



**การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซอร่าโคเนียชนิดใส เมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์สองชนิด  
ร่วมกับไพรเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟต**

**The Comparison of Shear Bond Strength of Highly Translucent Zirconia Using Two Different  
Resin Cements with Phosphate Monomer Primer**

ศิริวิชญ์ จิตสุธีศิริ<sup>1\*</sup> ประเวศ เสรีเชษฐพงษ์<sup>2</sup> และ ชรินทร์ อิศระขางกุล<sup>3</sup>

Sirawit Chitsutheesiri<sup>1\*</sup> Pravej Serichetaphongse<sup>2</sup> and Charinthorn Issarayangkul<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>2</sup>หน่วยบูรณะช่องปาก และ ใบหน้า โรงพยาบาลคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>3</sup>หลักสูตรทันตกรรมเพื่อความสวยงามและทันตกรรมรากเทียม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup> Head of Maxillofacial Prosthodontic Department, Dental Hospital, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>3</sup> Esthetic Restorative and Implant Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

\*Corresponding author, E-mail: jomsrw92@gmail.com

**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันเซอร่าโคเนียเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันแพร่หลายในทางทันตกรรมบูรณะ เรซินซีเมนต์หลายชนิดได้ถูกอ้างว่าให้แรงยึดที่ติดกับวัสดุชนิดเซอร่าโคเนีย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร่าโคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน และผลของไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันต่อกำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอมโพสิตเรซินบนเซอร่าโคเนียชนิดใส โดยแผ่นเซอร่าโคเนียชนิดใส (Ceramil zolid fx White) เส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มม.หนา 3.2 มม. จำนวน 24 แผ่น ได้ถูกยึดติดกับคอมโพสิตเรซินชนิดนาโนคอมโพสิต (Filtek™ Z350 XT) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม.หนา 2 มม. ด้วยเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ได้แก่ PANAVIA™ V5 และ Rely X™ U200 โดยกำหนดพื้นที่ยึดติดตาม ISO 29022:2013 เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย ซึ่งประกอบด้วยชิ้นงาน 6 ชิ้น ได้แก่ กลุ่มที่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus, และกลุ่มที่ไม่ใช้ Clearfil ceramic primer plus หลังจากยึด กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดได้ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง และ ถูกทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (EZ-S, SHIMADZU) จนชิ้นงานหลุดจากกัน ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวได้ถูกนำมาคำนวณด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน



ทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทูกีย์ ผลการทดลองพบว่า กลุ่ม Rely X™ U200 ที่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus ให้แรงยึดสูงสุด ( $1.27 \pm 0.17$  เมกะพาสคาล) การใช้เรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วย หมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันให้ค่าแรงยึดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ยกเว้นกลุ่ม PANA VIA™ V5 ที่ไม่ใช้ Clearfil ceramic primer plus ซึ่งมีกำลังแรงยึดที่น้อยกว่าเรซินซีเมนต์กลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยสรุปกำลังแรงยึดเฉลี่ยระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) และเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) เป็นส่วนประกอบนั้นไม่แตกต่างกัน PANA VIA™ V5 มีค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำที่สุด และต้องใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus เพื่อเพิ่มกำลังแรงยึด ดังนั้นการยึดเซอร่าโคเนียชนิดใสนั้นควรใช้เรซินซีเมนต์ชนิดที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ และ ควรทาสารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเพิ่มหากใช้เรซินซีเมนต์ชนิดที่ไม่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ

**คำสำคัญ:** เซอร่าโคเนียชนิดใส กำลังแรงยึดเฉลี่ย เรซินซีเมนต์

#### Abstract

Zirconia has become more popular in use in restorative dentistry. Nowadays, many resin cements have been claimed to be good for zirconia bonding. This *in vitro* study investigated the shear bond strength values of highly translucent zirconia with two different phosphate-based functional monomer-containing resin cements on resin composite and the effect of phosphate monomer primer on shear bond strength. Twenty-four 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 mm in diameter and 2 mm in height, using two different resin cements, PANA VIA™ V5 and Rely X™ U200. The bonding area was controlled following ISO 29022:2013. The specimens of each type of resin cement were divided to two groups ( $n=6$ ), with and without the use of Clearfil ceramic primer plus. A total of four groups of specimens were thermocycled then the shear bond strength tests were performed using the Universal testing machine (EZ-S, SHIMADZU) until the resin composites were debonded. The shear bond strength values were statistically analyzed using One-way ANOVA and Tukey's post hoc test. The highest mean of shear bond strength of Rely X™ U200 with Clearfil ceramic primer plus group was ( $1.27 \pm 0.17$  MPa), and there were no statistically significant differences between the phosphate-based resin cement groups ( $p>0.05$ ), except the PANA VIA™ V5 without Clearfil ceramic primer plus group with a lower statistical significance than other groups ( $p<0.05$ ). In conclusion, no significant differences between the shear bond strengths of MDP-containing resin cement and phosphoric methacrylate ester-containing resin cement were found. PANA VIA™ V5 without MDP showed the lowest bond, and Clearfil ceramic primer plus was required to enhance bond



strength; therefore, phosphate monomer resin cements should be used to cement on highly translucent zirconia and the phosphate monomer primer should be applied prior to the use of the non-phosphate monomer resin cements.

