาเซอร์โคเนียได้ถูกพัฒนาให้มีความโปร่งแสงมากขึ้น วิธีหนึ่งคือ การเพิ่มปริมาณอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) เพื่อคงสภาพผลึกเป็นร้อยละ 5-8 โดยโมล แต่การที่ใส่ อิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) เพิ่มขึ้นนี้เองทำให้เกิดปริมาณผลึกลูกบาศก์ (Cubic, C) ซึ่งมีโครงสร้างผลึก แบบไอโซโทรปิก (isotropic) เป็นจำนวนมากขึ้น^{8, 9} เซอร์โคเนียชนิดนี้จึงมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย ผลึกลูกบาศก์เป็นจำนวนมากกว่าผลึกเทระโกนอล^{2, 8-12} ทำให้สมบัติความโปร่งแสงของเซอร์โคเนีย ชนิดนี้ดีขึ้น เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง หรือเซอร์โคเนียชนิดใส (Translucent zirconia) อย่างไรก็ตามผลึกลูกบาศก์นั้นมีความเปราะ และอ่อนแอ รวมทั้งเนื่องจากมี ส่วนประกอบเป็นผลึกลูกบาศก์นี้เองจึงทำให้ไม่เกิดกระบวนการทรานสฟอร์มเมชันที่ฟเฟนนิง (Transformation toughening)^{2, 9, 10, 12} สมบัติทางกลของเซอร์โคเนียชนิดใสจึงด้อยกว่าเซอร์โคเนีย ชนิด 3วาย-ทีซีพี^{8, 9, 12} โดยสมบัติความทนแรงดัดที่มีค่าลดลงไปอยู่ในช่วง 400 ถึง 700 เมกะพาส คาล^{2, 13, 14}

อีกหนึ่งปัจจัยที่ควรต้องคำนึงถึงเมื่อให้การรักษาทันตกรรมบูรณะคือ สมบัติการยึดที่ดี ของวัสดุบูรณะกับเนื้อฟันด้วยซีเมนต์ทางทันตกรรม การมีสมบัติการยึดที่ดีนั้นมีความสำคัญในการทำให้วัสดุบูรณะดังกล่าวถูกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดการหลุด อันส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษาทันตกรรมในระยะยาวเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ที่ในการยึดวัสดุบูรณะแล้วนั้น ซีเมนต์ยัง ทำหน้าที่ช่วยเติมเต็มช่องว่างขนาดเล็กที่บริเวณขอบของวัสดุบูรณะซึ่งเป็นช่องว่างที่หลีกเลี่ยงให้ เกิดขึ้นไม่ได้ วัสดุเซอร์โคเนียนั้นถึงแม้จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเซรามิก แต่วัสดุเซอร์โคเนียนั้นไม่มี องค์ประกอบของซิลิกา (Silica) ดังเช่นกลาสเซรามิกชนิดอื่น ดังนั้นการเตรียมผิววัสดุเซอร์โคเนียด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) ร่วมกับสารไซเลน (Silane) จึงไม่ให้เกิดการยึดติดที่ดีและ คงทนเหมือนกับกลุ่มกลาสเซรามิก^{15, 16} ดังนั้นตามปกติแล้วการเตรียมผิวเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีนั้น ได้ถูกแนะนำให้ใช้วิธีการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร่วมกับการใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (phosphate functional monomers) เพื่อให้เกิดทั้งการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention) และการยึดติดทางเคมี (chemical retention)^{17, 18} การแยกใช้เพียงวิธีใดวิธีหนึ่งในการเตรียมผิวเซอร์โคเนียนั้นไม่สามารถ ให้การยึดติดที่ดี และคงทนได้¹⁹

สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (phosphate functional monomers) นั้น ถูกนำมาเป็นส่วนประกอบในเรซินซีเมนต์ และไพรเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรมหลายชนิด และมีความ หลากหลายไปตามแต่ละบริษัทผู้ผลิต โดยเห็น-เอ็มดีพี (10-MDP) เป็นฟอสเฟตมอนอเมอร์กลุ่มที่

ได้รับความนิยมนมากที่สุด และพบเป็นส่วนประกอบอยู่ในเรซินซีเมนต์ และไพรเมอร์หลายผลิตภัณฑ์ นอกจากเท็น-เอ็มดีพี (10-MDP) แล้ว ฟอสฟอริกเมทาโครเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) ฟอสฟอริกเอซิดอะโครเลท (phosphoric acid acrylate) จีพีดีเอ็ม (GPDM) และพีอีเอ็นทีเอ (PENTA) ต่างก็เป็นมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกัน และสามารถให้ค่ากำลังแรงยึดที่ดีกับเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพีได้^{16, 17, 20-24} เหมือนกันกับการยึดวัสดุในกลุ่มโลหะผสมพื้นฐาน (Non-precious metal alloy)²⁵ อย่างไรก็ตามความต่างชนิดกันของสารมอนอเมอร์มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันนี้อาจส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดบนวัสดุเซอร์โคเนียได้ โดยมีรายงานว่าเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) แสดงค่ากำลังแรงยึดที่มากกว่ามอนอเมอร์ชนิดอื่น²³ หรืออาจแสดงค่ากำลังแรงยึดที่ไม่แตกต่างกันกับมอนอเมอร์กลุ่มฟอสฟอริกเมทาโครเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) และฟอสฟอริกเอซิดอะโครเลท (phosphoric acid acrylate)²⁶ ในขณะเดียวกันก็มีรายงานว่า เอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาโครเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) ให้ค่ากำลังแรงยึดที่มากกว่ามอนอเมอร์กลุ่มฟอสฟอริกเอซิดอะโครเลท (phosphoric acid acrylate)²⁷ ซึ่งจากรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้จะสังเกตได้ถึงความหลากหลายของค่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของฟอสเฟตมอนอเมอร์ที่แตกต่างกันอันไม่อาจสรุปผลที่ชัดเจนได้

นอกจากความแตกต่างของชนิดฟอสเฟตมอนอเมอร์แล้ว ปัจจัยเรื่องความแตกต่างระหว่างเซอร์โคเนียชนิดใส และเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพี ก็เป็นอีกปัจจัยที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากเซอร์โคเนียชนิดใสมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างจากเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพี อันส่งผลให้สมบัติทางกลของเซอร์โคเนียชนิดใสดีกว่าเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพี สมบัติการยึดติดของเซอร์โคเนียชนิดใสจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ถึงแม้เซอร์โคเนียชนิดใสจะมีสมบัติทางกลที่ดีอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามสมบัติความทนแรงดัดก็ยังคงมากพอที่จะต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวได้ และวัสดุยังมีความโปร่งแสงที่เพิ่มขึ้น การบูรณะด้วยวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสจึงให้ความสวยงามมากขึ้นเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพี ดังนั้นการนำวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสมาใช้ในการงานทันตกรรมบูรณะ รวมทั้งทันตกรรมรากเทียมจึงมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และถึงแม้จะมีรายงานว่าหากเตรียมผิวเซอร์โคเนียชนิดใสและเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพีด้วยวิธีที่เหมาะสมแล้ว วัสดุเซอร์โคเนียทั้งสองชนิดจะมีค่ากำลังแรงยึดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ¹³ อย่างไรก็ตามการศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆต่อวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสนั้นยังคงมีไม่มากนัก ประกอบกับยังคงไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนว่าสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตชนิดใดที่เหมาะสม และให้ค่ากำลังแรงยึดที่ดีที่สุดต่อวัสดุในกลุ่มเซอร์โคเนีย จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่

ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพลีเมอร์หลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง ภายใต้สมมติฐานงานวิจัยที่ว่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกัน จะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง งานวิจัยนี้ยังต้องการที่จะสังเกตรูปแบบความล้มเหลวของเรซินซีเมนต์ที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวขึ้นกับคอมโพลีเมอร์ชนิดออกจากวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสอีกด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้คาดหวังว่าจะสามารถเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่เหมาะสมในการยึดวัสดุบูรณะในกลุ่มเซอร์โคเนียชนิดใสเพื่อให้เกิดความสำเร็จระยะยาวของการรักษาทางคลินิกในงานทันตกรรมบูรณะ และทันตกรรมรากเทียมได้

คำถามงานวิจัย (Research question)

ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวบนวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกัน และผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

วัตถุประสงค์งานวิจัย (Objective)

เพื่อศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพลีเมอร์

สมมติฐานงานวิจัย (Research hypothesis)

H_0 : กำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง

H_1 : กำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันจะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง

จริยธรรมงานวิจัย (Research ethic)

-

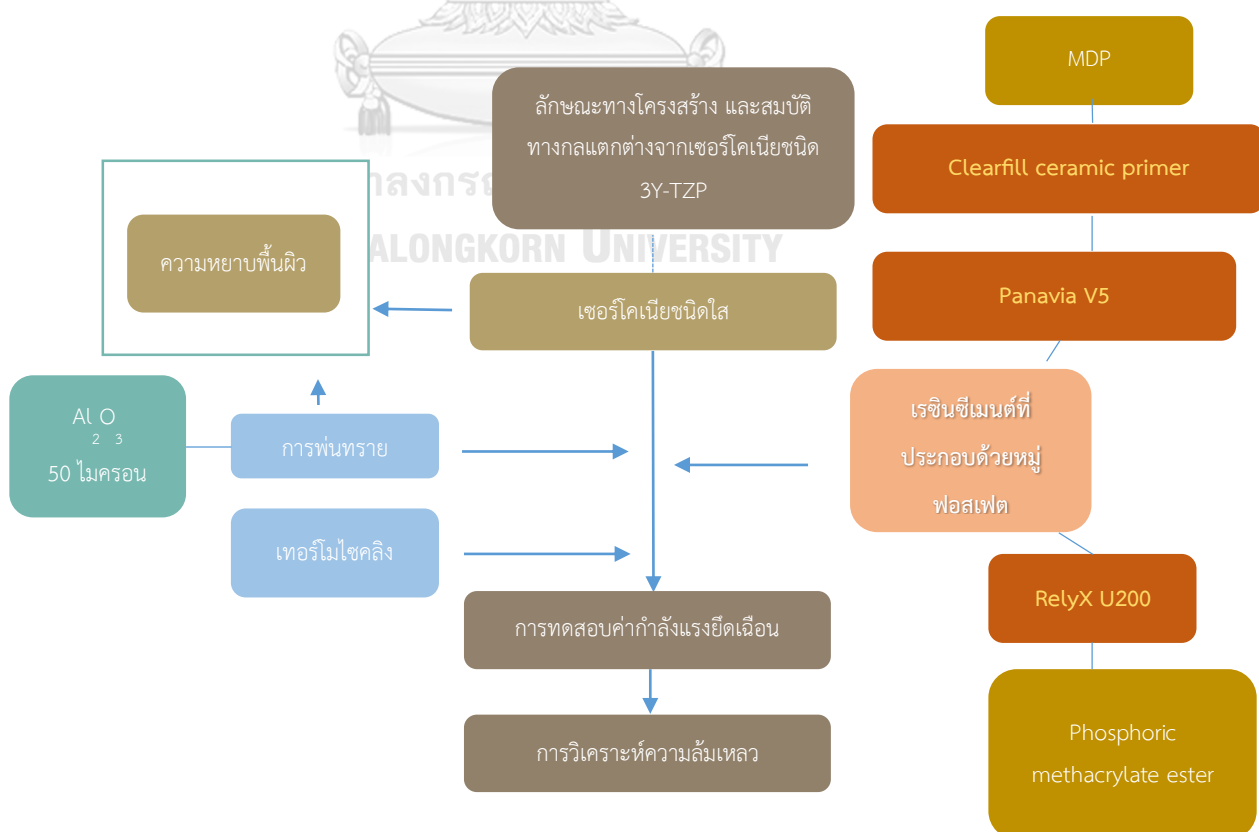
ขอบเขตงานวิจัย (Scope of study)

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการซึ่งศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวบนวัสดุเซออร์โคเนียชนิดใสเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Proposed benefit)

ได้คำแนะนำการเลือกใช้เรซินซีเมนต์เพื่อยึดชิ้นงานเซออร์โคเนียชนิดใสอย่างเหมาะสม และนำไปใช้ทางคลินิกในงานทันตกรรมบูรณะ

กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual framework)



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

(Literature review)

ลักษณะของวัสดุเซอร์โคเนีย (Characteristics of Zirconia)

เซอร์โคเนียถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมตั้งแต่ช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1990⁶ โดยเซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่มีหลายรูปผลึก (Polymorphic) และเป็นผลึกรวม (Polycrystalline) ที่ปราศจากองค์ประกอบของแก้ว และประกอบด้วยอะตอมที่อัดตัวกันแน่น ทำให้มีสมบัติที่เหนียวกว่า แกลาเซรามิก (Glass ceramic) และไม่เกิดการแตกหักเหมือนกลุ่ม แกลาเซรามิก โดยการขึ้นรูปวัสดุเซอร์โคเนียมีความยุ่งยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD-CAM) มาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปวัสดุชนิดนี้¹ เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่มีหลายรูปผลึก (Polymorphic) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึก สมบัติทางกายภาพของเซอร์โคเนียนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง เซอร์โคเนียบริสุทธิ์จะอยู่ในรูปผลึกมอนอคลินิก (Monoclinic, M) โดยจะเปลี่ยนรูปผลึกเป็นเทตระโกนอล (Tetragonal, T) และรูปลูกบาศก์ (Cubic, C) เมื่อเผาขึ้นไปอุณหภูมิ 1,170 องศาเซลเซียส และ 2,370 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งเมื่อวัสดุเย็นตัวลงจะเกิดการขยายตัวทางปริมาตรจากการเกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลึก ส่งผลให้เกิดรอยร้าวในเนื้อวัสดุได้ในอุณหภูมิห้อง ดังนั้นวัสดุเซอร์โคเนียชนิดบริสุทธิ์จึงมีข้อจำกัดด้านการใช้งาน ด้วยเหตุนี้เอง ออกไซด์คงสภาพ (Stabilizing oxides) อาทิ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซีเรียมออกไซด์ (CeO₂) หรือ อิทเทรียมออกไซด์ (Y₂O₃) จึงถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยคงสภาพผลึกของเซอร์โคเนีย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอิตเทรียมออกไซด์ร้อยละ 2-3 โดยโมลจะถูกเพิ่มเข้าไปในวัสดุเซอร์โคเนียเพื่อช่วยป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผลึกเทตระโกนอลจึงคงสภาพอยู่ได้ ณ อุณหภูมิห้อง โดยเรียกเซอร์โคเนียชนิดนี้ว่า อิตเทรียมเทตระโกนอลเซอร์โคเนีย (Yttrium stabilized tetragonal zirconia polycrystals; Y-TZP)⁶.