*Keywords: Highly translucent zirconia, Shear bond strength, Resin cements.*

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุบูรณะฟันนอกจากจะคำนึงถึงสมบัติทางกล และ ทางชีวภาพแล้ว ความสวยงามก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ เซอร์โคเนีย (Zirconia) เป็นวัสดุหนึ่งที่มีสมบัติดังกล่าว ทำให้เซอร์โคเนียได้รับความนิยมทั้งในทางทันตกรรมบูรณะ และ ทันตกรรมรากเทียม (Kelly & Benetti, 2011) โดยเซอร์โคเนียถูกนำมาใช้ทั้งทำเป็นแกนโดยมีฟอร์ซเลนพอกเป็นชั้นที่ผิว (porcelain layering) และแบบมอนอลิติก (monolithic) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัญหาการบิ่นแตกของฟอร์ซเลนที่ผิวชั้นนอก (Sailer et al, 2015) ทำให้การใช้มอนอลิติกเซอร์โคเนียมีเพิ่มมากขึ้น (Pereira et al, 2018) ในอดีตเซอร์โคเนียประเภทดั้งเดิมนั้น สามารถทนต่อแรงดัดได้สูงเกิน 900 เมกะพาสกาล (Anusavice, Shen, & Rawls, 2013) แต่ขาดความโปร่งแสง (Zhang, 2014) ทำให้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใส ซึ่งมีความสวยงามเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสมบัติความทนแรงดัดของเซอร์โคเนียชนิดใสนั้นได้ลดลงไปมีค่าประมาณ 400 ถึง 700 เมกะพาสกาล (Nassary Zadeh et al, 2018; Pereira et al, 2018).

เซอร์โคเนียเริ่มถูกใช้มาตั้งแต่ช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1990 (Piconi & Maccauro, 1999) โดยเซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่มีหลายรูปผลึก (polymorphic) และเป็นผลึกรวม (polycrystalline) ที่ปราศจากองค์ประกอบของแก้ว ทำให้มีสมบัติที่เหนือกว่า แกลาเซรามิก (glass ceramic) (J. Robert Kelly & Denry, 2008) เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้องเซอร์โคเนียบริสุทธิ์จะอยู่ในรูปผลึกมอนอคลินิก (monoclinic; M) โดยจะเปลี่ยนรูปผลึกเป็นเทตระโกนอล (tetragonal; T) และรูปลูกบาศก์ (cubic; C) เมื่อเผาขึ้นไปที่อุณหภูมิ 1,170 องศาเซลเซียสและ 2,370 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งการเติมออกไซด์คงสภาพด้วยอิตเรียมออกไซด์ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stabilizing oxides) ร้อยละ 2-3 โดยโมล สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงผลึกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนได้ ทำให้ผลึกเทตระโกนอลสามารถคงรูปอยู่ ณ อุณหภูมิห้องได้ โดยเรียกเซอร์โคเนียชนิดนี้ว่า อิตเรียมเทตระโกนอลเซอร์โคเนีย (Yttrium stabilized tetragonal zirconia polycrystals; Y-TZP) (Piconi & Maccauro, 1999) ซึ่งการเปลี่ยนรูปผลึกจากเทตระโกนอลเป็นมอนอคลินิกนั้นจะมีการขยายตัวประมาณร้อยละ 4.4 ซึ่งช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้วัสดุจากการเกิดชั้นแรงอัดที่ไปยับยั้งการเกิดรอยร้าวในวัสดุได้ (Cavalcanti et al, 2009) ในขณะที่วัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสที่มีการเติมอิตเรียมออกไซด์ ร้อยละ 5-8 โดยโมลเพื่อคงสภาพผลึกนั้นวัสดุจะประกอบไปด้วยผลึกลูกบาศก์ที่มากขึ้น (Inokoshi et al, 2018; Pereira et al, 2018; Zhang et al, 2016; Zhang, 2014) ซึ่งการมีผลึกลูกบาศก์ที่มากขึ้นทำให้เซอร์โคเนียมีความใสเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลึกลูกบาศก์นั้นมีโครงสร้างผลึกแบบไอโซโทรปิก (isotropic) (Zhang et al, 2016; Zhang, 2014) อย่างไรก็ตาม เซอร์โคเนียที่มีผลึกลูกบาศก์นั้นอ่อนแอ และเปราะ เมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียที่มีผลึกเทตระโกนอลจำนวนมาก นอกจากนี้



เซอร์โคเนียที่มีผลึกลูกบาศก์นั้น ไม่มีสมบัติการเปลี่ยนผลึก (Inokoshi et al, 2018; Pereira et al, 2018; Zhang et al, 2016) ทำให้สมบัติทางกลของเซอร์โคเนียชนิดใสดีกว่าเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียชนิดดั้งเดิม (Zhang et al, 2016; Zhang, 2014)