กระบวนการทรานสฟอร์มเมชันทัฟเฟนนิ่ง (Transformation toughening) เป็นหนึ่งในสมบัติที่เป็นประโยชน์ของเซอร์โคเนีย โดยแรงเค้นภายนอก และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการดังกล่าวที่พื้นผิวของเซอร์โคเนีย เกิดเป็นชั้นบีบอัด (Compressive

layer) ขึ้นบนผิวของวัสดุเซอร์โคเนียได้⁴ กระบวนการทรานสฟอร์มเมชันทัฟเฟนนิ่ง (Transformation toughening) เกิดมาจากผลึกเทระโกนอลที่ถูกคงสภาพไว้ รอบบริเวณที่เกิดรอยร้าว หรือได้รับแรงเค้นภายนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกเป็นผลึกมอนอคลินิกซึ่งการเปลี่ยนรูปร่างผลึกนี้ทำให้เกิดการขยายปริมาตรประมาณร้อยละ 4.4 ซึ่งการขยายปริมาตรของผลึกนี้สามารถยับยั้งการเกิดแผ่ขยายออกของรอยร้าวได้⁵ การเกิดชั้นบีบอัดนี้เองทำให้เซอร์โคเนียมีสมบัติทางกลที่ดี แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนรูปร่างผลึกที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดรอยตำหนิที่ผิวของเซอร์โคเนีย และอาจเกิดการหลุดออกของผลึกได้ ส่งผลให้วัสดุมีสมบัติทางกลที่แย่งลง และง่ายต่อการเสื่อมสภาพ⁶ ดังนั้นการใช้งานวัสดุเซอร์โคเนียจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง เสถียรภาพของวัสดุในระยะยาว ความเข้ากันได้กับพอร์ซเลน การยึดติดของวัสดุ และความทึบแสงของวัสดุ ซึ่งสมบัติเหล่านี้ต่างก็เป็นปัญหาหลักในการใช้งานวัสดุชนิดอิทธิมาตรเทระโกนอลเซอร์โคเนีย (Y-TZP)¹.

ในปัจจุบันการขึ้นรูปเซอร์โคเนียด้วย CAD/CAM ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทตามชนิดก้อนของเซอร์โคเนียที่ใช้ ชนิดแรกคือ ก้อนเซอร์โคเนียชนิดฟูลลิซิงเทอ์ (Fully-sintered) ซึ่งวัสดุชนิดนี้ถูกเผาไหม้ทั้งหมดแล้วก่อนการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยกระบวนการ CAD/CAM ซึ่งการใช้ก้อนชนิดนี้สามารถใช้ชิ้นงานที่มีความที่พอดี และเที่ยงตรงเนื่องจากปราศจากการหดตัวจากการเผา อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปก้อนเซอร์โคเนียชนิดนี้จะสึกได้ง่ายเนื่องจากก้อนเซอร์โคเนียมีความแข็งมาก และวัสดุอาจเกิดรอยร้าวภายในเนื้อวัสดุระหว่างกระบวนการขึ้นรูปได้ ส่งผลให้สูญเสียสมบัติทางกลที่ดีของวัสดุไป ชนิดที่สองคือ ก้อนเซอร์โคเนียชนิดพาร์เชียลลิซิงเทอ์ (Partially-sintered) ซึ่งเป็นก้อนเซอร์โคเนียที่ถูกเผาแล้วบางส่วน ก่อนนำมาขึ้นรูปด้วยกระบวนการ CAD/CAM จากนั้นจึงนำไปเผาอีกรอบให้สมบูรณ์เพื่อให้ได้ชิ้นงานสุดท้ายที่มีความแข็งแรง การขึ้นรูปก้อนเซอร์โคเนียชนิดนี้ไม่ทำให้เครื่องมือสึก และไม่เกิดการบิ่นแตกของวัสดุเซอร์โคเนีย อย่างไรก็ตามชิ้นงานเซอร์โคเนียจะเกิดการหดตัวหลังการเผาชิ้นสุดท้าย จึงจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบและปรับโครงสร้างจากกระบวนการ CAD เพื่อชดเชยการหดตัวดังกล่าว เพื่อให้ชิ้นงานเซอร์โคเนียมีความพอดี²⁸ ทั้งนี้กระบวนการขึ้นรูป การเชื่อมจากอุณหภูมิ การกรอแต่ง และกรอขัดต่างก็ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของเซอร์โคเนียชนิดวาย-ทีซีพี (Y-TZP) เช่น การขัดสามารถเหนียวทำให้เกิดชั้นที่เกิดแรงอัดที่ผิวของเซอร์โคเนียซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกลของวัสดุดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็อาจทำให้เกิดรอยตำหนิที่ผิวของวัสดุอันส่งผลให้เกิดผลเสียต่อวัสดุได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกเทระโกนอลที่เปลี่ยนเป็นมอนอคลินิก แรงเค้น รวมถึงอุณหภูมิที่เกิดจากการกรอขัดวัสดุดังกล่าว นอกจากนี้ อุณหภูมิยังส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของเซอร์โคเนียได้อีก เนื่องจากหากนำเซอร์โคเนียไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจะเกิดกระบวนการผันกลับของการเปลี่ยนผลึกจากผลึกมอนอ

คลินิกเป็นผลึกเทอร์โกนอล (Reverse phase transformation, M-T phase transformation) ส่งผลให้ชั้นแรงอัดที่เคยช่วยต้านการแผ่ขยายของรอยร้าวที่เกิดขึ้นที่ผิวของเซอร์โคเนียชั้นนั้นหายไป เมื่อปราศจากชั้นแรงอัดนี้ รอยร้าวที่เคยถูกต้านไว้สามารถแผ่ขยายต่อไป ส่งผลให้เซอร์โคเนียมีความแข็งแรงที่ลดลง²⁹

เซอร์โคเนียชนิดใส (Highly translucent zirconia)

เนื่องจากปัญหาเรื่องการบิ่นแตกของพอร์ซเลนบนแกนเซอร์โคเนีย (Zirconia core)³ การใช้มอนอลิติกเซอร์โคเนียจึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น² อย่างไรก็ตาม เซอร์โคเนียชนิด 3-วายที่ซีพี (3-YTZP) มีปัญหาเรื่องความโปร่งแสงของวัสดุซึ่งส่งผลต่อความสวยงามของการบูรณะฟัน⁸ เซอร์โคเนียชนิดใสจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงสมบัติความโปร่งแสงดังกล่าวผ่านหลายกระบวนการ อาทิ การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกเซอร์โคเนีย การลดปริมาณอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร่วมกับการเพิ่มปริมาณ แลนทาเนียมออกไซด์ (La_2O_3) การลดปริมาณสิ่งปนเปื้อน และการเพิ่มปริมาณอิทเทรียมออกไซด์ที่นำมาใช้ในการคงสภาพผลึก ทั้งนี้เนื่องจากความทึบแสงของวัสดุเซอร์โคเนียชั้นนี้เป็นผลมาจากการกระเจิงของแสงที่ส่องผ่านวัสดุเซอร์โคเนีย ดังนั้นรูพรุน สิ่งปนเปื้อน และขอบของผลึกต่างก็เป็นเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระเจิงของแสงทั้งสิ้น การลดการกระเจิงของแสงจึงทำให้วัสดุเซอร์โคเนียมีความใสที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเซอร์โคเนียชนิด 3-วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ แอนไอโซโทรปิก (Anisotropic crystal structure) ซึ่งแสงสามารถกระเจิงได้จากความแตกต่างกันของดัชนีการหักเหของแสงที่ขอบของผลึก^{8, 9, 12} นอกจากนี้การลดขนาดของผลึกมีรายงานว่า เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ทำให้วัสดุเซอร์โคเนียมีความใสที่เพิ่มขึ้น และสามารถต้านต่อการเกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำได้ (Low Temperature Degradation, LTD) ซึ่งเมื่อผลึกถูกลดขนาดลง แสงจะสามารถส่องผ่านเป็นแนวตรงได้มากขึ้น ดังนั้นเซอร์โคเนียชนิด 3-วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) ที่ผ่านการลดขนาดผลึกลงจะมีสมบัติความโปร่งแสงที่มากขึ้น แต่ยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรงอันเป็นลักษณะเด่นของวัสดุชนิดนี้ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มขนาดของผลึกก็สามารถช่วยเพิ่มสมบัติความโปร่งแสงได้ แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำของวัสดุนั้นค่อนข้างแย่⁸ การเพิ่มปริมาณอิทเทรียมออกไซด์ให้มากกว่าร้อยละ 3 โดยโมลนั้นก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มความใสให้กับวัสดุเซอร์โคเนีย โดยการเพิ่มปริมาณอิทเทรียมออกไซด์จะไปเพิ่มปริมาณผลึกชนิดลูกบาศก์ (Cubic)^{2, 8-12} จากการศึกษาของ Zhang⁸ พบว่า เซอร์โคเนียที่ถูกคงสภาพผลึกด้วยอิทเทรียมออกไซด์ ร้อยละ 7.10 โดยมวล จะประกอบด้วยผลึกเทอร์โกนอล (Tetragonal) ร้อยละ 75 และ ผลึก

ลูกบาศก์ (Cubic) ร้อยละ 25 ซึ่งสอดคล้องไปกับการศึกษาของ Inokoshi¹⁰ ซึ่งวิเคราะห์และระบุชนิดโครงสร้างของผลึกด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสี (X-ray diffraction analysis, XRD) โดยการศึกษาพบว่า เมื่อคงสภาพผลึกของเซอร์โคเนียด้วยอิทเทรียมออกไซด์ร้อยละ 5 โดยโมลแล้ว จะมีผลึกลูกบาศก์ (Cubic) อยู่ร้อยละ 71 โดยมวล และสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang⁹ ซึ่งรายงานการพบผลึกลูกบาศก์ (Cubic) ร้อยละ 54 การศึกษาเหล่านี้สนับสนุนว่าการเพิ่มปริมาณอิทเทรียมออกไซด์นั้นมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณของผลึกลูกบาศก์ (Cubic) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นไอโซโทรปิก (Isotropic crystal structures) วัสดุเซอร์โคเนียจึงมีสมบัติความใสที่ดีมากขึ้น^{8, 9} ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกจากเตตระโกนอลเป็นมอนอคลินิก (T-M phase transformations) นั้นจะไม่เกิดขึ้นในผลึกลูกบาศก์ (Cubic) ทำให้วัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสมีแนวโน้มที่จะต้านทานความเสื่อมได้ดีมากขึ้น^{2, 9, 10, 12} อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเซอร์โคเนียชนิดใสประกอบด้วยผลึกลูกบาศก์ (Cubic) ในปริมาณที่มาก ผลึกชนิดนี้มีสมบัติที่ค่อนข้างเปราะ อ่อนแอ และแตกหักง่าย ส่งผลให้สมบัติทางกลของเซอร์โคเนียชนิดใสนั้นแยกลงเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียชนิด 3 วาย-ทีซีพี (3Y-TZP)^{8, 9, 12}

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกระบวนการพ่นทราย (Air abrasion as surface treatment)

ในปัจจุบันมีหลายการศึกษาที่รายงานว่า การปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียก่อนการยึดติดมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดการยึดติดระหว่างเซอร์โคเนียกับวัสดุอื่นได้ดี การยึดติดที่ดีนั้นจำเป็นต้องอาศัยทั้งการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention) และทางเคมี (chemical retentions) ซึ่งในปัจจุบัน วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3 particles) การพ่นทรายเป็นวิธีหนึ่งที่น่าเชื่อถือเพื่อทำให้เกิดพื้นผิวที่มีลักษณะทางจุลกลศาสตร์ที่เหมาะสม จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการรายงานถึงข้อดี และข้อเสียของการปรับสภาพผิววัสดุเซอร์โคเนียด้วยวิธีพ่นทราย^{17, 30} ซึ่งพบว่าพื้นผิววัสดุเซอร์โคเนียจะมีความขรุขระที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การพ่นทรายยังเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสอีกด้วย ทำให้พื้นผิวของเซอร์โคเนียเกิดการยึดติดที่ดีมากขึ้น นอกจากนี้ขนาดของผงอะลูมินาออกไซด์ และแรงดันลมต่างก็ถูกรายงานว่าต่างก็มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึก และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิว (surface morphology)³¹⁻³³ Hallmann และคณะได้รายงานว่าเริ่มพบการไหลของขอบผลึกเมื่อพื้นผิวถูกพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน (micron) ด้วยแรงดัน 2 บาร์ (bar) และหายไปเมื่อพื้นผิวถูกพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 110 ไมครอน (micron) ด้วยแรงดัน 1.5 บาร์ (bar) ดังนั้นผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด

50 ไมครอน (micron) ภายใต้แรงดัน 2.5 บาร์ (bar) และผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 110 ไมครอน (micron) แรงภายใต้ดัน 1.5 บาร์ (bar) จึงเป็นขนาดอะลูมินาออกไซด์ และแรงดันที่เหมาะสมในการปรับสภาพพื้นผิววัสดุเซอร์โคเนีย³² นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน (micron) ภายใต้แรงดัน 2.5 บาร์ (bar) ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์หรือไพรเมอร์ (primer) ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบสามารถให้การยึดติดที่ดีและมีประสิทธิภาพได้^{17, 19}

การพ่นทราย ถือเป็นแรงเค้นภายนอกอย่างหนึ่งซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดชั้นแรงอัด (compressive layer) จากการเปลี่ยนรูปร่างผลึกจากเทอร์โกนอลเป็นมอนอคลินิกได้ ซึ่งการพ่นทรายนี้อาจทำให้เกิดรอยตำหนิที่ผิวของเซอร์โคเนียได้ แต่อย่างไรก็ตามรอยตำหนิที่เกิดขึ้นได้ถูกจำกัดไว้ด้วยชั้นแรงอัดที่เกิดขึ้น^{4, 34} ชั้นแรงอัดนี้จะช่วยต้านการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนิที่เกิดขึ้นด้วยเหตุผลนี้เองวัสดุเซอร์โคเนียที่ผ่านการพ่นทรายมานั้นจะมีค่าความทนแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามบางการศึกษา^{29, 34} รายงานว่าค่าความทนแรงดัดนี้จะลดลงเมื่อวัสดุเริ่มเสื่อมสภาพหรือถูกนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเนื่องมาจากรอยตำหนิที่เกิดขึ้นจากการพ่นทราย นอกจากนี้การนำวัสดุเซอร์โคเนียไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนยังสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกแบบผันกลับ (Reverse phase transformation, M-T phase transformation) ซึ่งส่งผลให้ชั้นแรงอัดหายไป ดังนั้นเมื่อปราศจากชั้นแรงอัดนี้ ค่าความทนแรงดัดของวัสดุเซอร์โคเนียจึงลดต่ำลง

โดยทั่วไปแล้ว ตามแนวทาง และคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต วัสดุเซอร์โคเนียจะถูกพ่นทรายภายหลังกระบวนการเผาขึ้นรูป ซึ่งการพ่นทรายไปบนผิวของวัสดุเซอร์โคเนียที่ถูกเผาเต็มที่แล้วเพื่อเพิ่มความขรุขระที่ผิวของวัสดุนั้นอาจส่งผลเสียต่อสมบัติทางกลของวัสดุได้ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกอาจจะเกิดขึ้นมากเกินจนนำไปสู่การหลุดออกของผลึก และการเสื่อมสภาพของผิววัสดุ ในทางกลับกันบางการศึกษา^{31, 33, 35} รายงานว่าการพ่นทรายบนผิวของเซอร์โคเนียก่อนการเผาขึ้นรูปนั้นสามารถทำให้เกิดความขรุขระที่ผิวเซอร์โคเนียได้เช่นกัน หากแต่เมื่อเซอร์โคเนียถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการเผาขึ้นรูปแล้ว การเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกที่เกิดขึ้นจะถูกผันกลับ³⁶ ส่งผลให้ชั้นแรงเค้นอัดที่เกิดขึ้นมานั้นถูกปลดปล่อยให้หายไป³¹ โดยการหดตัวของวัสดุเซอร์โคเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาขึ้นรูปซึ่งมีประมาณร้อยละ 20-25 นั้นถูกรายงานว่าอาจสามารถช่วยปิดผนึกรอยร้าว รวมถึงช่องว่างและรอยตำหนิที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นมานั้นไม่สามารถถูกปิดผนึกได้อย่างสมบูรณ์ภายหลังการเผาขึ้นรูปขั้นสุดท้ายแล้ว ซึ่งผิวของเซอร์โคเนียที่มีรอยร้าวโดยปราศจากการต้านทานจากชั้นแรงเค้นอัดนั้นท้ายที่สุดจะเกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำได้³⁷

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การพ่นทรายสามารถทำให้ผลึกเซอร์โคเนียเปลี่ยนรูปร่างเป็นผลึก

รอมโบฮีดรัล (Rhombohedral) ได้ ซึ่งผลึกรอมโบฮีดรัลสามารถเกิดได้จากการบิดของผลึก ลูกบาศก์ และผลึกเทตระโกนอล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผลึกรอมโบฮีดรัลมีส่วนในการทำให้จุดสูงสุด ในแผนภูมิการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสี (XRD) กว้างมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องไปกับการพบปริมาณ ผลึกมอนอกลิทที่ลดลง นอกจากนี้ Inokoshi¹⁰ ยังพบว่าความขรุขระบนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใส เปรียบเทียบก่อน และหลังการพ่นทรายด้วยอะลูมินาออกไซด์ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ยกเว้นเซอร์โคเนียชนิดใสที่ประกอบด้วยปริมาณผลึกลูกบาศก์ร้อยละ 71 โดยมวล ซึ่งนั้น อาจแปลผลได้ว่า พื้นผิวของเซอร์โคเนียที่ประกอบด้วยผลึกลูกบาศก์มีความเปราะบางและมีแนวโน้ม ที่ถูกทำให้หยาบได้มากกว่าเซอร์โคเนียชนิดดั้งเดิมที่ประกอบด้วยผลึกเทตระโกนอลเป็นหลัก

การยึดติดของเซอร์โคเนีย (Bonding of zirconia)

ในขณะที่การใช้วัสดุเซอร์โคเนียเพื่อการบูรณะฟันได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นนั้น วิธีที่จะใช้ ยึดเซอร์โคเนียกับวัสดุทางทันตกรรมอื่นๆ รวมถึงยึดกับฟันอย่างแข็งแรงและคงทนนั้นยังคงไม่ชัดเจน อยู่ ซึ่งการยึดติดที่แข็งแรง และคงทนนั้นมีความสำคัญต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันในระยะยาว³⁸ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษามากมายเพื่อหาวิธียึดเซอร์โคเนียที่แข็งแรง และคงทน อาทิ การใช้สารยึดติด ร่วมกับไซเลน (Silane coupling agents) และ การใช้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (Phosphate-based functional monomers)^{15, 20}

เนื่องจากเซอร์โคเนียมีความแข็งผิวที่เหนือกว่ากลุ่มกลาสเซรามิกอื่นๆ (Glassy ceramic) อีกทั้งอนุภาคของซิลิกาไม่สามารถที่จะยึดติดอยู่บนผิวเซอร์โคเนียได้¹⁵ ดังนั้นการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ร่วมกับสารไซเลนจึงไม่สามารถให้การยึดติดที่ดีกับเซอร์โคเนีย¹⁶ อย่างไรก็ตามการใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันภายหลังการเตรียมผิวเซอร์โคเนียด้วยการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินา ออกไซด์นั้นให้การยึดติดที่ดีถึงแม้จะผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง (thermocycling) ก็ตาม^{17, 18} ดังนั้นการเตรียมผิวด้วยการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ร่วมกับการทำสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันจึงถูกแนะนำให้ เป็นวิธีที่เหมาะสมในการยึดวัสดุเซอร์โคเนียกับวัสดุทางทันต กรรมอื่นๆ รวมถึงฟัน^{17, 39} ซึ่งแรงยึดที่เพียงพอ นั้นไม่สามารถได้มาจากการพ่นทราย หรือการใช้สาร มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง การใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟต เป็นหมู่ฟังก์ชันเพียงอย่างเดียวโดยไม่มี การพ่นทรายนั้น มีค่าแรงยึดที่ต่ำ และช่วยเพิ่มแรงยึดได้ใน ช่วงแรกเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ยังไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำได้เป็นระยะเวลานานซึ่งจะพบว่า ค่าแรงยึดมีค่าเป็นศูนย์ในสภาวะดังกล่าว เช่นเดียวกันกับการพ่นทรายเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้มอนอ

เมอร์ หรือไพรเมอร์ (primer) ที่เหมาะสมนั้นจะให้แรงยึดที่ไม่คงทน และเพียงพอ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ติดบนผิวเซอร์โคเนียจึงเป็นที่จะต้องทำการเติมผิวด้วยการพ่นทราย ร่วมกับการใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention) และทางเคมี (chemical retention) ตามลำดับ¹⁹ อาจกล่าวได้ว่าการยึดติดทั้งสองรูปแบบมีความสำคัญเพื่อให้เกิดการยึดติดที่คงทนบนพื้นผิวของเซอร์โคเนีย¹⁷ อย่างไรก็ตาม การพ่นทรายอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างผลึกจากเทระโกนอลเป็นมอนอคลินิกได้²⁹ ซึ่งอาจส่งผลที่ไม่ดีต่อสมบัติทางกลของวัสดุได้ ซึ่งความแข็งแรงที่ลดลงที่เกี่ยวข้องกับการเกิดรอยตำหนิที่ผิวรอยร้าว การทำลายพื้นผิว และการรับแรงเข้าไปเข้ามาของเซอร์โคเนีย⁴⁰

มีการศึกษามากมายที่ศึกษากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์ชนิดต่างๆบนวัสดุเซอร์โคเนีย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า แรงยึดติดของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc-phosphate cement) กลาสไอออนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) เรซินโมดิฟายด์กลาสไอออนเมอร์ซีเมนต์ และบิสจีเอ็มเอ เรซินคอมโพสิต ให้ค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำ และไม่คงทนโดยเฉพาะภายหลังการเสื่อมสภาพจากอุณหภูมิ^{21, 41} อย่างไรก็ตามการใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์ให้ค่าแรงยึดที่ติดบนเซอร์โคเนีย ดังเช่น เท็น-เอ็มดีพี (10-MDP)^{16, 17, 20-22} ฟอสเฟตเมทาโครเลทเอสเทอร์ (Phosphate methacrylate ester) จีพีดีเอ็ม (GPDM) พีเอ็นทีเอ (PENTA) และ ฟอสฟอริกเอซิโดอะคริเลท (Phosphoric acid acrylate) ที่มีกลุ่มผสมอยู่ในเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในทางทันตกรรม ซึ่งแสดงถึงการมีค่ากำลังแรงยึดที่ติดบนผิวเซอร์โคเนีย^{23, 24}

นอกเหนือจากนี้ การยึดติดทางเคมีระหว่างคอมโพสิตเรซินกับเซอร์โคเนียยังถูกรายงานว่าสามารถเกิดขึ้นได้โดยการใช้เท็น-เอ็มดีพี (10-MDP)¹⁹ ซึ่งการใช้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยเอ็มดีพี ภายหลังการเคลือบผิวเซอร์โคเนียด้วยไตรโบเคมีคัลสามารถให้ค่าแรงยึดที่สูงเช่นกัน ซึ่งการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพีภายหลังการเตรียมผิวด้วยวิธีการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์แสดงถึงการมีค่าแรงยึดที่สูง และคงทนบนวัสดุเซอร์โคเนีย^{16, 21} แม้จะผ่านการเก็บไว้ในน้ำเป็นระยะเวลาตามที่ตาม¹⁷ ซึ่งการศึกษา Yoshida K. และคณะ²⁰ ได้สนับสนุนการใช้สารไพรเมอร์ที่ประกอบด้วยเอ็มดีพี (MDP) เพื่อเพิ่มกำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอร์โคเนียเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงไม่สามารถให้ค่าแรงยึดที่ทนต่อการเสื่อมจากอุณหภูมิได้

เท็น-เอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecyl dihydrogenphosphate, 10-MDP) เป็นสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย หมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันอาจสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับ เซอร์โคเนียไฮดรอกไซด์ (Zr-OH) บนผิวของเซอร์โคเนียได้^{17, 20, 21} และ พันธะคู่ของคาร์บอนอะตอม (double bonds carbons) ที่อีกด้านจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับเร

ซินมอนอเมอร์ โดยมีรายงานว่าพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นนี้คงทน และสามารถทนต่อน้ำได้¹⁶

จากการศึกษาล่าสุดรายงานว่าพันธะเคมีที่เกิดขึ้นระหว่าง เอ็มดีพีกับเซอรโคเนีย นั้น ไม่ใช่เป็นเพียงแค่พันธะไอออนิก แต่เกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยเช่นกัน ดังนั้นพันธะที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดแรงยึดที่สูง และทนทาน นอกจากนี้ปริมาณของเอ็มดีพียังมีผลต่อการให้กำลังแรงยึดที่เพิ่มมากขึ้นจากการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของ เท็น-เอ็มดีพีที่ต่างกัน (ไม่มี MDP, 0.1ppb, 1ppb, 10ppb, 100ppb, 1ppm, 100ppm, ร้อยละ 0.1 โดยมวล, ร้อยละ 1 โดยมวล)⁴² ในทางกลับกัน Llerene-Icochea และคณะ²² ได้รายงานว่าความเข้มข้นของ เท็น-เอ็มดีพี (ร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15) ไม่ได้มีอิทธิพลต่อค่ากำลังแรงยึดบนผิวของเซอรโคเนีย

เท็น-เอ็มดีพี (10-MDP) เป็นสารที่ประกอบด้วยเมทิลเมทาคริเลตที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งจำเป็นต่อการบ่มตัวของวัสดุประเภทเรซิน และกลุ่มกรดฟอสฟอริกที่สามารถเกิดปฏิกิริยา และสร้างพันธะเคมีกับแคลเซียมในไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของฟัน มอนอเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันนี้จะสร้าง เท็น-เอ็มดีพีแคลเซียมซอลต์ (10-MDP Ca-salt) ที่มีความแข็งแรง และทนทานเนื่องจากความสามารถของเท็น-เอ็มดีพีที่สามารถละลายแคลเซียมได้ นำไปสู่การสร้างชั้นระดับนาโนเมตร (Nano-layering) ขึ้น ซึ่งชั้นดังกล่าวนี้ถูกสันนิษฐานว่าสามารถสร้างชั้นผิวที่ทนต่อน้ำ และเกิดแรงยึดที่ทนทานบนผิวของวัสดุเซอรโคเนียชนิด วาย-ซีพีได้⁴³ เช่นเดียวกันกับบนผิวของเซอรโคเนียชนิดใส¹³ นอกจากนี้ Yagawa และคณะ⁴⁴ ยังรายงานว่าการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ (dual-cured resin cement) ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพี (MDP-containing primer) สามารถให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนที่แข็งแรง และทนทานบนผิวของเซอรโคเนียชนิดใสถึงแม้จะผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงมาแล้ว มอนอเมอร์กลุ่มฟอสฟอริกเมทาคริเลตเอสเทอร์ (Phosphoric methacrylate ester) เป็นอีกสารหนึ่งที่ถูกรายงานว่าสามารถทำให้เกิดกำลังแรงยึดที่ดีบนผิวของเซอรโคเนียภายหลังกระบวนการเทอร์โมไซคลิงได้เช่นเดียวกัน^{23, 24} โดยหมู่ฟอสเฟตทั้งสองหมู่จะไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเซอรโคเนียออกไซด์ที่ผิวของเซอรโคเนีย และส่วนประกอบของมอนอเมอร์ส่วนที่เป็นพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอมจะสร้างสายโซ่โพลีเมอร์ (cross-linking) กับเมทริกซ์ของเรซินซีเมนต์²⁶

นอกจากนี้สารมอนอเมอร์อื่นๆที่เป็นส่วนประกอบในเรซินซีเมนต์มีรายงานว่าสามารถเกิดพันธะเคมีกับออกไซด์ของโลหะรวมทั้งเซอรโคเนียออกไซด์ ยกตัวอย่างเช่น หมู่แอนไฮไดรด์ของสารโพรเมตา (4-META) ซึ่งมีรายงานว่ากำลังแรงยึดของ พีเอ็มเอ็มเอคอมโพสิตเรซิน (PMMA resin composite) ที่มี โพรเมตา (4-META) เป็นส่วนประกอบกับเซอรโคเนียนั้นมีค่าที่สูงในช่วงแรก อย่างไรก็ตามกำลังแรงยึดดังกล่าวไม่ทนทานในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำ เนื่องจากพีเอ็มเอ็มเอ

(PMMA) จะดูดน้ำในระหว่างกระบวนการเทอร์โมไซคลิงซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดลดต่ำลง²¹ ไพรเมอร์อีกตัวหนึ่งที่เป็นที่รู้จักสำหรับใช้ในการยึดโลหะผสมจำพวกมีตระกูล (noble metal alloy) ซึ่งรู้จักกันในชื่อ วิบีเอทีดีที (VBATDT) นั้นเมื่อนำมาใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ในการยึดวัสดุจำพวกเซอร์โคเนียแล้วพบว่ามีความกำลังแรงยึดที่ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง^{44, 45} จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำมาสู่ข้อสรุปที่ว่า ไพรเมอร์ หรือเรซินซีเมนต์ที่ปราศจากองค์ประกอบของมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันนั้น ไม่ควรนำมาใช้เพื่อการยึดวัสดุชนิดเซอร์โคเนียเนื่องจากให้ค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำ



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

(Materials and Methods)

วัสดุที่ใช้ (Materials)

1. Super-high translucent zirconia (Ceramill[®] zolid fx White ; AMANN GIRRIBACH, Austria)
2. Composite resin Z350XT (Shade A3 BODY, 3M-ESPE, USA)
3. Panavia V5 (Dual-cured; Self etching; Shade Universal(A2), Kuraray Noritake, Japan)
4. Rely X U200 (Dual-cured; Self adhesive; Shade A2, 3M-ESPE, USA)
5. Clearfil ceramic primer plus (Kuraray Noritake, Japan)

เครื่องมือและอุปกรณ์ (Instruments)

1. Polishing machine (MINITECH 233, PRESI, France)
2. Universal testing machine (EZ-S, SHIMADZU, Japan)
3. Surface roughness tester (Talyscan 150, England)
4. Sandblasting unit (Basic Quattro, Renfert, Germany)
5. Ultrasonic bath (VGT-1990QTD, China)
6. Durometer (ASTM D 2240 TYPE A,D PTC instruments, USA)
7. LED Light curing unit (Demi Plus, Kerr, USA)
8. Thermocycling unit
9. Scanning electron microscope(SEM) (FEI Quanta 250)

10.Sand paper SiC grit#1200

11.PVC tube

12.Autopolymerizing clear acrylic resin powder and monomer

13.99% isopropanol

14.Polyvinylxyloxane

15.Adhesive tape 50 microns thickness (Scotch, 3M, USA)



ตารางที่ 1. แสดงรายชื่อวัสดุที่ใช้ บริษัทผู้ผลิต ส่วนประกอบ และ หมายเลขชุดของวัสดุ

Material	Manufacturer	Composition	Batch No.
Ceramill® zolid fx White	AMANN GIRRBACH AG	ZrO ₂ + Y ₂ O ₃ + HfO ₂ ≥99%wt Y ₂ O ₃ 9.15 – 9.55%wt HfO ₂ ≤5%wt AL ₂ O ₃ ≤0.5%wt Other oxides ≤1%wt	1705001
Composite resin Z350 XT ; Shade A3 BODY PANAVIA™ V5 ; Shade Universal (A2)	3M-ESPE Kuraray Noritake	Silane treated ceramic, Silane treated silica, UDMA Bis-EMA, Bis-GMA, Silane treated zirconia, PEGDMA, TEGDMA Paste : Bis-GMA, TEGDMA, Silanated barium glass filler, Silanated fluoroaluminosilicate glass filler, Colloidal silica, Surface treated aluminum oxide filler, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, Initiators, Accelerators, Pigments	N991457 5T0104
Clearfil ceramic primer plus	Kuraray Noritake	3-Methacryloxypropyl trimethoxysilane, MDP, Ethanol	8T0038