การยึดด้วยซีเมนต์ของวัสดุบูรณะนั้นเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จทางคลินิก ตามปกติแล้วซีเมนต์จำเป็นที่จะต้องยึดกับทั้งวัสดุบูรณะและเนื้อฟันเพื่อเชื่อมติดรวมทั้งเติมเต็มช่องว่างที่เลียงไม่ได้บริเวณขอบวัสดุ วัสดุกลาสเซรามิกนั้นให้การยึดกับเรซินซีเมนต์ได้ดีเนื่องมาจากองค์ประกอบจำพวกซิลิกา (silica) หากแต่เซอร์โคเนียถึงแม้จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเซรามิก แต่ก็ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบดังนั้นการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) และการทาสารไซเลน (silane) จึงไม่สามารถช่วยให้เกิดการยึดที่ดีได้ (Kern & Wegner, 1998; Matinlinna, Heikkinen, Özcan, Lassila, & Vallittu, 2006) มีการศึกษามากมายแนะนำว่าการเตรียมผิวเซอร์โคเนียด้วยการพ่นผงอะลูมินาออกไซด์ เพื่อทำให้เกิดการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention) ร่วมกับการใช้สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน (phosphate-based functional monomers) เพื่อให้ได้การยึดติดทางเคมีกับเซอร์โคเนียออกไซด์ที่ผิวของเซอร์โคเนีย นั้นสามารถทำให้เกิดการยึดติดที่ทนและมีประสิทธิภาพได้ (Grasel et al, 2018; Wolfart et al, 2007) สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันหลายชนิดได้ถูกนำไปเป็นส่วนผสมของเรซินซีเมนต์ อาทิ เท็น-เอ็มดีพี (10-MDP) ฟอสฟอริกเมทาโครเลท (phosphoric methacrylate ester) จีพีดีเอ็ม (GPDM) พีอีเอ็นทีเอ (PENTA) และ ฟอสฟอริกเอซิดอะคริเลท (phosphoric acid acrylate) ซึ่งสารเหล่านี้ได้ถูกรายงานว่าให้ค่ากำลังแรงยึดที่เพิ่มขึ้นกับเซอร์โคเนีย (Kern & Wegner, 1998; Lee et al, 2015; Liu et al, 2018; Lüthy, Loeffel, & Hammerle, 2006; Wolfart et al, 2007; Keiichi Yoshida, Tsuo, & Atsuta, 2006) เช่นเดียวกันกับการยึดวัสดุจำพวกโลหะผสม (metal alloy)(K. Yoshida, Kamada, Tanagawa, & Atsuta, 1996) จากรายงานการศึกษาก่อนหน้าพบว่า เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ที่มีหมู่ฟอสเฟตต่างกันนั้นจะให้ค่ากำลังแรงยึดต่อเซอร์โคเนียที่แตกต่างกัน เช่น ค่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) ฟอสฟอริกเมทาโครเลท (phosphoric methacrylate ester) และฟอสฟอริกเอซิดอะคริเลท (phosphoric acid acrylate) นั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mirmohammadi et al, 2010) ในขณะที่ Passia และคณะ(Passia, Mitsias, Lehmann, & Kern, 2016) รายงานว่าฟอสฟอริกเอซิดอะคริเลท (phosphoric acid acrylate) มีค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำกว่าเอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาโครเลท (phosphoric methacrylate ester) อย่างมีนัยสำคัญ แตกต่างกับการศึกษาของ Lee และคณะ (Lee et al, 2015) ที่รายงานว่าค่ากำลังแรงยึดเชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) มีค่าที่สูงกว่า ฟอสฟอริกเมทาโครเลท (phosphoric methacrylate ester) พีดีเอ็ม (GPDM) พีอีเอ็นทีเอ (PENTA) และ ฟอสฟอริกเอซิดอะคริเลท (phosphoric acid acrylate) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับเรซินซีเมนต์ชนิด บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) นั้นมีรายงานว่าให้ค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำกว่าวัสดุเซอร์โคเนีย การใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตจึงมีความจำเป็นเพื่อเพิ่มกำลังแรงยึดดังกล่าว (Keiichi Yoshida et al, 2006) นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า เมื่อเซอร์โคเนียชนิดใสได้รับการเตรียมผิวที่เหมาะสมแล้วนั้น การยึดเซอร์โคเนียชนิดใสด้วยเรซินซีเมนต์นั้นให้ค่ากำลังแรงยึดที่ไม่แตกต่างกันกับการยึดเซอร์โคเนียชนิดดั้งเดิมด้วยเร



ชินซีเมนต์ (Kwon et al, 2018) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาใดสรุปได้ว่าสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดใดที่ให้กำลังแรงยึดต่อเซอร์โคเนียได้ดีที่สุด

ในปัจจุบัน เซอร์โคเนียที่นิยมนำใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน มี 2 ชนิดคือ เซอร์โคเนียแบบดั้งเดิมชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) และเซอร์โคเนียชนิดใส ซึ่งมีการศึกษามากมายที่แสดงถึงการมีค่ากำลังแรงยึดที่ดีของเรซินซีเมนต์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันบนเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) เมื่อใช้ร่วมกับการเตรียมผิวด้วยการพ่นผงอะลูมินา (Kern & Wegner, 1998; Lüthy et al, 2006; Wolfart et al, 2007; Keiichi Yoshida et al, 2006) อย่างไรก็ตาม การศึกษาค่ากำลังแรงยึดบนเซอร์โคเนียชนิดใสซึ่งมีองค์ประกอบของผลึกที่แตกต่างจากเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) นั้นยังมีไม่มากนัก ประกอบกับการใช้เซอร์โคเนียชนิดใสในทางทันตกรรมด้านความสวยงามนั้นได้รับความนิยมมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเดือนของเรซินซีเมนต์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันบนเซอร์โคเนียชนิดใส และผลของไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันต่อกำลังแรงยึดเดือนของคอมโพสิตเรซินบนเซอร์โคเนียชนิดใสภายใต้กระบวนการเทอร์โมไซคลิก ชิ้นงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่เหมาะสมในการยึดวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใส สมมติฐานแรกของงานวิจัยนี้คือ กำลังแรงยึดเดือนของเรซินซีเมนต์ที่มีหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก และสมมติฐานที่สอง การใช้สารไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตร่วมกับเรซินซีเมนต์จะให้ค่ากำลังแรงยึดเดือนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสังเคราะห์รูปแบบการล้มเหลวบนพื้นผิวของเซอร์โคเนียชนิดใสอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาค่ากำลังแรงยึดเดือนของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันบนเซอร์โคเนียชนิดใสต่อคอมโพสิตเรซิน และผลของไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันต่อกำลังแรงยึดเดือนของคอมโพสิตเรซินบนเซอร์โคเนียชนิดใส

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมชิ้นงาน

เซอร์โคเนียชนิดใส (Ceramil zolid fx White ; AMANN GIRRBACH, Austria) จำนวน 24 ชิ้น ถูกขึ้นรูปเป็นแผ่นวงกลม (Ceramil® mikro 5; AMANN GIRRBACH, Austria) ชิ้นงานทั้งหมดถูกขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความหยาบ 1200 กริต ด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ (MINITECH 233, PRESI, France) ด้วยแรงกด 50 นิวตัน ที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงนำไปเผา (Ceramil® therm3 ; AMANN GIRRBACH, Austria) จนได้ชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตรหนา 3.2 มิลลิเมตร ชิ้นงานถูกฝังลงในท่อพีวีซีโดยใช้เรซินอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยตัวเอง ชิ้นงาน



ทุกชิ้นถูกเตรียมผิวด้วยการฟ้นผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมโครเมตรด้วยเครื่องฟ้นทราย (Basic Quattro, Renfert, Germany) ภายใต้แรงดัน 2.5 บาร์ (bar) ด้วยระยะห่าง 10 มิลลิเมตรตั้งฉากกับพื้นผิวชิ้นงาน เป็นเวลา 15 วินาที อ้างอิงจากการศึกษาของ Hallmann และคณะ(Hallmann, Ulmer, Reusser, & Hämmerle, 2012) จากนั้นชิ้นงานถูกทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (VGT-1990QTD, China) โดยใช้ ไอโซโพรพานอล(isopropanol) ความเข้มข้นร้อยละ 99 เป็นเวลา 10 นาที

### 3.2 การยึดด้วยเรซินซีเมนต์ และกระบวนการเทอร์โมไซคลิก

เทปกาวความหนา 50 ไมโครเมตร (Scotch, 3M, USA) ซึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตรถูกนำมาติดบนผิวของเซอร์โคเนียซนิตไสเพื่อกำหนดพื้นที่ยึดติด และความหนาของเรซินซีเมนต์ตาม ISO 29022:2013(International Organization for Standardization [ISO], 2013) และ ISO 4049:2009(ISO, 2009) โดยชิ้นงานถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ชิ้น ตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และการใช้สารไพรเมอร์ ดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 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) โดยองค์ประกอบทางเคมีของแต่ละวัสดุถูกแสดงใน ตารางที่ 1 ซึ่งการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดนี้ในงานวิจัยนั้น เนื่องจากเป็นเรซินซีเมนต์ที่นิยมใช้ในคลินิกทันตกรรมโดยทั่วไป โดยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดถูกทาลงไปบนชิ้นงานเซอร์โคเนียด้วยพู่กันขนาดเล็ก จากนั้นนำนาโนคอมโพสิตเรซิน (Filtek™TMZ350 XT) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตรมายึดเข้าที่อีกด้านของเรซินซีเมนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่อง durometer (ASTM D 2240 TYPE A,D PTC instruments, USA) กดด้วยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เรซินซีเมนต์ส่วนเกินถูกกำจัดออกด้วยพู่กันขนาดเล็ก จากนั้นฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง (Demi Plus, Kerr, USA) ที่มีความเข้มแสง 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็น เวลา 40 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดแช่ในน้ำกลั่น โดยเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก โดยแช่สลับที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และมีระยะพัก 5 วินาที เป็นจำนวน 5,000 รอบ



ตารางที่ 1. แสดงรายชื่อวัสดุที่ใช้ บริษัทผู้ผลิต ส่วนประกอบ และ หมายเลขชุดของวัสดุ

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ	หมายเลขชุด
Ceramil zolid fx White	AMANN GIRRBACH AG	$ZrO_2 + Y_2O_3 + HfO_2 \geq 99\%wt$ , $Y_2O_3$ 9.15 – 9.55%wt, $HfO_2 \leq 5\%wt$ $Al_2O_3 \leq 0.5\%wt$ , Other oxides $\leq 1\%wt$	1705001
Composite resin Filtek™ Z350 XT ; Shade A3 BODY	3M-ESPE	Silane treated ceramic, Silane treated silica, UDMA, Bis-EMA, Bis-GMA, Silane treated zirconia, PEGDMA, TEGDMA	N991457
PANAVIA™ V5 Dual-cured; Self etching; Shade Universal (A2)	Kuraray Noritake	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	5T0104
Clearfil ceramic primer plus	Kuraray Noritake	3-Methacryloxypropyl trimethoxysilane, MDP, Ethanol	8T0038
Rely X™ U200 Dual-cured; Self adhesive; Shade A2	3M-ESPE	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- ethanediy] 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 Catalyst: Glass powder, Surface modified with 2-propenoic acid, 2 methyl- .3-(trimethoxisilyl)propyl ester, Bulk material, Substituted dimethacrylate, 1,12-dodecane dimethacrylate, Barbituric acid derivate, Silane treated silica, Sodium p-toulenesulfinate, Calcium hydroxide, Methacrylated aliphatic amine, 2,6-di-tert-butyl-p-cresol, 2-propeoic acid, 2-methyl-, 2- [(2-hydroxyethyl)(3-methoxypropyl)amino]ethyl ester, Titanium oxide	4819681

### 3.3 การทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว และ การศึกษารูปแบบความล้มเหลว

ชิ้นงานทั้งหมดถูกทดสอบวัดกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซออร์ โคนีซชนิดใสและเรซินซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (EZ-S, SHIMADZU, Japan) ด้วยใบมีดขอบเว้า (Notched-edge) ที่ความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที อ้างอิงตาม ISO 29022:2013(ISO, 2013) โดยค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว ได้จากการนำค่าแรงเหวี่ยงสูงสุดที่ทำให้วัสดุแยกจากกันหาร