RelyX™ U200 :Shade A2	<p data-bbox="288 470 335 1899">3M-ESPE</p> <p data-bbox="335 470 1099 1899">Base : Glass powder, surface modified with 2-propenoic acid, 2 methyl-3-(trimethoxysilyl)propyl ester and phenyltrimethoxy silane ,bulk material, 2-propenoic acid, 2-methyl-, 1,1'-[1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester reaction products with 2-hydroxy-1,3-propanediyl dimethacrylate and phosphorus oxide, TEGDMA, Silane treated silica, Oxide glass chemicals(non-fibrous), Sodium persulfate, Tert-butyl peroxy-3,5,5-trimethylhexanoate, Acetic acid, copper(2+) salt, monohydrate</p> <p data-bbox="718 470 1099 1899">Catalyst: Glass powder, Surface modified with 2-propenoic acid, 2 methyl-3-(trimethoxysilyl)propyl ester, Bulk material, Substituted dimethacrylate, 1,12-dodecane dimethacrylate, Barbituric acid derivate, Silane treated silica, Sodium p-touluenesulfinate, Calcium hydroxide, Methacrylated aliphatic amine, 2,6-di-tert-butyl-p-cresol, 2-propeic acid, 2-methyl-, 2-[(2-hydroxyethyl)(3-methoxypropyl)amino]ethyl ester, Titanium oxide</p>	4819681
--------------------------	---	---------

UDMA: DIURETHANE DIMETHACRYLATE, **Bis-EMA:** BISPHENOL A POLYETHYLENE GLYCOL DIETHER DIMETHACRYLATE, **Bis-GMA:** BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER DIMETHACRYLATE, **PEGDMA:** POLYETHYLENE GLYCOL DIMETHACRYLATE, **TEGDMA:** Triethylene glycol dimethacrylate, **MDP:** 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

ขั้นตอนงานวิจัย (Procedure)

1) คำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่าง (Sample size calculation)

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อวัสดุคอมโพสิตเรซินโดยใช้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (type-I error, $\alpha = 0.05$ and type-II error, $\beta = 0.10$). จำนวนกลุ่มตัวอย่างได้ถูกคำนวณดังสูตร

$$n = \frac{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{1-\beta} \right)^2 (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 / r)}{\Delta^2}$$

Δ = ความแตกต่างระหว่างข้อมูลสองกลุ่ม (Different data between two groups)

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$r = n_2 / n_1$

โดยการศึกษาจำลองโดยการทดลองในกลุ่ม PANAVIA™ V5 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus และกลุ่ม PANAVIA™ V5 พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.43 ± 0.32 เมกะพาสคาล (MPa) และ 0.82 ± 0.10 เมกะพาสคาล (MPa) ตามลำดับซึ่งเมื่อแทนค่าในสูตรคำนวณ

$$n = \frac{(Z_{0.975} + Z_{0.90})^2 \times (0.10 + 0.01)}{(0.61)^2}$$

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2 \times 0.11}{0.3721}$$

$$n = 3.107$$

จะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างขนาดกลุ่มตัวอย่างจะมีจำนวน $n=3$ และเนื่องจากต้องการเพิ่มความแม่นยำ อีกทั้งจากการศึกษาก่อนหน้านี้²⁷ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เลือกใช้คือ 8 ชิ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง $n=8$ ในแต่ละกลุ่ม รวมจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นจำนวน 32 ชิ้น โดยชิ้นงานถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น ตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และการใช้สารไพรเมอร์ ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 PANA VIA™ V5 (Dual-cured; Self etching; Shade Universal(A2), Kuraray Noritake, Japan) (PAN)

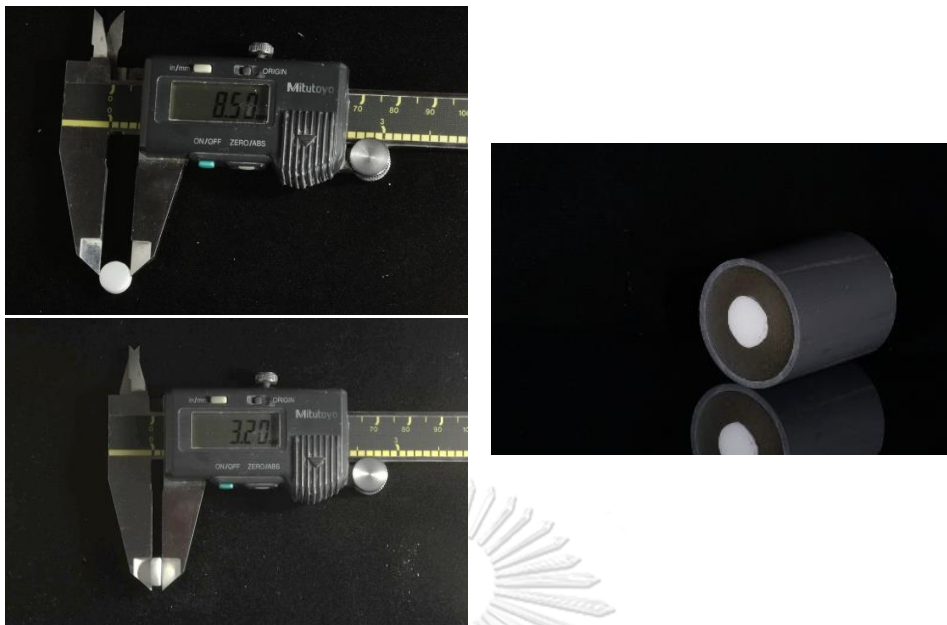
กลุ่มที่ 2 Rely X™ U200 (Dual-cured; Self-adhesive; Shade A2, 3M-ESPE, USA) (RXU)

กลุ่มที่ 3 PANA VIA™ V5 (Dual-cured; Self etching; Shade Universal(A2), Kuraray Noritake, Japan) ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (Kuraray Noritake, Japan) (PAN-C)

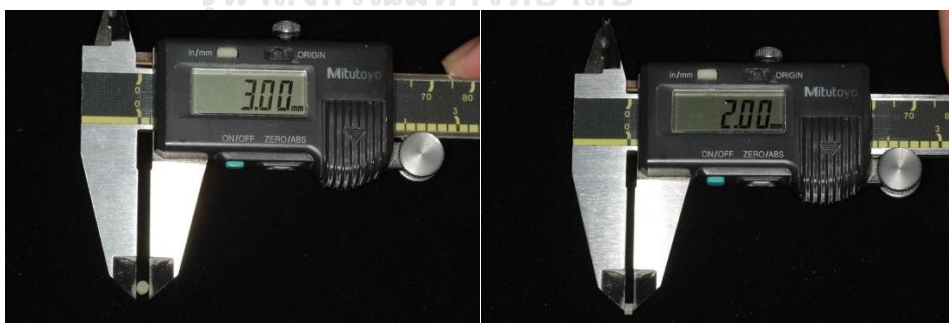
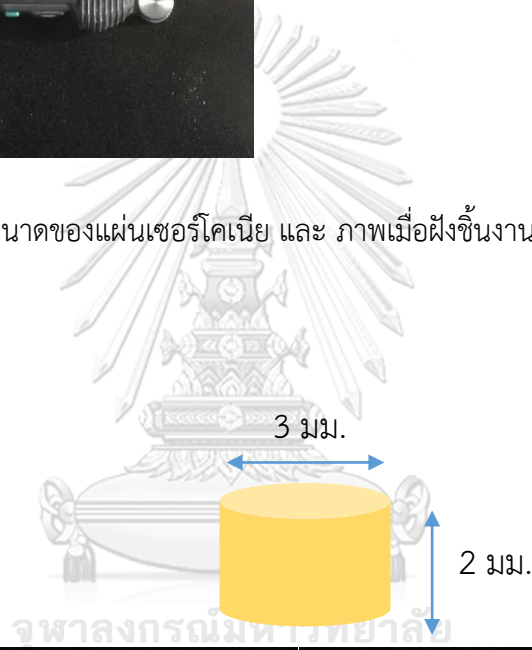
และกลุ่มที่ 4 Rely X™ U200 (Dual-cured; Self-adhesive; Shade A2, 3M-ESPE, USA) ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (Kuraray Noritake, Japan) (RXU-C)

2) การเตรียมชิ้นงาน (Specimen preparation)

เซอโรโคเนียชนิดใส (Ceramill® zolid fx White ; AMANN GIRRBACH, Austria) จำนวน 32 ชิ้น ถูกขึ้นรูปเป็นแผ่นวงกลม (Ceramill® mikro 5; AMANN GIRRBACH, Austria) ชิ้นงานทั้งหมดถูกขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความหยาบ 1200 กริท ด้วยแรงกด 50 นิวตัน ที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้เครื่องขัดอัตโนมัติ (MINITECH 233, PRESI, France) เพื่อควบคุมความหยาบพื้นผิว จากนั้นจึงนำไปเผาขั้นสุดท้าย (Ceramill® therm3 ; AMANN GIRRBACH, Austria) จนได้ชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร ชิ้นงานทุกชิ้นถูกฝังลงในท่อพีวีซีโดยใช้เรซินอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยตัวเอง



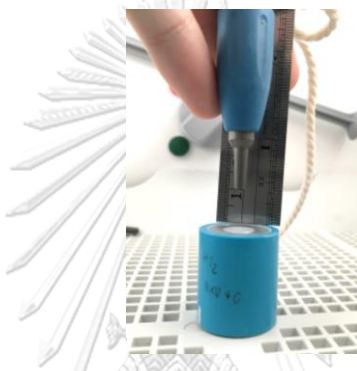
รูปที่ 1 : ขนาดของแผ่นเซอร์โคเนีย และ ภาพเมื่อฝังชิ้นงานลงในท่อพีวีซี



รูปที่ 2 : ภาพแสดงชั้นคอมโพสิตเรซิน

3) การเตรียมผิวชิ้นงานด้วยการพ่นทราย (Air abrasion)

ชิ้นงานเซอโรโคเนียชนิดใสถูกเตรียมผิวด้วยการพ่นผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องพ่นทราย (Basic Quattro, Renfert, Germany) ภายใต้แรงดัน 2.5 บาร์ (bar) ด้วยระยะห่าง 10 มิลลิเมตรตั้งฉากกับพื้นผิวชิ้นงาน เป็นเวลา 15 วินาที³² และทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (VGT-1990QTD, China) ด้วยไอโซโพรพานอล(isopropanol) ความเข้มข้นร้อยละ 99 เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3 : แสดงการพ่นทรายด้วยระยะห่าง 10 มม.ตั้งฉากกับพื้นผิวของชิ้นงานเซอโรโคเนีย

4) การวัดความขรุขระพื้นผิว (Surface roughness measurement)

ชิ้นงานเซอโรโคเนียทุกชิ้นถูกนำไปวัดความหยาบของพื้นผิวทั้งก่อน และหลังการเตรียมผิว ด้วยการพ่นทรายด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Talyscan 150, England) เพื่อตรวจสอบ ควบคุม และยืนยันความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานให้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

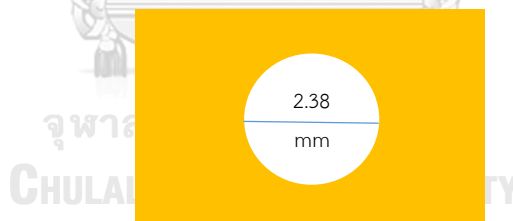


รูปที่ 4 : แสดงการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Talyscan 150, England)

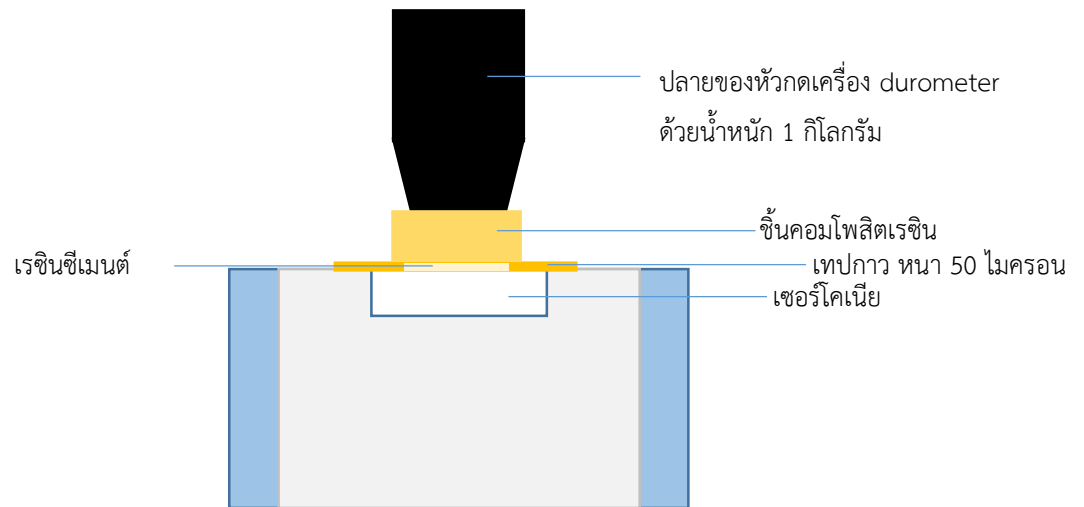
5) ขั้นตอนการยึดชิ้นงาน (Cementation procedure)

ชิ้นงานถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น ตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และการใช้สารไพรเมอร์ ดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 PANAVIA™ V5 (PAN) กลุ่มที่ 2 Rely X™ U200 (RXU) กลุ่มที่ 3 PANAVIA™ V5 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (PAN-C) และกลุ่มที่ 4 Rely X™ U200 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (RXU-C) โดยองค์ประกอบของวัสดุแต่ละชนิดแสดงใน ตารางที่ 1

เทปกาวความหนา 50 ไมโครเมตร (Scotch, 3M, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.38 มิลลิเมตรถูกนำมาติดบนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสเพื่อกำหนดพื้นที่ยึดติด และความหนาของเรซินซีเมนต์ตาม ISO 29022:2013⁴⁶ และ ISO 4049:2009⁴⁷ เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดถูกทาลงไปบนชิ้นงานเซอร์โคเนียด้วยพู่กันขนาดเล็ก นาโนคอมโพสิตเรซิน (Filtek™ Z350 XT) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตรถูกนำมายึดเข้าที่อีกด้านของเรซินซีเมนต์ด้วยเครื่อง durometer (ASTM D 2240 TYPE A,D PTC instruments, USA) ด้วยแรงกด 1 กิโลกรัม เรซินซีเมนต์ส่วนเกินถูกกำจัดออกด้วยพู่กันขนาดเล็ก จากนั้นฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง (Demi Plus, Kerr, USA) ความเข้มแสง 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็น เวลา 40 วินาที จากนั้นชิ้นงานทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5 : ภาพแสดงเทปกาวที่ถูกเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.38 mm



รูปที่ 6 : ภาพแสดงขั้นตอนการยัดชิ้นงาน

6) กระบวนการเทอร์โมไซคลิง (Thermocycling)

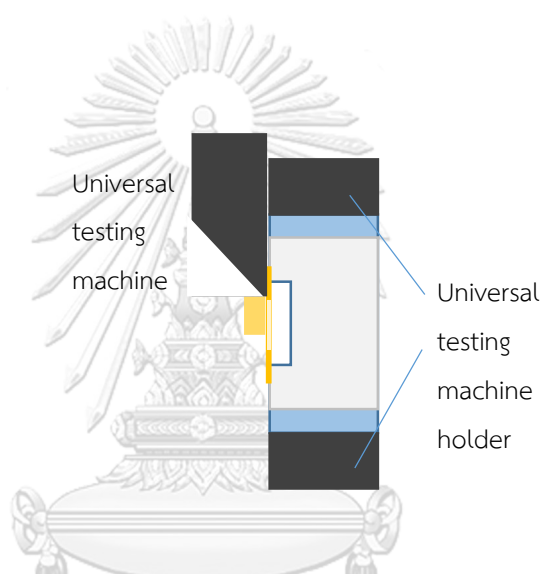
แช่สลับอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ด้วยระยะพัก 5 วินาที เป็นจำนวน 5,000 รอบ ด้วยเครื่องเทอร์โมไซคลิง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประเทศไทย)



รูปที่ 7 : แสดงกระบวนการเทอร์โมไซคลิง

7) การทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond strength test)

ชิ้นงานทั้งหมดถูกทดสอบวัดกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอโรโคเนียชนิดใส และเรซินซีเมนต์ ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (EZ-S, SHIMADZU, Japan) โดยใช้ใบมีดขอบเว้า (Notched-edge) ความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที ตาม ISO 29022:2013⁴⁶ โดยค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว (R) ได้จากการนำค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ทำให้วัสดุแยกจากกัน (F) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของเรซินซีเมนต์ที่สัมผัสกับเซอโรโคเนียชนิดใส (A) ดังนั้น สมการคือ $R = F/A$ ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล (Megapascal)



รูปที่ 8: แสดงกระบวนการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว

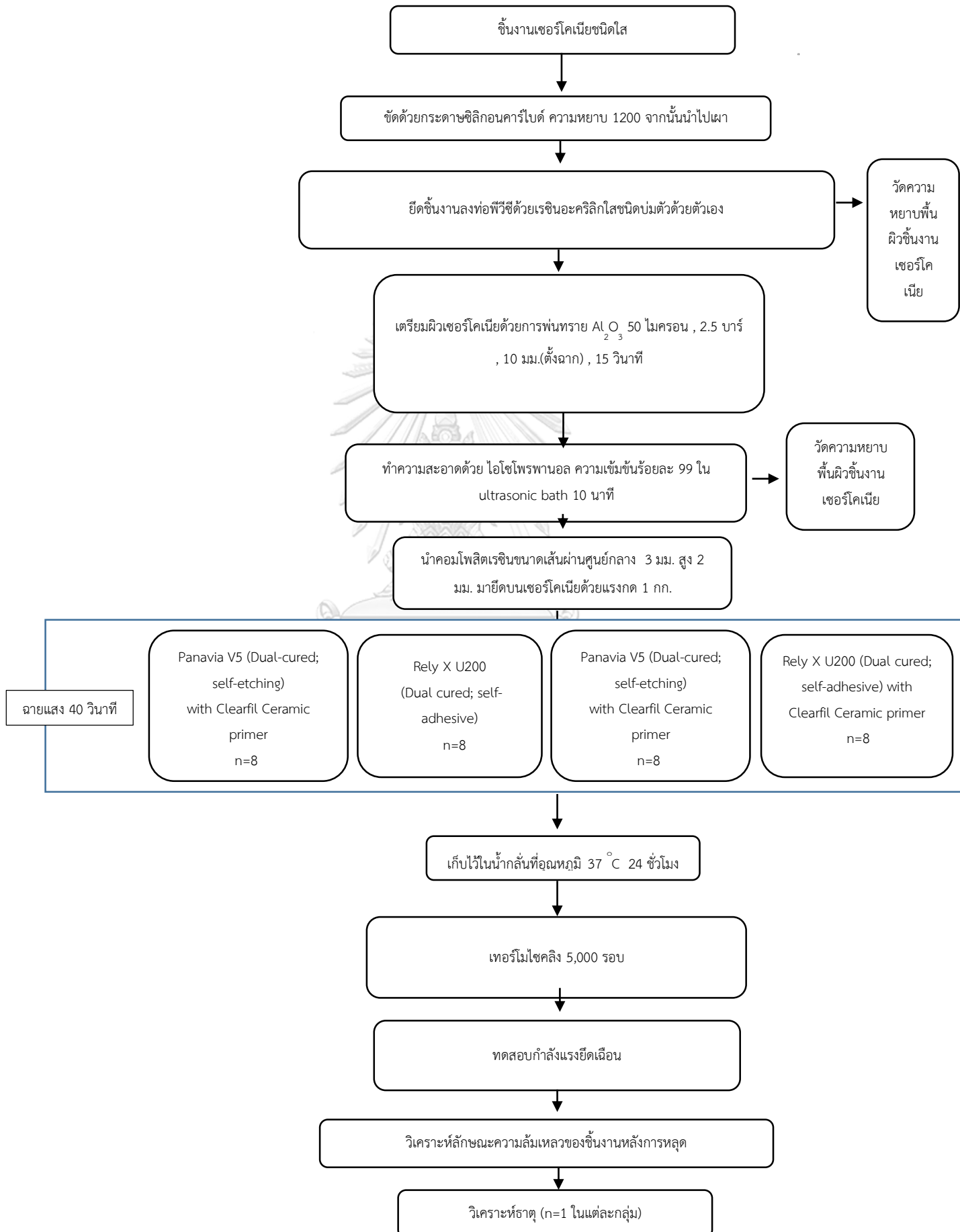
8) การศึกษารูปแบบความล้มเหลว (Mode of failure analysis)

เซอร์โคเนียชนิดใสที่ทดสอบการยึดจนวัสดุหลุดออกจากกันแล้ว ถูกสังเกตรูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)(FEI Quanta 250) ที่กำลังขยาย 50 เท่า และ 2,000 เท่า เพื่อแสดงภาพ และบอกรูปแบบความล้มเหลว โดยแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ การยึดไม่อยู่ (Adhesive) การเชื่อมแน่นล้มเหลว (Cohesive) และ การล้มเหลวแบบผสมทั้งแบบการยึดไม่อยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว (Mixed failure) และหากตรวจพบสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนียชิ้นงาน 1 ชิ้นในแต่ละกลุ่มจะถูกเลือกนำมาวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis; EDS) เพื่อบ่งชี้ชนิดของธาตุตกค้าง

9) สถิติที่ใช้ทดสอบ (Statistical analysis)

ค่ากำลังแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซินภายหลังชิ้นงานหลุดออกจากกันแล้วถูกนำมาทดสอบการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (Normality test) ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk และถูกนำมาคำนวณด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทูกีย์ (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (SPSS version 22.0, SPSS Inc., USA)

ขั้นตอนการวิจัยโดยสรุป (Study process in conclusion)



กรอบเวลาดำเนินงานวิจัย (Timeline of the experiment)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2561		2562			2563	
	ส.ค.-จ.ค.	ม.ค.-มิ.ย.	ก.ค.-ส.ค.	ก.ย.-จ.ค.	ม.ค.-มิ.ค.	เม.ย.-มิ.ย.	
1. ขั้นตอนเตรียมการ							
- การทบทวนวรรณกรรม							
- เขียนโครงร่างงานวิจัย							
- การศึกษานำร่อง							
2. เสนอโครงร่างวิจัย							
3. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล							
- เลือกลุ่มตัวอย่าง							
- ดำเนินการทดลอง							
4. วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล							
5. รายงานผลการศึกษา							
6. นำเสนอ และเขียนบทความวิจัย							

บทที่ 4

ผลการวิจัย

(Result)

ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซินภายหลังขึ้นงานหลุดออกจากกันแล้วถูกนำมาทดสอบการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (Normality test) ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าข้อมูลค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ ($p \geq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2. สถิติเชิงพรรณนาของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มทดลองหลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงแล้วนั้นถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3. ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเรซินซีเมนต์กลุ่มที่ 1 PANA VIA™ V5 (PAN) กลุ่มที่ 2 Rely X™ U200 (RXU) กลุ่มที่ 3 PANA VIA™ V5 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (PAN-C) และกลุ่มที่ 4 Rely X™ U200 ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (RXU-C) ซึ่งมีค่า 0.72 ± 0.31 , 1.33 ± 0.18 , 1.38 ± 0.39 และ 1.28 ± 0.26 เมกะพาสคาล ตามลำดับ จากนั้นข้อมูลค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่มีการแจกแจงแบบปกตินี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทุกีย์ (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (SPSS version 22.0, SPSS Inc., USA) ดังแสดงในตารางที่ 4. และ 5. จากตารางค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าเท่ากัน ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงสามารถใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และการทดสอบชนิดทุกีย์ (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) มาใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้ โดยพบว่าสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) แสดงความแตกต่างของข้อมูลกำลังแรงยึดเหนี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทุกีย์ (Tukey's post hoc test) แล้วพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 (PAN) มีความแตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3, และ 4 (RXU, PAN-C และ RXU-C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ กลุ่มที่ 2, 3, และ 4 (RXU, PAN-C และ RXU-C) ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม PAN RXU

PAN-C และ RXU-C หลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซดลิ่งรวมทั้งจำนวนรูปแบบความล้มเหลวถูกแสดงไว้ในตารางที่ 6. และรูปที่ 9. แสดงแผนภูมิแท่งของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์กลุ่ม PAN RXU PAN-C และ RXU-C บนผิวเซอโรโคเนียชนิดใส โดยกลุ่ม PAN-C มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงที่สุด (1.38 ± 0.39 เมกะพาสคาล) ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่ม PAN มีค่าน้อยที่สุด (0.72 ± 0.31 เมกะพาสคาล) และมีค่าต่ำกว่ากลุ่ม RXU PAN-C และ RXU-C (1.33 ± 0.18 , 1.38 ± 0.39 และ 1.28 ± 0.26 26 เมกะพาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่ม RXU PAN-C และ RXU-C ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพตัวอย่างพื้นผิวเซอโรโคเนียชนิดใสในแต่ละกลุ่มจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 และ 2,000 เท่า และการวิเคราะห์ธาตุบนผิวเซอโรโคเนียชนิดใสในแต่ละกลุ่มถูกแสดงไว้ในรูปที่ 10. จากการสังเกตรูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเรซินซีเมนต์บนพื้นผิวของเซอโรโคเนียชนิดใสแสดงความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ ยกเว้นกลุ่ม PAN-C ที่สังเกตความล้มเหลวได้เป็นแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวจำนวน 2 ชิ้นร่วมด้วยโดยที่เหลืออีก 6 ชิ้นเป็นแบบการยึดไม่อยู่ ในขณะที่เมื่อสังเกตที่กำลังขยาย 2,000 เท่าพบว่าบนพื้นผิวของเซอโรโคเนียชนิดใสนั้นพบกลุ่มก้อนของสิ่งตกค้างบนพื้นผิวในลักษณะกระจายตัวกันเป็นหย่อม จากการวิเคราะห์ธาตุจากสิ่งตกค้างที่เหลืออยู่บนผิวของเซอโรโคเนียชนิดใส นั้นพบว่า สิ่งตกค้างมีองค์ประกอบของธาตุ เซอโรโคเนียม (Zr) ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) อะลูมิเนียม (Al) และแบเรียม (Ba) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของธาตุที่พบได้ใน เรซินซีเมนต์ที่นำมาใช้ในแต่ละกลุ่มทดลอง ตามส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์ที่แสดงในตารางที่ 1. โดยกลุ่ม PAN พบธาตุ เซอโรโคเนียม (Zr) ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) และโซเดียม (Na) ร้อยละ 47.3, 22.5, 12.7, 8.9 และ 3.2 ตามลำดับตรงตำแหน่งที่พบสิ่งตกค้าง ซึ่งแตกต่างจากบริเวณที่ไม่พบสิ่งตกค้างซึ่งพบธาตุ เซอโรโคเนียม (Zr) คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) อิทเทรียม (Y) และรูบิเดียม (Rb) ร้อยละ 66.3 14.9 11.7 5.9 และ 1.2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11. กลุ่ม RXU พบธาตุ เซอโรโคเนียม (Zr) ออกซิเจน (O) ซิลิกอน (Si) คาร์บอน (C) และโซเดียม (Na) ร้อยละ 32.8, 24.6, 17.3, 15.8 และ 4.5 ตามลำดับตรงตำแหน่งที่พบสิ่งตกค้าง ซึ่งแตกต่างจากบริเวณที่ไม่พบสิ่งตกค้างซึ่งพบธาตุ เซอโรโคเนียม (Zr) คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) และรูบิเดียม (Rb) ร้อยละ 63.2 21.8 11.2 และ 3.5 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 12. กลุ่ม PAN-C พบธาตุ ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) แบเรียม (Ba) และเซอโรโคเนียม (Zr) ร้อยละ 52.4, 35.8, 6.0, 3.1, 2.0 และ 0.6 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10. และกลุ่ม RXU-C พบธาตุ เซอโรโคเนียม

(Zr) ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) ไนโอเบียม (Nb) และซิลิกอน (Si) ร้อยละ 33.9, 22.2, 11.9, 11.4 และ 11.3 ตามลำดับตรงตำแหน่งที่พบสิ่งตกค้าง ซึ่งแตกต่างจากบริเวณที่ไม่พบสิ่งตกค้างซึ่งพบธาตุเซอร์โคเนียม (Zr) คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) อิทเทรียม (Y) และรูบิเดียม (Rb) ร้อยละ 60.1 17.7 13.3 4.7 และ 3.5 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 13. ทำให้จัดรูปแบบความล้มเหลวของเรซินซีเมนต์ที่ปรากฏสิ่งตกค้างบนพื้นผิวได้เป็นแบบผสม เมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า กลุ่ม PAN จึงแสดงความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ จำนวน 2 ชั้น และแบบผสม 6 ชั้น กลุ่ม RXU และ RXU-C แสดงรูปแบบการล้มเหลวแบบผสมทั้งหมดทุกชั้น และกลุ่ม PAN-C เป็นเพียงกลุ่มเดียวที่แสดงความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวจำนวน 2 ชั้น และแบบผสมจำนวน 6 ชั้นดังแสดงในตารางที่ 6. นอกจากนี้จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเรซินซีเมนต์ที่ติดอยู่บนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสที่แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมในกลุ่ม PAN RXU PAN-C และ RXU-C เมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า นั้นพบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.44 ± 3.56 , 35.23 ± 6.96 , 48.56 ± 9.44 และ 45.27 ± 12.89 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7. และแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่งดังรูปที่ 14.

ตารางที่ 2. แสดงการทดสอบการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (Normality test) ของค่ากำลังแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน

Tests of Normality							
	resin cement	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SBS	1	.210	8	.200*	.919	8	.421
	2	.150	8	.200*	.934	8	.554
	3	.197	8	.200*	.852	8	.099
	4	.173	8	.200*	.958	8	.788
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

ตารางที่ 3. สถิติเชิงพรรณนาของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มบนเซอรโคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน

Descriptives					
	resin cement		Statistic	Std. Error	
SBS	1	Mean	.7238600	.10799891	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.4684832	
			Upper Bound	.9792368	
		5% Trimmed Mean		.7379478	
		Median		.7288500	
		Variance		.093	
		Std. Deviation		.30546705	
		Minimum		.11520	
		Maximum		1.07894	
		Range		.96374	
		Interquartile Range		.40067	
		Skewness		-.999	.752
		Kurtosis		1.542	1.481
		2	Mean	1.3300613	.06225668
	95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	1.1828476	
			Upper Bound	1.4772749	
	5% Trimmed Mean		1.3245586		
	Median		1.3011900		
	Variance		.031		
	Std. Deviation		.17608848		
	Minimum		1.13514		
	Maximum		1.62403		
	Range		.48889		
	Interquartile Range		.33239		
Skewness		.594	.752		
Kurtosis		-.689	1.481		

3	Mean		1.3830250	.13783079
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	1.0571070	
		Upper Bound	1.7089430	
	5% Trimmed Mean		1.3708572	
	Median		1.2514600	
	Variance		.152	
	Std. Deviation		.38984433	
	Minimum		1.01432	
	Maximum		1.97075	
	Range		.95643	
	Interquartile Range		.75231	
	Skewness		.531	.752
	Kurtosis		-1.728	1.481
	4	Mean		1.2824363
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	1.0610063	
		Upper Bound	1.5038662	
5% Trimmed Mean			1.2781047	
Median			1.3113100	
Variance			.070	
Std. Deviation			.26486178	
Minimum			.90979	
Maximum			1.73305	
Range			.82326	
Interquartile Range			.38142	
Skewness			.212	.752
Kurtosis			-.135	1.481

ตารางที่ 4. แสดงการทดสอบ Homogeneity of Variances และสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน

Test of Homogeneity of Variances			
SBS			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.306	3	28	.098

ANOVA					
SBS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.258	3	.753	8.691	.000
Within Groups	2.425	28	.087		
Total	4.683	31			

Robust Tests of Equality of Means				
SBS				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	7.977	3	14.930	.002
a. Asymptotically F distributed.				