ด้วยพื้นที่หน้าตัดของเรซินซีเมนต์ที่สัมผัสกับเซอร์โคเนียชนิดใส ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล (megapascal) จากนั้นนำเซอร์โคเนียชนิดใสที่ทดสอบการยึดแล้วไปสังเกตรูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)(FEI Quanta 250) ที่กำลังขยาย 50 เท่า และ 2,000 เท่า เพื่อแสดงภาพ และบอกรูปแบบความล้มเหลว ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ การยึดไม่อยู่(Adhesive) การเชื่อมแน่นล้มเหลว (Cohesive) และ การล้มเหลวแบบผสมทั้งแบบการยึดไม่อยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว (Mixed failure) และหากตรวจพบสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนีย ชิ้นงาน 1 ชิ้นในแต่ละกลุ่มจะถูกเลือกนำมาผ่านการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis; EDS) เพื่อบ่งชี้ธาตุของสิ่งตกค้างที่ผิวของเซอร์โคเนีย

### 3.4 สถิติที่ใช้ทดสอบ

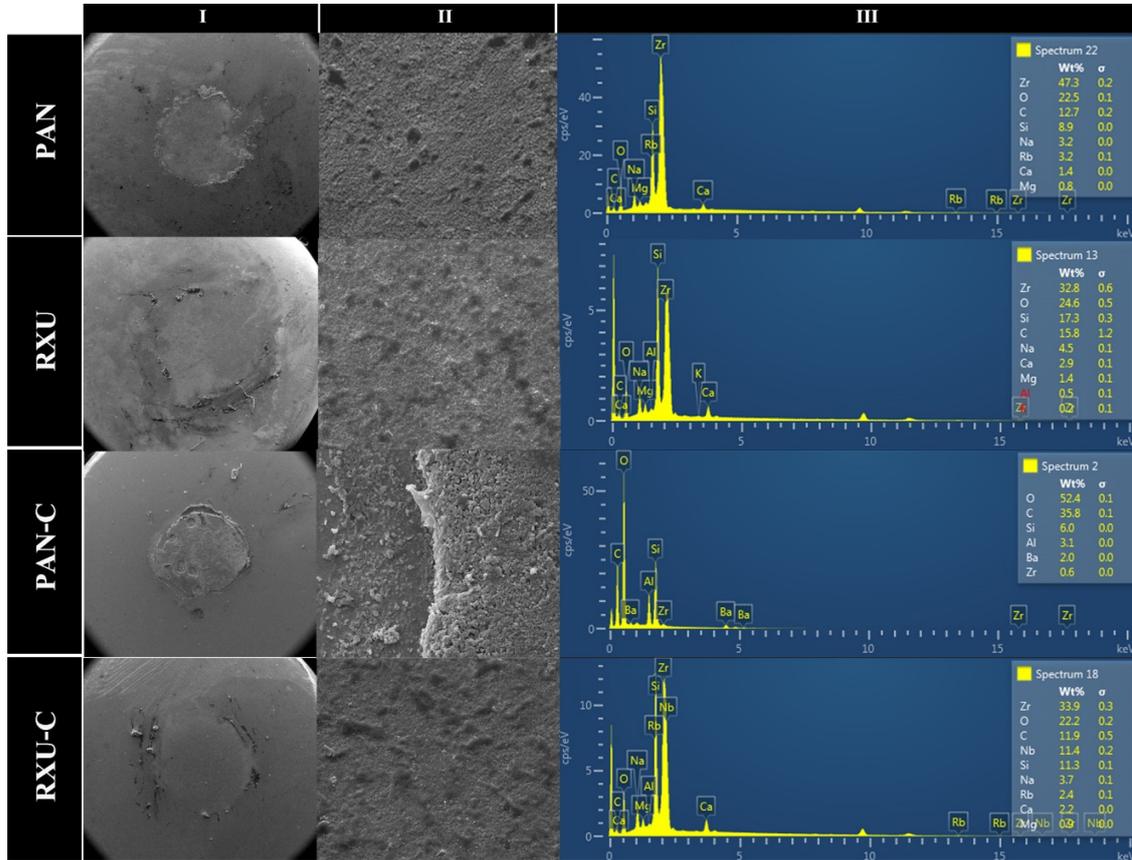
ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวได้ถูกนำมาคำนวณด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบชนิดทูกีย์ (One-way ANOVA and Tukey's post hoc test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (SPSS version 22.0, SPSS Inc., USA)

## 4. ผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม PAN RXU PAN-C และ RXU-C หลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกถูกแสดงไว้ใน ตารางที่ 2 โดยค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่ม PAN มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม RXU PAN-C และ RXU-C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กลุ่ม RXU-C มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวนี้ไม่ได้มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่ม RXU และ PAN-C ( $p > 0.05$ ). ตารางที่ 2 ยังแสดงรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นงาน โดยกลุ่ม PAN แสดงความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ และ แบบผสม ในขณะที่กลุ่ม RXU และ RXU-C แสดงรูปแบบการล้มเหลวแบบผสม มีเพียง PAN-C เท่านั้นที่แสดงการล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว และ แบบผสม โดยภาพพื้นผิวชิ้นงานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการวิเคราะห์ธาตุนิวตรอนถูกแสดงไว้ใน รูปที่ 1

ตารางที่ 2. ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรูปแบบความล้มเหลวของแต่ละกลุ่มตัวอย่างสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 2,000 เท่า

เรซินซีเมนต์ และไพรเมอร์	ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมกะพาสคาล)	รูปแบบความล้มเหลว (ชิ้นงาน)		
		การยึดไม่อยู่	เชื่อมแน่นล้มเหลว	แบบผสม
PAN	0.74 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2	0	4
R XU	1.26 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	0	0	6
PAN-C	1.24 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	0	2	4
R XU-C	1.27 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	0	0	6
ตัวอักษรเดียวกันแสดงถึงการไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p > 0.05$ )				



รูปที่ 1. แสดงรูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเรซินซีเมนต์กลุ่ม PAN RXU PAN-C และRXU-C

I:รูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า

II:รูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

III:แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุ(Elemental analysis ; EDS)

### 5. การอภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่า ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียชนิดใสกับเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตต่างชนิดกันหลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกนั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น จึงยอมรับสมมติฐานแรกที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียชนิดใสกับเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตนั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดที่ไม่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ ดังเช่นในกลุ่ม PANAVIA™ V5 ที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus ที่แสดงค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสมมติฐานที่สองจึงถูกปฏิเสธ อย่างไรก็ตามการทาสาร Clearfil ceramic primer plus ที่มี



ส่วนประกอบของ เอ็มดีพี ไพรเมอร์ (MDP primer) เพิ่มก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) อยู่แล้วนั้นไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดเหนี่ยวบนเซอร์โคเนียชนิดใสเนื่องจากเรซินซีเมนต์ดังกล่าวมีหมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่แล้วในปริมาณที่เพียงพอ ดังนั้นการทำไพรเมอร์ในกลุ่ม Rely X™ U200 จึงไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึด ซึ่งผลของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า การใช้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดกับวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสได้ (Alovisi et al, 2018; Le, Larsson, & Papia, 2019; Yagawa et al, 2018) โดยการยึดติดที่มีประสิทธิภาพนี้เป็นผลมาจากการยึดติดทางเคมีระหว่าง หมู่ P-OH ในมอนอเมอร์กลุ่ม ฟอสเฟตเอสเทอร์ กับหมู่ Zr-OH ที่ผิวของเซอร์โคเนีย (Nagaoka et al, 2017) นอกจากนี้จากหลายการศึกษาก่อนหน้ายังพบว่ากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) กับเซอร์โคเนียชนิด 3วาย-ทีซีพี (3Y-TZP) นั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mirmohammadi et al, 2010; Passia et al, 2016) ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Lee และคณะ (Lee et al, 2015) ที่รายงานว่า กำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มี เอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทำ Clearfil ceramic primer plus ซึ่งเป็นไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) เป็นส่วนประกอบนั้นมีผลช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดเหนี่ยวให้กับ PANA VIA™ V5 ได้เนื่องจาก PANA VIA™ V5 เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นคอมโพสิตเรซิน เช่น บิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) และไม่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทำให้กำลังแรงยึดกับพื้นผิวของเซอร์โคเนียนั้นมีค่า จึงจำเป็นต้องใช้ไพรเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบมาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดกำลังแรงยึดที่ดีขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า เรซินซีเมนต์ที่ไม่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบนั้นแสดงกำลังแรงยึดกับวัสดุเซอร์โคเนียที่ต่ำ และไม่สามารถยึดกับวัสดุเซอร์โคเนียได้หลังจากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก (Keiichi Yoshida et al, 2006) ในทางกลับกันการทำ Clearfil ceramic primer plus ไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดให้กับ Rely X™ U200 สอดคล้องกับ Passia และคณะ (Passia et al, 2016) ที่รายงานว่า การทำสารยึดติดแบบยูนิเวอร์ซอล (universal adhesive) ซึ่งมีเอ็มดีพี (MDP) เป็นส่วนประกอบนั้นไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดให้กับเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) อยู่แล้ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการยึดติดทางเคมีนั้นเกิดจากหมู่ P-OH ซึ่งพบได้ทั้งในเอ็มดีพี (MDP) และ ฟอสฟอริกเมทาคริลเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) กับหมู่ Zr-OH ที่ผิวของเซอร์โคเนีย (Nagaoka et al, 2017) ร่วมกันสร้างพันธะเคมีขึ้น การทำ Clearfil ceramic primer plus ซึ่งเป็นเอ็มดีพี ไพรเมอร์ (MDP primer) อาจเพิ่มปริมาณหมู่ P-OH ที่พร้อมเกิดพันธะได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หมู่ Zr-OH ที่ผิวเซอร์โคเนียนั้นมีปริมาณคงเดิม ดังนั้นการยึดติดทางเคมี และพันธะเคมีที่เกิดขึ้นจึงเกิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกันระหว่างกลุ่ม Rely X™ U200 และ Rely X™ U200 ที่ใช้ร่วมกับ Clearfil ceramic primer plus ส่งผลให้กำลังแรงยึดของทั้งสองกลุ่มนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



จากการสังเกตรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นงานภายหลังการแยกออกจากคอมโพสิตเรซิน โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุ ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า สิ่งตกค้างที่ผิวของชิ้นงานในลักษณะเป็นหย่อม มีธาตุที่ตรงกับองค์ประกอบของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นรูปแบบความล้มเหลวของเรซินซีเมนต์ต่อเซออร์โคเนียซิงโครไนต์ ในลักษณะดังกล่าวจึงจัดเป็นความล้มเหลวรูปแบบผสม ถึงแม้ที่กำลังขยาย 50 เท่าจะพบรูปแบบความล้มเหลวแบบยึดไม่อยู่ก็ตาม จากตารางที่ 2 ที่แสดงจำนวนรูปแบบความล้มเหลวของเรซินซีเมนต์ต่อเซออร์โคเนียซิงโครไนต์ในแต่ละกลุ่ม พบว่ามีเพียงกลุ่ม PAN ที่พบชิ้นงานที่แสดงความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ และกลุ่ม PAN-C ที่พบรูปแบบการเชื่อมแน่นล้มเหลวเท่านั้น ซึ่งรูปแบบความล้มเหลวที่แสดงในการศึกษานี้อาจใช้ช่วยยืนยันได้ว่า การใช้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดของเรซินซีเมนต์บนเซออร์โคเนียซิงโครไนต์ได้ โดยที่ชนิดของหมู่ฟอสเฟตนั้นอาจไม่มีผลต่อการยึดติด แต่อย่างไรก็ตามความล้มเหลวรูปแบบผสม และรูปแบบการเชื่อมแน่นล้มเหลว นั้น อาจเกิดมาจากความอ่อนแอในเนื้อเรซินซีเมนต์เอง จากการเสื่อมตัวอันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำซึ่งสามารถทำลายพันธะระหว่าง ตัวเติม (filler) และเมทริกซ์ (matrix) (Soderholm & Roberts, 1990) และเนื่องจากซึ่งเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้ง 2 ชนิดเป็นชนิด บ่มตัวสองรูปแบบ (dual-cured) รูปแบบความล้มเหลวดังกล่าวอาจมาจากการบ่มตัวได้ไม่เต็มที่ของเรซินซีเมนต์อันเนื่องมาจากการมีความหนืดเพิ่มขึ้นภายหลังจากการฉายแสง ที่อาจไปรบกวนกระบวนการบ่มตัวด้วยตัวเองของมอนอเมอร์ที่เหลือในเรซินซีเมนต์ได้อีกด้วยซึ่งการบ่มตัวไม่สมบูรณ์นี้ทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติทางกลที่ด้อยลง (S. G. Pereira et al, 2010) และนอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดรูปแบบความล้มเหลวดังกล่าวก็อาจมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟต ทำให้บางบริเวณเกิดการยึดติดที่ไม่ดีได้อีกด้วย