ตารางที่ 5. แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทูกีย์ (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

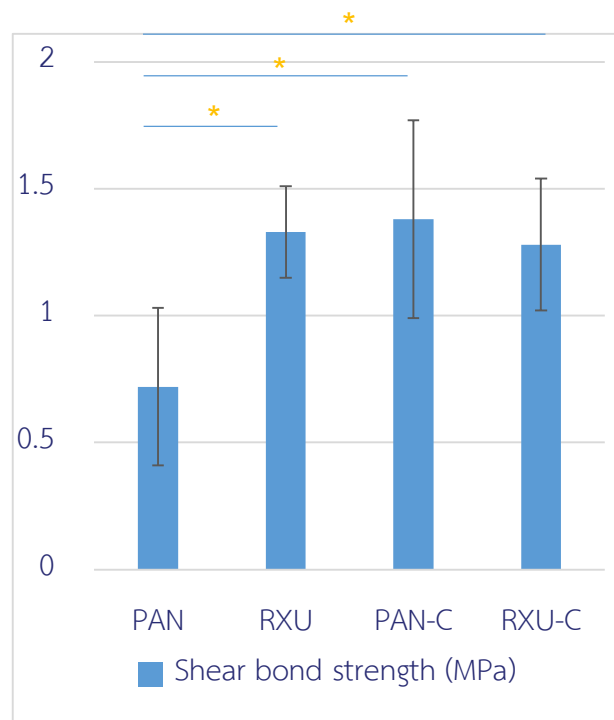
Post Hoc tests

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: SBS							
	(I) resin cement	(J) resin cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-.60620125*	.14714951	.002	-1.0079653	-.2044372
		3	-.65916500*	.14714951	.001	-1.0609290	-.2574010
		4	-.55857625*	.14714951	.004	-.9603403	-.1568122
	2	1	.60620125*	.14714951	.002	.2044372	1.0079653
		3	-.05296375	.14714951	.984	-.4547278	.3488003
		4	.04762500	.14714951	.988	-.3541390	.4493890
	3	1	.65916500*	.14714951	.001	.2574010	1.0609290
		2	-.05296375	.14714951	.984	-.3488003	.4547278
		4	.10058875	.14714951	.902	-.3011753	.5023528
	4	1	.55857625*	.14714951	.004	.1568122	.9603403
		2	-.04762500	.14714951	.988	-.4493890	.3541390
		3	-.10058875	.14714951	.902	-.5023528	.3011753
Games-Howell	1	2	-.60620125*	.12465817	.002	-.9803279	-.2320746
		3	-.65916500*	.17510309	.011	-1.1718237	-.1465063
		4	-.55857625*	.14294312	.008	-.9751090	-.1420435
	2	1	.60620125*	.12465817	.002	.2320746	.9803279
		3	-.05296375	.15123895	.984	-.5178829	.4119554
		4	.04762500	.11244938	.973	-.2855046	.3807546
	3	1	.65916500*	.17510309	.011	.1465063	1.1718237
		2	.05296375	.15123895	.984	-.4119554	.5178829
		4	.10058875	.16663222	.929	-.3921724	.5933499
	4	1	.55857625*	.14294312	.008	.1420435	.9751090
		2	-.04762500	.11244938	.973	-.3807546	.2855046

		3	-.10058875	.16663222	.929	-.5933499	.3921724
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.							

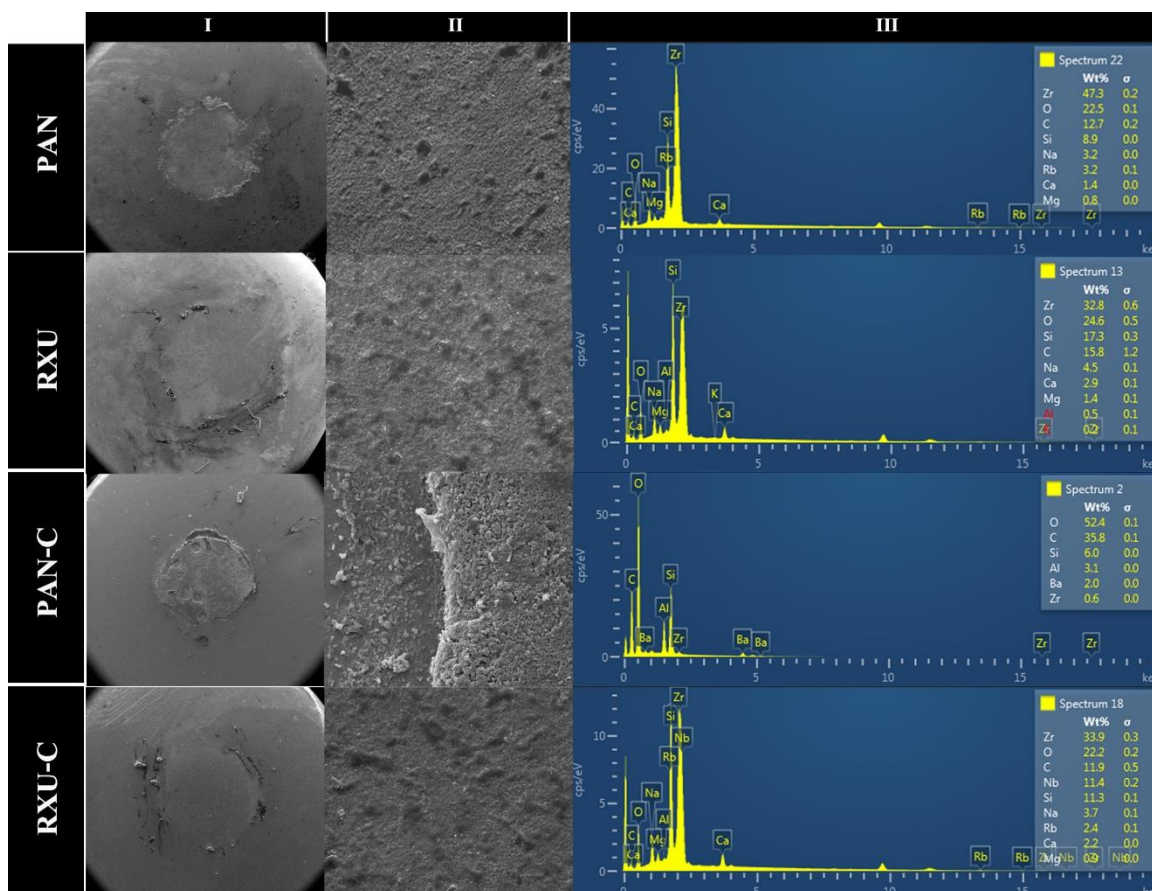
ตารางที่ 6. ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรูปแบบความล้มเหลวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่ม เมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 2,000 เท่า

เรซินซีเมนต์ และไพรเมอร์	ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมกะพาสคาล)	รูปแบบความล้มเหลว (ชิ้นงาน)		
		การยึดไม่ อยู่	เชื่อมแน่น ล้มเหลว	แบบ ผสม
PAN	0.72 ± 0.31^a	2	0	6
RXU	1.33 ± 0.18^b	0	0	8
PAN-C	1.38 ± 0.39^b	0	2	6
RXU-C	1.28 ± 0.26^b	0	0	8
ตัวอักษรเดียวกันแสดงถึงการไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$)				



* แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

รูปที่ 9. แผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์กลุ่ม PAN RXU PAN-C และ RXU-C บนผิวเซอร์โคเนียชนิดใส

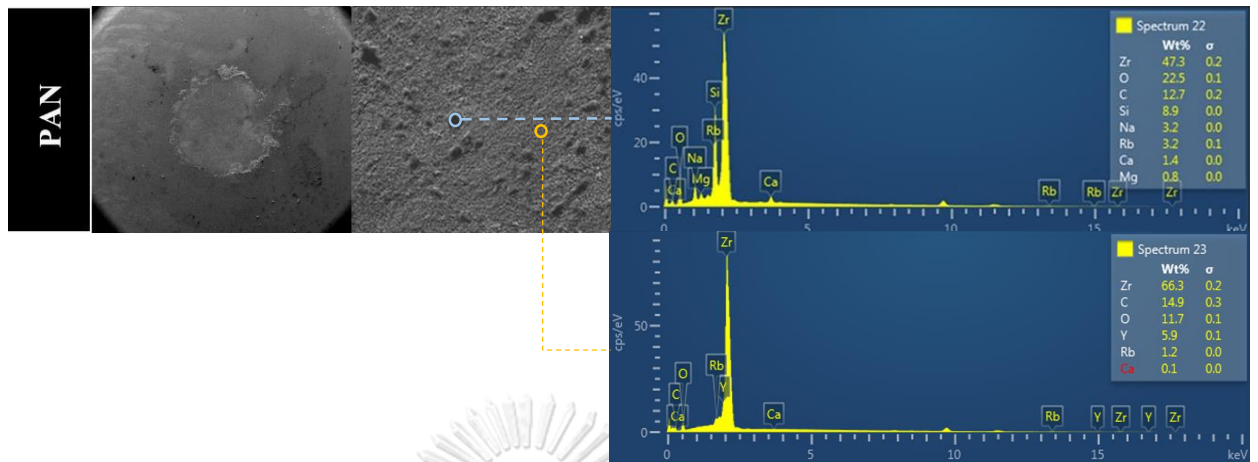


รูปที่ 10. แสดงรูปภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียชนิดใสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่ม PAN RXU PAN-C และRXU-C

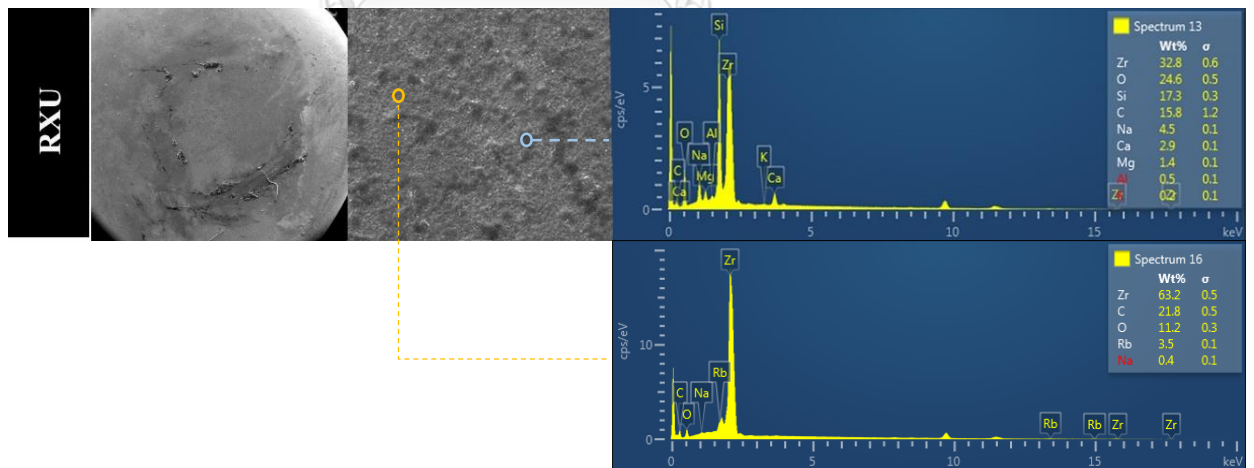
I:รูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า

II:รูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

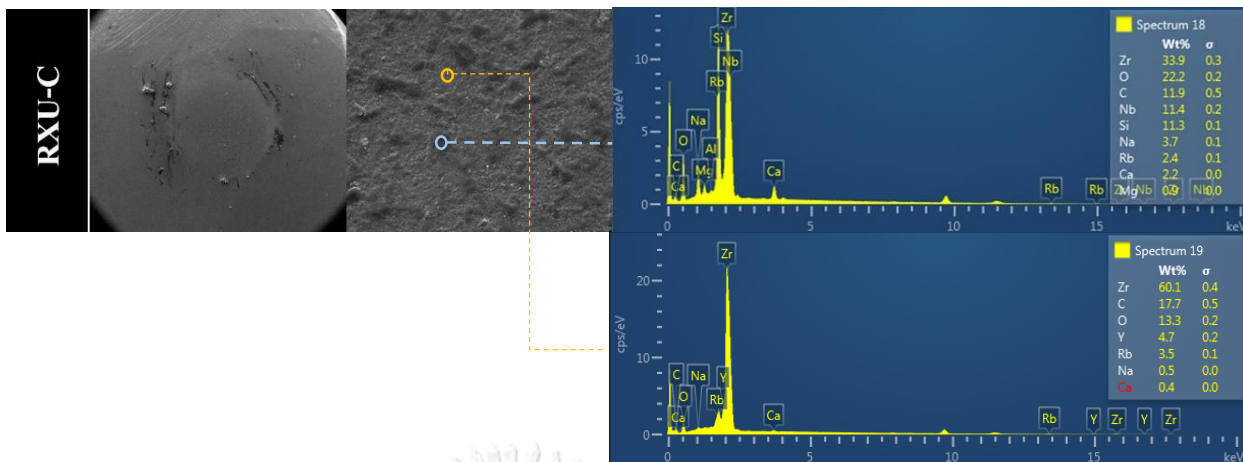
III:แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis ; EDS)



รูปที่ 11. แสดงรูปภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียชนิดใสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่ม PAN เปรียบเทียบชนิดของธาตุที่ตรวจพบด้วยการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis ; EDS) จากตำแหน่งที่มีสิ่งตกค้าง (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีฟ้า) และตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนีย (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีส้ม)



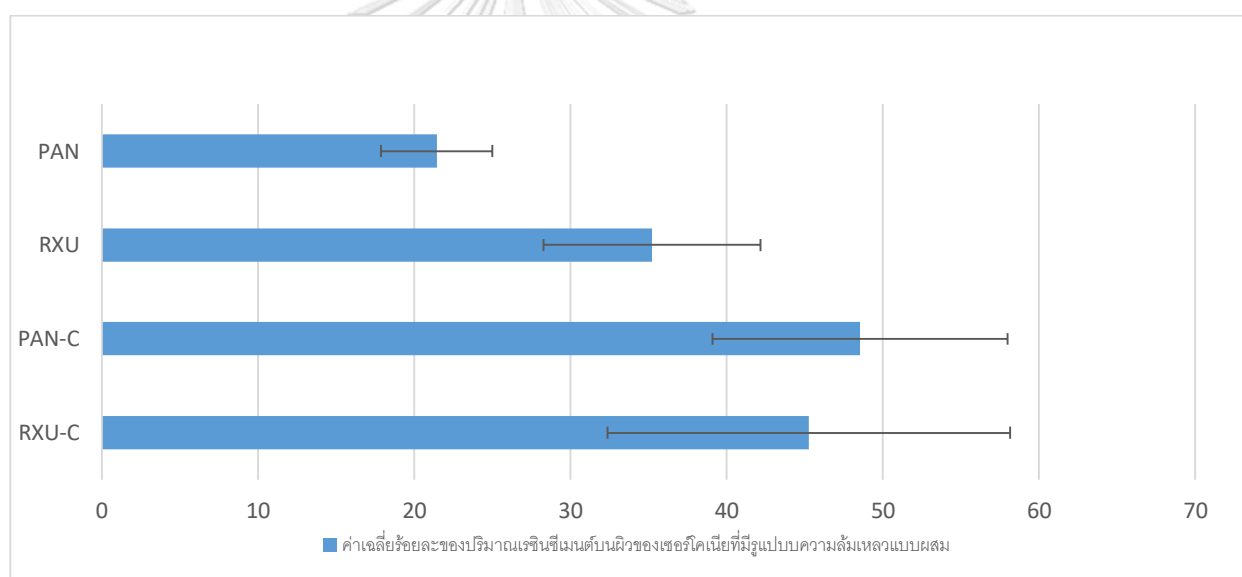
รูปที่ 12. แสดงรูปภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียชนิดใสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่ม RXU เปรียบเทียบชนิดของธาตุที่ตรวจพบด้วยการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis ; EDS) จากตำแหน่งที่มีสิ่งตกค้าง (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีฟ้า) และตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนีย (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีส้ม)



รูปที่ 13. แสดงรูปภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียชนิดใสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่ม RXU-C เปรียบเทียบชนิดของธาตุที่ตรวจพบด้วยการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis ; EDS) จากตำแหน่งที่มีสิ่งตกค้าง (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีฟ้า) และตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนีย (แสดงด้วยวงกลม และเส้นสีส้ม)

ตารางที่ 7. ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสที่แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมซึ่งสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 2,000 เท่า

เรซินซีเมนต์ และไพรเมอร์	จำนวนชิ้นงานที่แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสม (ชิ้นงาน)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใส
PAN	6	21.44 ± 3.56
RXU	8	35.23±6.96
PAN-C	6	48.56±9.44
RXU-C	8	45.27±12.89



รูปที่ 14. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสที่แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมในกลุ่ม PAN RXU PAN-C และ RXU-C

บทที่ 5

การอภิปรายผล

(Discussion)

จากผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสกับต่อคอมโพสิตเรซินภายหลังกระบวนการเทอร์โมไซคลิงแล้วนั้น พบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่ม RXU PAN-C และ RXU-C มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง แต่อย่างไรก็ตามค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียชนิดใสกับเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตนั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดที่ไม่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ โดยในการศึกษานี้พบว่ากลุ่ม PANA VIA™ V5 ที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (PAN) ซึ่งถือเป็นกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบนั้นแสดงค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นการสนับสนุนว่าการใช้เรซินซีเมนต์ หรือไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบนั้นสามารถช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดให้กับเรซินซีเมนต์บนผิวเซอร์โคเนียชนิดใสได้ โดยจากการศึกษานี้ที่พบว่าการทา Clearfil ceramic primer plus ซึ่งเป็นเอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer) สามารถช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวให้กับ PANA VIA™ V5 ได้เนื่องจาก PANA VIA™ V5 เป็นเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีองค์ประกอบเป็นสารจำพวก บิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) และไม่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบอยู่ในตัววัสดุเอง ดังแสดงในตารางที่ 1. ทำให้การยึดของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้กับเซอร์โคเนียไม่ดีพอ ดังนั้นการใช้ไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบมาใช้ร่วมด้วยจึงมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดกำลังแรงยึดที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Llerena-Icochea และคณะในปี ค.ศ.2017 ที่แสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์ชนิดที่ไม่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบนั้น ให้ค่ากำลังแรงยึดที่ไม่ดีกับวัสดุเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี²²เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Kern และคณะในปี ค.ศ.2009¹⁹ และการศึกษาของ Kern และ Wegner¹⁶ ในปี ค.ศ.1998 ที่พบว่าหากไม่ได้มีการใช้ไพรเมอร์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ หรือเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของฟอสเฟตมอนอเมอร์แล้วนั้น ถึงแม้จะมีการพ่นทรายด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ในการเตรียมผิวเซอร์โคเนีย ค่ากำลังแรงยึดที่ปรากฏออกมานั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่ากลุ่มที่มีการใช้ฟอสเฟตมอนอเมอร์ร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกลุ่มที่เก็บไว้สภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำระยะสั้น และระยะยาว อีกทั้งค่ากำลังแรงยึดนี้ก็ไม่มีเพียงพอที่จะ

สามารถยึดกับวัสดุเซอริโคเนียได้อย่างคงทนหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงแล้วเช่นเดียวกัน^{20, 21} ผลของงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Le และคณะในปี ค.ศ.2019 ที่รายงานว่า การเตรียมผิวเซอริโคเนียชนิดใสด้วยการพ่นทรายร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบนั้น ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ดีและคงทน⁴⁸ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Yagawa และคณะ ในปี ค.ศ.2018 ที่พบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับเอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer) บนเซอริโคเนียชนิดใสมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้เอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer) ทั้งก่อน และหลังกระบวนการเทอร์โมไซคลิงอย่างมีนัยสำคัญ⁴⁴ โดยการยึดติดที่ดีของเรซินซีเมนต์ หรือไพรเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตนี้เป็นผลมาจากการเกิดการพันธะทางเคมีระหว่าง หมู่ P-OH ซึ่งอยู่ในฟอสเฟตมอนอเมอร์ กับหมู่ Zr-OH ที่ผิวของเซอริโคเนีย⁴² จะเห็นได้ว่าจากหลายการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยฟอสเฟตมอนอเมอร์ เช่น เอ็มดีพี (MDP) หรือใช้ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) สามารถช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวให้กับเซอริโคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP)^{16, 17, 20-22} และเซอริโคเนียชนิดใสได้^{44, 48} เช่นเดียวกันกับเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดฟอสเฟตเมทาคริลเอสเตอร์ (Phosphate methacrylate ester) เป็นส่วนประกอบที่มีรายงานว่าสามารถให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ดีกับเซอริโคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) ได้^{23, 24} นอกจากนี้ค่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีเอ็มดีพี (MDP) และเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (phosphoric methacrylate ester) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตที่ต่างชนิดกันนั้น กับเซอริโคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) ยังแสดงค่ากำลังแรงยึดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย^{26, 27} ซึ่งผลดังกล่าวช่วยสนับสนุนผลของงานวิจัยนี้ที่ไม่พบความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) เป็นฟอสเฟตมอนอเมอร์ และเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (phosphoric methacrylate ester) เป็นฟอสเฟตมอนอเมอร์ อย่างไรก็ตามผลของงานวิจัยนี้แตกต่างกับการศึกษาของ Lee และคณะ ซึ่งรายงานว่าเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) จะให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (Phosphoric methacrylate ester) เป็นส่วนประกอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ²³

การศึกษานี้ยังพบว่า การทาสาร Clearfil ceramic primer plus ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของ เอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer) เพิ่มก่อนการยึดวัสดุเซอริโคเนียชนิดใสด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดที่ประกอบด้วยฟอสเฟตมอนอเมอร์กลุ่มฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (Phosphoric methacrylate ester) อยู่แล้วนั้นไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดเหนี่ยวบนเซอริโคเนียชนิดใส ซึ่งจากตารางที่ 6. และรูปที่ 9. จะพบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่ม RXU และ RXU-C ที่ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเรซินซีเมนต์ชนิดดังกล่าวมีฟอสเฟตมอนอเมอร์ซึ่งในที่นี้คือ ฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (Phosphoric methacrylate ester) ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันคือ หมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่แล้วในปริมาณที่เพียงพอ ทำให้การทาไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) ใน

กลุ่ม Rely X™ U200 เพิ่มเติมไม่ได้ช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึด สอดคล้องกับ Passia และคณะซึ่งรายงานว่าการทาสารยึดติดแบบยูนิเวอร์ซอล (Universal adhesive) ซึ่งมีเอ็มดีพี (MDP) เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยนั้นไม่ได้ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์กลุ่ม ฟอสฟอริกเมทาคริเลทเอสเทอร์ (Phosphoric methacrylate ester) มีค่าสูงขึ้น²⁷ ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันแล้วว่าการยึดติดทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตกับผิวเซอร์โคเนีย นั้น เกิดจากหมู่ P-OH ซึ่งเป็นหมู่ที่พบทั้งในโครงสร้างของเอ็มดีพี (MDP) และ ฟอสฟอริกเมทาคริเลทเอสเทอร์ (Phosphoric methacrylate ester) กับหมู่ Zr-OH บนผิวของเซอร์โคเนีย^{20, 42} ร่วมกันสร้างพันธะเคมีขึ้น การทา Clearfil ceramic primer plus ซึ่งเป็นเอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer) อาจช่วยเพิ่มปริมาณหมู่ P-OH ที่พร้อมเกิดพันธะให้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหมู่ Zr-OH ที่ผิวเซอร์โคเนีย นั้นยังคงมีปริมาณเท่าเดิม ดังนั้นการยึดติดทางเคมีที่เกิดขึ้นจึงเกิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ระหว่างกลุ่ม Rely X™ U200 (RXU) และ Rely X™ U200 ที่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus (RXU-C) ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการสังเกตรูปแบบความลึมหollowบนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสหลังการแยกออกจากคอมโพสิตเรซิน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 และ 2,000 เท่า ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุ ดังแสดงในรูปที่ 10. แล้วนั้นพบว่า ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า มีสิ่งตกค้างที่ผิวของชิ้นงานเซอร์โคเนียทุกกลุ่มในลักษณะเป็นหย่อมกระจายกัน และจากการวิเคราะห์ธาตุพบว่าสิ่งตกค้างดังกล่าวมีองค์ประกอบของธาตุที่ตรงกับองค์ประกอบของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นรูปแบบความลึมหollowของเรซินซีเมนต์ต่อเซอร์โคเนียชนิดใส ในลักษณะนี้อาจจัดเป็นความลึมหollowรูปแบบผสม ถึงแม้ว่าที่กำลังขยาย 50 เท่า ชิ้นงานเกือบทั้งหมดจะสังเกตรูปแบบความลึมหollowเป็นแบบยึดไม่อยู่ก็ตาม โดยกลุ่ม PAN เป็นเพียงกลุ่มเดียวที่มีชิ้นงานแสดงความลึมหollowแบบการยึดไม่อยู่ร่วมกับแบบผสม และมีเพียงกลุ่ม PAN -C ที่พบรูปแบบการเชื่อมแน่นลึมหollowร่วมกับแบบผสม โดยการสังเกตรูปแบบความลึมหollowจากรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ามีหลากหลายของทั้งเครื่องมือ และ กำลังขยายที่ใช้โดย Mirmohammadi และคณะ สังเกตความลึมหollowของเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) เป็นหมู่ฟังก์ชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (optical microscope) ที่กำลังขยาย 30 เท่า พบว่าความลึมหollowส่วนใหญ่เป็นแบบเชื่อมแน่นลึมหollow ในขณะที่เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาคริเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) เป็นหมู่ฟังก์ชันแสดงความลึมหollowแบบยึดไม่อยู่ ซึ่งการที่เป็นรูปแบบลึมหollowแบบยึดไม่อยู่นี้ถูกอธิบายว่าอาจมาจากการที่เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้มักมีความหนืดมาก และมีอนุภาคเติม (filler) ขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติการไหลแผ่ที่ไม่ดี (poor wettability)²⁶ Grasel และคณะ สังเกตความลึมหollowด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า ซึ่งพบความลึมหollowทั้งแบบการยึดไม่อยู่ และ แบบเชื่อมแน่นลึมหollow โดยพบความเชื่อมแน่นลึมหollowมากกว่าเล็กน้อย ซึ่ง

ทั้งนี้รูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากความเปราะของตัววัสดุเรซินซีเมนต์เอง¹⁸ ในขณะที่ Lee และคณะ ซึ่งสังเกตความล้มเหลวภายหลังกระบวนการเมอร์โมไซคลิงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่าพบว่าเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์นั้นจะแสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว ถึงแม้ว่ารูปแบบความล้มเหลวเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะแสดงเป็นรูปแบบการยึดไม่อยู่ก็ตาม²³ Da Silva และคณะ ดู stereomicroscope กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า หลังการเก็บชิ้นงานไว้ในน้ำเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่ารูปแบบความล้มเหลวที่สังเกตได้เป็นแบบยึดไม่อยู่ ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบความล้มเหลวที่สังเกตได้ในกลุ่มที่เก็บไว้ในน้ำเพียง 24 ชั่วโมงหลังการยึดติดที่สังเกตรูปแบบความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวได้เป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าเรซินซีเมนต์นี้จะเป็นกลุ่มที่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบก็ตาม ซึ่งรูปแบบความล้มเหลวที่สังเกตได้นี้ อาจแสดงให้เห็นว่าการยึดติดของเรซินซีเมนต์บนผิวเซอโรโคเนียนี้อาจไม่แข็งแรงพอที่จะต้านผลของการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis effect) ได้⁴⁹