เทอร์โมไซคลิกเป็นกระบวนการที่จำลองการเสื่อมของวัสดุในช่องปากจากความชื้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาใดบอกลถึงจำนวนรอบที่ชัดเจนของการจำลองความเสื่อมที่เทียบเท่ากับสภาวะที่เกิดในช่องปากจริง จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Ozcan และ Bernasconi ได้แนะนำว่ากระบวนการเทอร์โมไซคลิก ควรทำอย่างน้อยเป็นจำนวน 5,000 รอบ (Ozcan & Bernasconi, 2015) ซึ่งหากอ้างอิงจากการศึกษาของ Gale และ Darvell (Gale & Darvell, 1999) ที่อนุมานว่า ณ สภาวะแวดล้อมในช่องปากหนึ่งวัน อาจเทียบเท่าได้กับกระบวนการเทอร์โมไซคลิก 20-50 รอบ ดังนั้นกระบวนการเทอร์โมไซคลิก 5,000 รอบนั้น อาจเทียบเท่าได้กับสภาวะภายในช่องปากเป็นเวลา 6 เดือน

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดอยู่บางประการ อาทิ ในงานวิจัยนี้ศึกษาสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบในเรซินซีเมนต์เพียง 2 ชนิด คือ เอ็มดีพี (MDP) และฟอสฟอริกเมทาไครเลทเอสเตอร์ (phosphoric methacrylate ester) และศึกษากำลังแรงยึดบนวัสดุเซออร์โคเนียซิงโครไนต์เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยต่อไปควรศึกษากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยสารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดอื่น หรือศึกษาวัสดุบูรณะชนิดอื่นเพิ่มเติม



## 6. บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ มีข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. การยี้ดวัสดุเซอร์โคเนียชนิดใสควรใช้เรซินซีเมนต์ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ฟังก์ชัน
2. ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพี (MDP) และเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสฟอริกเมทาโครเลทเอสเทอร์ (phosphoric methacrylate ester) เป็นส่วนประกอบนั้น มีค่าไม่แตกต่างกัน
3. PANAVIA™ V5 ร่วมกับการใช้ Clearfil ceramic primer plus เป็นกลุ่มเดียวที่แสดงการหลุดแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว
4. PANAVIA™ V5 มีค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำที่สุด หากไม่ได้ใช้ร่วมกับ เอ็มดีพีไพรเมอร์ (MDP primer)
5. การใช้ Clearfil ceramic primer plus ไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวในเรซินซีเมนต์กลุ่ม Rely X™ U200

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ขึ้นรูปชิ้นงานเซอร์โคเนียจาก เอดีไอ เด็นทอล แลป (ADI dental lab)

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Alovisi, M., Scotti, N., Comba, A., Manzon, E., Farina, E., Pasqualini, D., Cadenaro, M. (2018). Influence of polymerization time on properties of dual-curing cements in combination with high translucency monolithic zirconia. *J Prosthodont Res*, 62(4), 468-472. doi:10.1016/j.jpor.2018.06.003
- Anusavice, K., Shen, C., & Rawls, H. (2013). *Phillip's science of dental materials* (12th ed.). St.Louis, Missouri: Elsevier.
- Cavalcanti, A. N., Foxton, R. M., Watson, T. F., Oliveira, M. T., Giannini, M., & Marchi, G. M. (2009). Y-TZP ceramics: key concepts for clinical application. *Oper Dent*, 34(3), 344-351. doi:10.2341/08-79
- Gale, M. S., & Darvell, B. W. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent*, 27(2), 89-99.
- Grasel, R., Santos, M. J., Rego, H. C., Rippe, M. P., & Valandro, L. F. (2018). Effect of Resin Luting Systems and Alumina Particle Air Abrasion on Bond Strength to Zirconia. *Oper Dent*, 43(3), 282-290. doi:10.2341/15-352-1
- Hallmann, L., Ulmer, P., Reusser, E., & Hämmerle, C. H. F. (2012). Effect of blasting pressure, abrasive particle size and grade on phase transformation and morphological change of dental zirconia surface. *Surface and Coatings Technology*, 206(19), 4293-4302. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.04.043



- Inokoshi, M., Shimizu, H., Nozaki, K., Takagaki, T., Yoshihara, K., Nagaoka, N., Minakuchi, S. (2018). Crystallographic and morphological analysis of sandblasted highly translucent dental zirconia. *Dent Mater*, 34(3), 508-518. doi:10.1016/j.dental.2017.12.008
- International, Organization, for, & Standardization. (2009). Dentistry — Polymer-based restorative materials, ISO 4049. In. Switzerland, .
- International, Organization, for, & Standardization. (2013). Dentistry — Adhesion — Notched-edge shear bond strength test, ISO 29022. In. Switzerland, .
- Kelly, J. R., & Benetti, P. (2011). Ceramic materials in dentistry: Historical evolution and current practice. *Australian Dental Journal*, 56(SUPPL. 1), 84-96. doi:10.1111/j.1834-7819.2010.01299.x
- Kelly, J. R., & Denry, I. (2008). Stabilized zirconia as a structural ceramic: An overview. *Dental Materials*, 24(3), 289-298. doi:10.1016/j.dental.2007.05.005
- Kern, M., & Wegner, S. M. (1998). Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater*, 14(1), 64-71.
- Kwon, S. J., Lawson, N. C., McLaren, E. E., Nejat, A. H., & Burgess, J. O. (2018). Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent*, 120(1), 132-137. doi:10.1016/j.prosdent.2017.08.004
- Le, M., Larsson, C., & Papia, E. (2019). Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dent Mater J*, 38(3), 480-489. doi:10.4012/dmj.2018-194
- Lee, S.-E., Bae, J.-H., Choi, J.-W., Jeon, Y.-C., Jeong, C.-M., Yoon, M.-J., & Huh, J.-B. (2015). Comparative Shear-Bond Strength of Six Dental Self-Adhesive Resin Cements to Zirconia. *Materials*, 8(6), 3306-3315. doi:10.3390/ma8063306
- Liu, W., Meng, H., Sun, Z., Jiang, R., Dong, C.-A., & Zhang, C. (2018). Phosphoric and carboxylic methacrylate esters as bonding agents in self-adhesive resin cements. *Experimental and therapeutic medicine*, 15(5), 4531-4537. doi:10.3892/etm.2018.5937
- Lüthy, H., Loeffel, O., & Hammerle, C. H. F. (2006). Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dental Materials*, 22(2), 195-200. doi:10.1016/j.dental.2005.04.016
- Matinlinna, J. P., Heikkinen, T., Özcan, M., Lassila, L. V. J., & Vallittu, P. K. (2006). Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dental Materials*, 22(9), 824-831. doi:10.1016/j.dental.2005.11.035



- Mirmohammadi, H., Aboushelib, M. N., Salameh, Z., Feilzer, A. J., & Kleverlaan, C. J. (2010). Innovations in bonding to zirconia based ceramics: Part III. Phosphate monomer resin cements. *Dent Mater*, 26(8), 786-792. doi:10.1016/j.dental.2010.04.003
- Nagaoka, N., Yoshihara, K., Feitosa, V. P., Tamada, Y., Irie, M., Yoshida, Y., . . . Hayakawa, S. (2017). Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Scientific Reports*, 7, 45563. doi:10.1038/srep45563
- Nassary Zadeh, P., Lumkemann, N., Sener, B., Eichberger, M., & Stawarczyk, B. (2018). Flexural strength, fracture toughness, and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. *J Prosthet Dent*, 120(6), 948-954. doi:10.1016/j.prosdent.2017.12.021
- Ozcan, M., & Bernasconi, M. (2015). Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent*, 17(1), 7-26. doi:10.3290/j.jad.a33525
- Passia, N., Mitsias, M., Lehmann, F., & Kern, M. (2016). Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater*, 62, 268-274. doi:10.1016/j.jmbbm.2016.04.045
- Pereira, G. K. R., Guilardi, L. F., Dapieve, K. S., Kleverlaan, C. J., Rippe, M. P., & Valandro, L. F. (2018). Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *J Mech Behav Biomed Mater*, 85, 57-65. doi:10.1016/j.jmbbm.2018.05.029
- Pereira, S. G., Fulgencio, R., Nunes, T. G., Toledano, M., Osorio, R., & Carvalho, R. M. (2010). Effect of curing protocol on the polymerization of dual-cured resin cements. *Dent Mater*, 26(7), 710-718. doi:10.1016/j.dental.2010.03.016
- Piconi, C., & Maccauro, G. (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*, 20(1), 1-25. doi:10.1016/S0142-9612(98)00010-6
- Sailer, I., Makarov, N. A., Thoma, D. S., Zwahlen, M., & Pjetursson, B. E. (2015). 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*, 31(6), 603-623. doi:10.1016/j.dental.2015.02.011
- Soderholm, K. J., & Roberts, M. J. (1990). Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res*, 69(12), 1812-1816. doi:10.1177/00220345900690120501
- Wolfart, M., Lehmann, F., Wolfart, S., & Kern, M. (2007). Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dental Materials*, 23(1), 45-50. doi:10.1016/j.dental.2005.11.040



- Yagawa, S., Komine, F., Fushiki, R., Kubochi, K., Kimura, F., & Matsumura, H. (2018). Effect of priming agents on shear bond strengths of resin-based luting agents to a translucent zirconia material. *J Prosthodont Res*, 62(2), 204-209. doi:10.1016/j.jpor.2017.08.011
- Yoshida, K., Kamada, K., Tanagawa, M., & Atsuta, M. (1996). Shear bond strengths of three resin cements used with three adhesive primers for metal. *J Prosthet Dent*, 75(3), 254-261. doi:10.1016/s0022-3913(96)90481-3
- Yoshida, K., Tsuo, Y., & Atsuta, M. (2006). Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 77B(1), 28-33. doi:doi:10.1002/jbm.b.30424
- Zhang, F., Inokoshi, M., Batuk, M., Hadermann, J., Naert, I., Van Meerbeek, B., & Vleugels, J. (2016). Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater*, 32(12), e327-e337. doi:10.1016/j.dental.2016.09.025
- Zhang, Y. (2014). Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*, 30(10), 1195-1203. doi:10.1016/j.dental.2014.08.375