จากการสังเกตรูปแบบความล้มเหลวในงานวิจัยของผู้วิจัยนี้ ซึ่งพบว่าชิ้นงานส่วนใหญ่แสดงรูปแบบความล้มเหลวเป็นแบบผสมเมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า อาจสามารถอธิบายได้ว่า การเตรียมผิวด้วยการฟันททรายร่วมกับการใช้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันมีผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดของเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอโรโคเนียชนิดใส โดยไม่ขึ้นกับชนิดของฟอสเฟตมอนอเมอร์ ทั้งนี้จากค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเรซินซีเมนต์ที่หลุดตกค้างบนผิวของเซอโรโคเนียชนิดใส ดังแสดงในตารางที่ 7. และรูปที่ 14. จะพบว่าระหว่างกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของฟอสเฟตมอนอเมอร์ทั้งสามกลุ่มนั้น กลุ่ม PAN-C และ RXU-C แสดงค่าร้อยละของเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอโรโคเนียชนิดใสสูงกว่ากลุ่ม RXU ซึ่งอาจเนื่องมาจาก PAN-C และ RXU-C เป็นกลุ่มที่มีการใช้ไพรเมอร์ (primer) ซึ่งอาจมีส่วนช่วยให้สมบัติการไหลแผ่ (wettability) ของเรซินซีเมนต์บนผิวของเซอโรโคเนียชนิดใสนั้นดีมากขึ้นจึงทำให้เรซินซีเมนต์สามารถยึดกับผิวของเซอโรโคเนียได้ในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้โดยกลุ่ม RXU PAN-C และ RXU-C แสดงแนวโน้มการยึดติดที่มากกว่ากลุ่ม PAN ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์กลุ่มที่ไม่มีฟอสเฟตมอนอเมอร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งแสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ร่วมกับแบบผสม โดยในชิ้นที่มีรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมนั้นเรซินซีเมนต์ที่หลุดติดอยู่บนผิวเซอโรโคเนียชนิดใสของกลุ่ม PAN อาจมาจากการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention) ที่เกิดขึ้นจากการเตรียมผิวโดยการฟันททรายก่อนกระบวนการยึดชิ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์ อย่างไรก็ตามรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมและรูปแบบความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวที่สังเกตได้นั้นอาจเป็นผลมาจากความอ่อนแอในเนื้อของวัสดุเรซินซีเมนต์เองก็เป็นได้ อันเนื่องจากการศึกษานี้ได้มีกระบวนการเทอร์โมไซคลิงเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการทดลอง โดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิงนี้ เป็นกระบวนการที่มีน้ำ และการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเชื่อมตัวของวัสดุจำพวกเรซิน เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการทำลายพันธะระหว่างตัวเติม (filler) และเมทริกซ์ (matrix) ได้⁵⁰ อีกปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดรูปแบบความล้มเหลวแบบผสม และรูปแบบความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวจากความอ่อนแอของวัสดุเรซินซีเมนต์ ก็คือปัจจัยเรื่องความสมบูรณ์ในการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ เนื่องจากเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ (Dual-cured) ดังนั้นรูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากการบ่มตัวที่ไม่สมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์อันเนื่องมาจากการบ่มตัวบางส่วนที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายแสง ทำให้เรซินซีเมนต์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปรบกวนกระบวนการบ่มตัวด้วยตัวเองของมอนอเมอร์ส่วนที่เหลืออยู่ในเรซินซีเมนต์ การบ่มตัวที่ไม่สมบูรณ์นี้เองส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติทางกลที่แย่ง อันเป็นผลให้วัสดุไม่แข็งแรงและแตกหักง่าย⁵¹ นอกจากนี้การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของฟอสเฟตมอนอเมอร์บนผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสก็อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบความล้มเหลวดังกล่าวได้อีกด้วย ทั้งนี้ในการศึกษานี้ได้การควบคุมพื้นที่ยึดติดเป็นพื้นที่ 2.38 มิลลิเมตร ตาม ISO 29022:2013⁴⁶ และควบคุมความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์เพียง 50 ไมโครเมตร ตาม ISO 4049:2009⁴⁷ ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเรซินซีเมนต์ได้ตลอดพื้นที่การยึดติดจากกระบวนการเทอร์โมไซคลิกที่ทำภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สลับร้อนเย็น จึงอาจทำให้การแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis effect) เกิดได้มาก และง่ายขึ้น เกิดการทำลายพันธะยึดติดได้เพิ่มมากขึ้น อันส่งผลให้เกิดความเสื่อมของวัสดุเรซินซีเมนต์ และนำไปสู่การยึดติดที่ล้มเหลวของชิ้นงานในรูปแบบผสม และเชื่อมแน่นล้มเหลวได้ ซึ่งในการศึกษานี้กระบวนการเทอร์โมไซคลิกถูกเลือกใช้เพื่อจำลองการเสื่อมของวัสดุในสภาวะช่องปากอันเป็นภาวะที่มีอิทธิพลของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดย Ozcan และ Bernasconi แนะนำว่าในการจำลองสภาวะในช่องปากควรใช้กระบวนการเทอร์โมไซคลิกจำนวนอย่างน้อย 5,000 รอบ⁵² ภายใต้ข้อจำกัดในปัจจุบันที่ยังไม่มีการศึกษาใดสามารถบอกถึงจำนวนรอบที่ชัดเจนของการจำลองความเสื่อมในห้องปฏิบัติการที่สามารถเทียบเท่าได้กับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากมนุษย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กระบวนการเทอร์โมไซคลิกจำนวน 5,000 รอบมาใช้เพื่อจำลองความเสื่อมก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว โดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก 5,000 รอบนั้น อาจเทียบเท่าได้กับสภาวะแวดล้อมในช่องปากเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตามการประมาณของ Gale และ Darvell ที่อนุมานว่ากระบวนการเทอร์โมไซคลิก 20-50 รอบนั้นอาจเทียบเท่าได้กับสภาวะในช่องปากเป็นเวลาหนึ่งวัน⁵³ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาการยึดของเซอร์โคเนียชนิดใสด้วยเรซินซีเมนต์ต่อคอมโพสิตเรซิน โดยไม่ได้นำฟันธรรมชาติมาศึกษาด้วย เนื่องจากในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัยที่ต้องการศึกษากำลังแรงยึดติดต่อผิวของวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสเท่านั้น การนำมาฟันธรรมชาติมายึดติดร่วมด้วย อาจเป็นปัจจัยรบกวนที่อาจทำให้ผลของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมีค่าที่บิดเบือนได้ เนื่องจาก

อิทธิพลจากกำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์กับโครงสร้างฟันธรรมชาติทั้งส่วนเคลือบฟัน และเนื้อฟัน ค่ากำลังแรงยึดที่แสดงหากมีการยึดร่วมกับฟันธรรมชาติจึงอาจไม่ใช่ ค่ากำลังแรงยึดที่เรซินซีเมนต์กระทำต่อเซออร์โคเนียชนิดใสอย่างแท้จริง

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ศึกษาเรซินซีเมนต์และไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบเป็นสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันเพียงสองชนิด คือ เอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (phosphoric methacrylate ester) และศึกษาค่ากำลังแรงยึดบนวัสดุชนิดเดียวคือเซออร์โคเนียชนิดใส อันถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยต่อไปอาจศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ หรือไพรเมอร์ที่ประกอบด้วยสารฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดอื่นเพิ่มเติม รวมทั้งอาจศึกษาค่ากำลังแรงยึดดังกล่าวบนผิวของวัสดุบูรณะชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องกับงานทันตกรรมบูรณะเพิ่มเติมต่อไป



บทที่ 6
บทสรุป
(Conclusions)

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ สามารถให้ข้อสรุปได้ว่า PANAVIA™ V5 มีค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำที่สุดเมื่อไม่ได้ใช้ร่วมกับ ไพรเมอร์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) เป็นส่วนประกอบ และเป็นเพียงกลุ่มเดียวที่มีรูปแบบการหลุดแบบยึดไม่อยู่ปรากฏร่วมกับแบบผสม ในขณะที่เมื่อมีการใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus แล้วจะแสดงค่ากำลังแรงยึดเฉือนที่มากที่สุด และปรากฏรูปแบบการหลุดแบบเชื่อมแน่นล้มเหลวร่วมกับแบบผสม โดยรูปแบบความล้มเหลวแบบผสมในเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้แสดงปริมาณเรซินซีเมนต์ที่เหลือบนผิวเซอร์โคเนียชนิดใสมากที่สุด อย่างไรก็ตาม Clearfil ceramic primer plus ไม่มีผลช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดเฉือนให้กับเรซินซีเมนต์กลุ่ม Rely X™ U200 นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดเอ็มดีพี (MDP) และเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยฟอสเฟตมอนอเมอร์ชนิดฟอสฟอริกเมทาคริลเอสเตอร์ (phosphoric methacrylate ester) นั้นให้ค่ากำลังแรงยึดเฉือนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงควรใช้เรซินซีเมนต์ หรือไพรเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน ในการยึดวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใส โดยชนิดของฟอสเฟตมอนอเมอร์ไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์บนวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใส

งบประมาณงานวิจัย (Budgets)

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ	จำนวน	ค่าใช้จ่าย(บาท)
1.Super-high translucent zirconia (Ceramill® zolid fx White ; AMANN GIRRBACH, Austria)	2	13,300
2.Composite resin Z350XT (Shade A3 BODY, 3M-ESPE, USA)	3	3,234
3.Panavia V5 (Dual-cured; Self etching; Shade Universal(A2), Kuraray Noritake, Japan)	1	4,123
4.Rely X U200 (Dual-cured; Self adhesive; Shade A2, 3M- ESPE, USA)	1	4,312
5.Clearfil ceramic primer plus (Kuraray Noritake, Japan)	1	1,360
6.Polishing machine (MINITECH 233, PRESI, France)	8 ชม.	360
7.Universal testing machine (EZ-S, SHIMADZU, Japan)	8 ชม.	360
8.Surface roughness tester (Talyscan 150, England)	40 ชั่วโมง	2,400
9.Sandblasting unit (Basic Quattro, Renfert, Germany)	40 ชั่วโมง	1,200
10.Thermocycling unit	360 ชม.	1,800
11. Scanning electron microscope(SEM) (FEI Quanta 250)		
- Coating	3 ครั้ง	900
- SEM	6 ชม.	3,600
- EDS	4 ชั่วโมง	1,000
15.วัสดุ และเครื่องมืออื่นๆ (โดยประมาณ)		3,000
รวม		40,949

บรรณานุกรม

1. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: Historical evolution and current practice. *Aust Dent J.* 2011;56(SUPPL. 1):84-96.
2. Pereira GKR, Guilardi LF, Dapieve KS, Kleverlaan CJ, Rippe MP, Valandro LF. Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018;85:57-65.
3. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dent Mater.* 2015;31(6):603-23.
4. Kosmač T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater.* 1999;15(6):426-33.
5. Cavalcanti AN, Foxtton RM, Watson TF, Oliveira MT, Giannini M, Marchi GM. Y-TZP ceramics: key concepts for clinical application. *Oper Dent.* 2009;34(3):344-51.
6. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999;20(1):1-25.
7. Anusavice K, Shen C, Rawls H. Phillip's science of dental materials. 12th ed. St.Louis, Missouri: ELSEVIER 2013.
8. Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater.* 2014;30(10):1195-203.
9. Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, Hadermann J, Naert I, Van Meerbeek B, et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater.* 2016;32(12):e327-e37.
10. Inokoshi M, Shimizu H, Nozaki K, Takagaki T, Yoshihara K, Nagaoka N, et al. Crystallographic and morphological analysis of sandblasted highly translucent dental zirconia. *Dent Mater.* 2018;34(3):508-18.

11. Lange F, . Transformation Toughening: Part 3, Experimental Observations in the ZrO₂-Y₂O₃ System: J Mater Sci; 1982. 240-6 p.
12. Ghodsi S, Jafarian Z. A Review on Translucent Zirconia. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2018;26(2):62-74.
13. Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. J Prosthet Dent. 2018;120(1):132-7.
14. Nassary Zadeh P, Lumkemann N, Sener B, Eichberger M, Stawarczyk B. Flexural strength, fracture toughness, and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. J Prosthet Dent. 2018;120(6):948-54.
15. Matinlinna JP, Heikkinen T, Özcan M, Lassila LVJ, Vallittu PK. Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. Dent Mater. 2006;22(9):824-31.
16. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. Dent Mater. 1998;14(1):64-71.
17. Wolfart M, Lehmann F, Wolfart S, Kern M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. Dent Mater. 2007;23(1):45-50.
18. Grasel R, Santos MJ, Rego HC, Rippe MP, Valandro LF. Effect of Resin Luting Systems and Alumina Particle Air Abrasion on Bond Strength to Zirconia. Oper Dent. 2018;43(3):282-90.
19. Kern M, Barloi A, Yang B. Surface Conditioning Influences Zirconia Ceramic Bonding. J Dent Res. 2009;88(9):817-22.
20. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2006;77B(1):28-33.
21. Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CHF. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. Dent Mater. 2006;22(2):195-200.
22. Llerena-Icochea AE, Costa RM, Borges A, Bombonatti J, Furuse AY. Bonding Polycrystalline Zirconia With 10-MDP-containing Adhesives. Oper Dent. 2017;42(3):335-41.

23. Lee S-E, Bae J-H, Choi J-W, Jeon Y-C, Jeong C-M, Yoon M-J, et al. Comparative Shear-Bond Strength of Six Dental Self-Adhesive Resin Cements to Zirconia. *Materials (Basel)*. 2015;8(6):3306-15.
24. Liu W, Meng H, Sun Z, Jiang R, Dong C-A, Zhang C. Phosphoric and carboxylic methacrylate esters as bonding agents in self-adhesive resin cements. *Exp Ther Med*. 2018;15(5):4531-7.
25. Yoshida K, Kamada K, Tanagawa M, Atsuta M. Shear bond strengths of three resin cements used with three adhesive primers for metal. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1996;75(3):254-61.
26. Mirmohammadi H, Aboushelib MN, Salameh Z, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ. Innovations in bonding to zirconia based ceramics: Part III. Phosphate monomer resin cements. *Dent Mater*. 2010;26(8):786-92.
27. Passia N, Mitsias M, Lehmann F, Kern M. Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;62:268-74.
28. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009;28(1):44-56.
29. Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent*. 2005;33(1):9-18.
30. Pozzobon J, Missau T, Ceolin Druck C, Özcan M, Valandro L. Effects of different particle deposition parameters on adhesion of resin cement to zirconium dioxide and phase transformation. *J Adhes Sci Technol*. 2015;30(4):1-10.
31. Monaco C, Tucci A, Esposito L, Scotti R. Microstructural changes produced by abrading Y-TZP in presintered and sintered conditions. *J Dent*. 2013;41(2):121-6.
32. Hallmann L, Ulmer P, Reusser E, Hämmerle CHF. Effect of blasting pressure, abrasive particle size and grade on phase transformation and morphological change of dental zirconia surface. *Surf Coat Technol* 2012;206(19):4293-302.
33. Skienhe H, Habchi R, Ounsi H, Ferrari M, Salameh Z. Evaluation of the Effect of Different Types of Abrasive Surface Treatment before and after Zirconia Sintering on Its

Structural Composition and Bond Strength with Resin Cement. *BioMed Res Int*. 2018;2018:1803425.

34. Papanagioutou HP, Morgano SM, Giordano RA, Pober R. In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. *J Prosthet Dent*. 2006;96(3):154-64.
35. Abi-Rached F, Martins S, Almeida-Júnior A, Adabo G, Góes MS, Fonseca R. Air Abrasion Before and/or After Zirconia Sintering: Surface Characterization, Flexural Strength, and Resin Cement Bond Strength. *Oper Dent*. 2015;40(2):E66-E75.
36. Moon J-e, Kim S-h, Lee J-b, Ha S-r, Choi Y-s. The effect of preparation order on the crystal structure of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal and the shear bond strength of dental resin cements. *Dent Mater*. 2011;27(7):651-63.
37. Kim JW, Covell NS, Guess PC, Rekow ED, Zhang Y. Concerns of hydrothermal degradation in CAD/CAM zirconia. *J Dent Res*. 2010;89(1):91-5.
38. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dent mater*. 2011;27(1):71-82.
39. Amaral M, Belli R, Cesar PF, Valandro LF, Petschelt A, Lohbauer U. The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia. *J Dent*. 2014;42(1):90-8.
40. Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thompson VP. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2004;71B(2):381-6.
41. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. The shear bond strength between luting cements and zirconia ceramics after two pre-treatments. *Oper Dent*. 2005;30(3):382-8.
42. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y, et al. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Sci Rep*. 2017;7:45563.
43. Yoshihara K, Yoshida Y, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, De Munck J, et al. Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers. *Dent Mater*. 2013;29(8):888-97.
44. Yagawa S, Komine F, Fushiki R, Kubochi K, Kimura F, Matsumura H. Effect of priming agents on shear bond strengths of resin-based luting agents to a translucent zirconia material. *J Prosthodont Res*. 2018;62(2):204-9.

45. Yun JY, Ha SR, Lee JB, Kim SH. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. *Dent Mater.* 2010;26(7):650-8.
46. International Organization for Standardization. *Dentistry — Adhesion — Notched-edge shear bond strength test, ISO 29022.* Switzerland, 2013.
47. International Organization for Standardization. *Dentistry — Polymer-based restorative materials, ISO 4049.* Switzerland, 2009.
48. Le M, Larsson C, Papias E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dent Mater J.* 2019;38(3):480-9.
49. Da Silva EM, Miragaya L, Sabrosa CE, Maia LC. Stability of the bond between two resin cements and an yttria-stabilized zirconia ceramic after six months of aging in water. *J Prosthet Dent.* 2014;112(3):568-75.
50. Soderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res.* 1990;69(12):1812-6.
51. Pereira SG, Fulgencio R, Nunes TG, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Effect of curing protocol on the polymerization of dual-cured resin cements. *Dent Mater.* 2010;26(7):710-8.
52. Ozcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *The journal of adhesive dentistry.* 2015;17(1):7-26.
53. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* 1999;27(2):89-99.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศิริวิชญ์ จิตสุธีศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	5 มิถุนายน 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	21 ซอยกรุงเทพกรีฑา 27 แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กทม.10250
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY