



## กำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตจัดฟันโลหะกับวัสดุบูรณะเซอร์โคเนียที่ผ่านการปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน

### Shear Bond Strength between Metal Orthodontic Brackets and Zirconia Restorations Using Different Surface Treatments

พลอยลดา วิทวัสพันธุ์ และ อธิคม สุรินทรธนาสาร\*

Ploylada Vitavaspan and Atikom Surintanasarn\*

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

\*Corresponding author, E-mail: atikom.s@chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตจัดฟันโลหะกับเซอร์โคเนียที่ผ่านการปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน โดยเตรียมเซอร์โคเนียขนาด 8 x 8 x 2 มิลลิเมตร และทำการเผาซินเทอร์จำนวน 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น นำไปฝังลงในท่อพีวีซีด้วยวิธีขัดด้วยขี้ผึ้งทางทันตกรรมและขัดเรียบ ผิวของเซอร์โคเนียถูกปรับสภาพผิวโดยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (S) การกรอด้วยเข็มกรอากากเพชร (G) การทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (Z) การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (SZ) การกรอด้วยเข็มกรอากากเพชรร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (GZ) และกลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวเป็นกลุ่มควบคุม จากนั้นนำแบร็กเกตจัดฟันมาเชื่อมติดชิ้นงานด้วยเรซินแอดฮีซีฟทรานสบอนด์ เอ็กซ์ที (Transbond XT) และแช่ไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบแรงกดประเภท 1 โดยใช้ความเร็วในการทดสอบที่ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ศึกษาลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ และวิเคราะห์พื้นผิวของเซอร์โคเนียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ GZ (6.90±0.80 MPa) มีค่ากำลังยึดเหนี่ยวที่สูงที่สุด ตามด้วยกลุ่มที่ G (4.05±0.55 MPa) และกลุ่ม Z (3.63±0.41 MPa) โดยกลุ่มควบคุมมีแรงยึดเหนี่ยวที่น้อยที่สุด (1.07±0.13 MPa) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) การปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียด้วยการกรอด้วยเข็มกรอากากเพชรร่วมกับการทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์มีประสิทธิภาพในการเพิ่มแรงยึดของแบร็กเกตจัดฟันซึ่งอาจลดปัญหาการหลุดของแบร็กเกตขณะรักษาและเพิ่มความสำเร็จของการรักษาได้

คำสำคัญ: แบร็กเกตจัดฟัน แรงยึดเหนี่ยว เซอร์โคเนีย





งานมากกว่าเซรามิกชนิดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ สามารถนำมาใช้งานในครอบฟันหลัง สะพานฟัน หรืองานรากเทียมได้ (Manicone, Rossi Iommetti, & Raffaelli, 2007) โมโนลิธิคเซอร์โคเนีย (Monolithic zirconia) มีความนิยมในการใช้งานมากขึ้นเนื่องจากมีอัตราการแตกหัก (Chipping) น้อยกว่ากลุ่มเซรามิกวีเนียร์ (Ceramic veneer) ที่มีเซอร์โคเนียเป็นแกนกลาง (Sailer, Pjetursson, Zwahlen, & Hammerle, 2007) โดยเซอร์โคเนียในสภาวะปกติมีลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิในการเผา โครงสร้างที่มีความแข็งแรงที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ โครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอล (Tetragonal crystal) ซึ่งโครงสร้างนี้จะทำให้เสถียรต้องเติมส่วนของอิตเทรียมออกไซด์ (Yttrium oxide) เรียกเซอร์โคเนียชนิดนี้ว่าวายทีซีพี (Y-TZP; yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline)

เซอร์โคเนียจัดเป็นวัสดุพหุสัณฐาน (Polymorphic) มีรูปแบบผลึกที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ผลึกรูปร่างโมโนคลินิก (Monoclinic crystal) ผลึกรูปร่างเตตระโกนอล ผลึกรูปร่างคิวบิก (Cubic crystal) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิการเผา แต่เมื่ออุณหภูมิเย็นลงกลายเป็นอุณหภูมิห้องจะกลับมาเป็นผลึกรูปร่างโมโนคลินิกอีกครั้งหนึ่ง จึงต้องอาศัยการเติมสารประกอบเช่น แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) หรืออิตเทรียมออกไซด์ (Denry & Kelly, 2008) เพื่อคงลักษณะผลึกแบบเตตระโกนอลที่มีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิห้อง มีการศึกษาพบว่าเมื่อได้รับความเครียดจากภายนอก เช่น การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Sandblasting) การกรอแต่ง (Grinding) ซึ่งงานอยู่ในสภาวะเปียก (Wet environment) และการรับแรงบดเคี้ยว (Cyclic fatigue from chewing) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจากเตตระโกนอลย้อนกลับไปเป็นโมโนคลินิก มีผลให้ความแข็งแรงของวัสดุเสื่อมสภาพลง (Strength degradation) และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาตร โดยรวมประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 นำไปสู่การอัดแน่นภายใน เกิดการอุดรอยร้าว ลดการขยายของรอยแตก เรียกว่ากระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง (Transformation toughening) ซึ่งทำให้เซอร์โคเนียมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น (Hannink, Kelly, & Muddle, 2000; Vagkopoulou, Koutayas, Koidis, & Strub, 2009)

อย่างไรก็ตามเซรามิกในกลุ่มเซอร์โคเนียยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน โดยเฉพาะการยึดติดกับวัสดุกลุ่มเรซินต่างจากกลุ่มเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบที่สามารถยึดติดกับเรซินได้ง่ายกว่าและมีค่าการยึดติดที่แข็งแรงกว่า (Wille, Lehmann, & Kern, 2017) การยึดติดกับวัสดุกลุ่มเรซินมีความสำคัญเนื่องจากการยึดติดที่ดีจะส่งผลต่อการยึดอยู่ของชิ้นงาน ป้องกันการรั่วซึม และมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ กล่าวว่า การยึดติดที่ดีเกิดขึ้นจากการยึดติดเชิงกลในระดับไมครอนและการเชื่อมติดด้วยพันธะเคมี โดยผิวของเซอร์โคเนียจะติดแน่นกับวัสดุเรซินด้วยปัจจัยทั้งสองคือ การยึดติดเชิงกลจากการทำให้ผิวเกิดความขรุขระ หรือการเชื่อมติดด้วยพันธะเคมี (Sciasci, Abirached, Adabo, Baldissara, & Fonseca, 2015)

การยึดติดเชิงกลจากการทำให้ผิวเกิดความขรุขระ ทำได้สามวิธี คือ การกัดด้วยกรด การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ และการกรอผิว โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้ การกัดด้วยกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid) ในเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ภายในมีเมทริกซ์ที่เป็นแก้ว (Glassy matrix) เมื่อผิวสัมผัสกับกรดกัดแก้ว กรดจะทำปฏิกิริยากับส่วนเมทริกซ์ซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบเกิดเป็นสารประกอบเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (Hexafluorosilicate) ทำให้ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ถูกกำจัดออกเหลือแต่ส่วนที่เป็นผลึกทำให้เกิดผิวขรุขระ เพิ่มการยึดติดเชิงกลได้ เซอร์โคเนียเป็นสารที่มี



ซิลิกาเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์จึงไม่สามารถใช้กรดกัดแก้วทำให้ผิวขรุขระเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงกลได้ (Derand & Derand, 2000) มีการศึกษาของศรีอัมพรและคณะกล่าวว่ากรดกัดแก้วที่ความเข้มข้นสูงและใช้ระยะเวลากัดกร่อนที่ผิวเซอรโคโคเนียมากกว่าปกติจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับจุลภาค (Sriamporn et al, 2014) การใช้กรดกัดแก้วจึงมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถนำมาใช้ในทางคลินิกได้ อีกวิธีหนึ่งคือการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาดของผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่นำมาใช้พ่นขึ้นงานเซอรโคโคเนียมีหลากหลายขนาดตั้งแต่ 50 ถึง 125 ไมครอน (Tzanakakis, Tzoutzas, & Koidis, 2016) มีการศึกษาพบว่าการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถสร้างความขรุขระที่ผิวของเซอรโคโคเนียและช่วยเพิ่มค่าแรงยึดกับเรซินซีเมนต์เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Matinlinna, Heikkinen, Ozcan, Lassila, & Vallittu, 2006) ในขณะเดียวกันมีการศึกษาพบว่าการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดที่แตกต่างกัน ทำให้ความแข็งแรงเชิงกลของเซอรโคโคเนียเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากเตตระโกนอล เปลี่ยนไปเป็นโมโนคลินิก เกิดกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นด้วย (Hannink et al, 2000) ขนาดของผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่แนะนำคือ 50 ไมครอน ที่แรงดัน 0.25 เมกะปาสคาล ทำให้ผิวของเซอรโคโคเนียเกิดความขรุขระและอุดรอยร้าว ไม่ทำให้เกิดรอยร้าวต่อ (Hallmann, Ulmer, Reusser, & Hämmerle, 2012) ผลงานวิจัยรายงานว่ากรอผิวด้วยเข็มกรอจากเพชรแบบหยาบทำให้เกิดความขรุขระบนผิวเซอรโคโคเนียส่งผลให้ค่าแรงยึดติดสูงขึ้น (Curtis, Wright, & Fleming, 2006) เนื่องจากผิวของเซอรโคโคเนียมีความแข็ง หัวกรอที่ใช้จึงต้องใช้หัวกรอเพชรที่มีความหยาบตั้งแต่ 120 ถึง 200 ไมครอน (Ohkuma, Kazama, & Ogura, 2011) แต่การกรอผิวเซอรโคโคเนียนำไปสู่การเกิดรอยร้าวเล็ก (Microcrack) ที่ผิวของเซอรโคโคเนียและมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกล มีการศึกษาว่าการใช้หัวกรอเพชรความหยาบขนาด 91 ไมครอน สร้างความขรุขระที่ผิวของเซอรโคโคเนียโดยไม่มีผลต่อค่าความทนแรงดัด (Flexural strength) ของเซอรโคโคเนีย (Kim, Lim, Park, & Vang, 2011)

เนื่องจากการปรับสภาพผิวเชิงกลมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเซอรโคโคเนีย จึงมีการพัฒนาการยึดติดกับเซอรโคโคเนียด้วยพันธะเคมี สารสำคัญการยึดติดกับผิวเซอรโคโคเนียคือ สารเทินเอ็มดีพี (10-MDP; 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) เนื่องจากออร์แกโนฟอสเฟตมอนอเมอร์ (Organo-phosphate monomer) มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวเซอรโคโคเนีย (Chen, Suh, Brown, & Chen, 2012) จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของหมู่ฟอสเฟตต่อการยึดติดกับผิวเซอรโคโคเนีย เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างออกซิเจนอะตอม (P-O-Zr) มีการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดติดเซอรโคโคเนียระหว่างสารยึดติดที่มีส่วนประกอบหลักคือเทินเอ็มดีพี และบิสจีเอ็มเอ (BisGMA; bisphenol-A-diglycidylmethacrylate) พบว่าสารประกอบเทินเอ็มดีพี ยึดได้แข็งแรงกว่าและยาวนานกว่า และดียิ่งขึ้นหากใช้การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ตามด้วยสารเทินเอ็มดีพี (Wolfart, Lehmann, Wolfart, & Kern, 2007)

เนื่องจากการยึดติดระหว่างเซอรโคโคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟยังมีข้อจำกัด การบูรณะฟันด้วยวัสดุเซอรโคโคเนียในผู้ป่วยที่มีการจัดฟันภายหลังการบูรณะยังขาดการยึดติดที่ีระหว่างเซอรโคโคเนียและเหล็กจัดฟัน ความแข็งแรงของการยึดติดมีผลต่อความเที่ยงตรงต่อการกำหนดตำแหน่งฟัน ระยะเวลาการจัดฟัน การยึดติดที่ดีต้องสามารถทน



สภาพแวดล้อมในช่องปาก รวมถึงแรงที่มากระทำ (Karan, Buyukyilmaz, & Toroglu, 2007) การยึดติดที่ไม่ดีมีผลโดยตรงต่อการรักษา ทำให้การรักษาล่าช้า เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่ออ่อนและเนื้อเยื่อแข็ง เสี่ยงต่อเครื่องมือหลุดลงคอ (Pandis, Pandis, Pandis, & Eliades, 2007) ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการรักษาเพิ่มมากขึ้น การศึกษานี้จึงมีขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตจัดฟันโลหะกับเซออร์โคเนียที่ใช้การปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน ทั้งการปรับสภาพผิวเชิงกลและการใช้สารปรับสภาพผิวทางเคมี จึงเป็นที่มาของสมมติฐานงานวิจัยคือ การปรับสภาพผิวเซออร์โคเนียไม่มีผลต่อกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซออร์โคเนียและแบร็กเกตจัดฟัน โลหะ

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตจัดฟันโลหะกับเซออร์โคเนียที่ใช้การปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เซออร์โคเนียชนิดควายที่ซีฟี่ก่อนการเผาซินเทอร์ (Pre-sintered zirconia) (Katana™; Kuraray Noritake Dental Inc, Japan) แบร็กเกตจัดฟันที่นำมาใช้ยึดติดกับเซออร์โคเนียคือแบร็กเกตโลหะไร้สนิม (Stainless steel metal bracket) (Gemini series™; 3M Unitek Corporation, Monrovia, CA, USA) สำหรับพื้นหน้าล่างเนื่องจากมีรูปร่างบริเวณส่วนยึดติดที่เรียบและพื้นที่ยึดติดเป็นลักษณะตะแกรงโลหะ (Foil mesh type) สารที่ใช้คือสารปรับปรุผิวเซออร์โคเนียไพร์เมอร์ซีไพร์มพลัส (Z Prime™ Plus Ziconia Alumina Metal Primer; Bisco Inc., IL, USA) ที่มีเท็นเอมดีพีและบิสจีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบหลัก และเรซินแอตชีซีฟิทรานสบอนด์ เอ็กซ์ที (Transbond™ XT Light Cure Adhesive; 3M-ESPE St. Paul, MN, USA) มีบิสจีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบหลักและองค์ประกอบอื่น ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อวัสดุ	ส่วนประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
Z Prime™ Plus	Ethanol, 10-MDP, Bis-GMA, 2-Hydroxyethyl Methacrylate, Proprietary	Bisco, Inc. USA
Transbond™ XT Light cure adhesive primer	Adhesive: Bis-GMA, Silane, Bisphenol A bis (2-hydroxyethyl ether) dimethacrylate, Diphenyliodonium hexafluorophosphate Primer: Bis-GMA, TEGDMA, Triphenyl antimony, 4-(dimethylamino)- benzeneethanol, DL-Camphorquinone, Hydroquinone	3M ESPE, USA

According to the information provided by the manufacturers:  
Bis-GMA: bisphenol-A-diglycidylmethacrylate; TEGDMA: triethyleneglycol dimethacrylate;  
10-MDP: 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate



### 3.2 การเตรียมชิ้นงานเซอร์โคเนีย

นำเซอร์โคเนียชนิดขาวที่ซีพีก่อนการเผาซินเทอร์มาตัดให้ได้ชิ้นงานขนาด 8x8x2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงานความเร็วต่ำ (Isomet 1000; Buehler, USA) จำนวน 60 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานไปขัดให้เรียบด้วยกระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ระดับความละเอียด 800 และ 1200 กริต ตามลำดับ โดยใช้เครื่องขัดชิ้นงาน (Minitech 233; Presi, Grenoble, France) กำหนดความเร็วที่ 250 รอบต่อนาที แรงกด 50 นิวตัน จากนั้นนำชิ้นงานไปเผาซินเทอร์ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดเพื่อให้ได้ความแข็งแรง จากนั้นนำแผ่นเซอร์โคเนียมาฝังลงในท่อพีวีซีด้วยอิมพัชท์ทางทันตกรรมเพื่อใช้สำหรับจับยึดชิ้นงานเพื่อเข้าเครื่องทดสอบ นำเซอร์โคเนียที่อยู่ในแบบหล่อมาขัดอีกครั้งด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ระดับความละเอียด 800 และ 1200 กริต ตามลำดับ ด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (Nano 2000, Pace Technologies, AZ, USA) กำหนดความเร็วที่ 250 รอบต่อนาที ที่แรงกดเท่ากัน จากนั้นนำแผ่นเซอร์โคเนียที่ได้ไปวัดความขรุขระผิว (Profilometer) เพื่อควบคุมระดับความเรียบให้เท่ากัน

### 3.3 การแบ่งกลุ่มชิ้นงานตามการปรับสภาพผิว

ชิ้นงานเซอร์โคเนียถูกนำมาแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยแต่ละกลุ่มใช้การปรับสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกัน ทั้งการปรับสภาพผิวเชิงกลและการทาสารปรับสภาพผิวทางเคมี

การปรับสภาพผิวเชิงกลจะแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งผิวเซอร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่สองผิวเซอร์โคเนียถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ที่แรงดัน 0.25 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 15 วินาที ที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ด้วยตู้พ่นทราย (Vario Basic®; Renfert, Germany) และกลุ่มที่สามใช้เจ็มนกรอกากเพชรรูปดับเบิลโคนความหยาบ 106 ไมครอน (Standard double cone shape bur, Intensive SA, Grancia, Switzerland) กรอด้วยหัวกรอความเร็วสูง (Alegra dental turbine, W&H company, Bürmoos, Austria) ควบคุมแรงที่ใช้ และทิศทางของหัวกรอโดยเครื่องกลึงคอมพิวเตอร์ซีเอ็นซี (CNC; Computer Numerical Control) โดยวางหน้าตัดเจ็มนกรอกากเพชรให้หน้าตัดรูปโคนด้านบนขนานและแนวบริเวณหน้าตัดของชิ้นงานเซอร์โคเนีย ดังรูปที่ 1 ตัวเครื่องทำงานโดยแท่นจับชิ้นงานของเครื่องกลึงคอมพิวเตอร์ซีเอ็นซีจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงทิศทางเดียวจากซ้ายไปขวาในขณะที่หัวกรอทำงานอยู่กับที่ หลังการปรับสภาพผิวเชิงกล ชิ้นงานถูกนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที เมื่อชิ้นงานแห้งนำเทปกาวใสขนาดความหนา 50 ไมครอน (Scotch, 3M, USA) ที่เจาะรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร อ้างอิงมาจาก ISO 4049:2009 (International Organization for Standardization [ISO], 2009) และ ISO 29022:2013 (ISO, 2013) เพื่อจำกัดพื้นที่ยึดติดและควบคุมความหนาของเรซินแอคซีซีฟของแต่ละชิ้นให้เท่ากัน จากนั้นแบ่งกลุ่มทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ซีไพโรมพลัส ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยมีกลุ่มดังนี้

กลุ่มควบคุม (C) ผิวเซอร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว

กลุ่มทดลอง (Z) ทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์

กลุ่มทดลอง (S) พ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์

กลุ่มทดลอง (G) กรอด้วยเจ็มนกรอกากเพชร



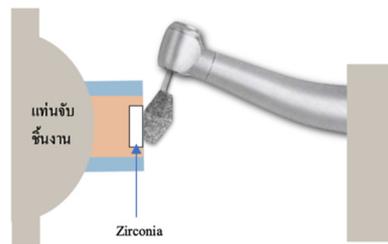
กลุ่มทดลอง (SZ) ฟันผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์  
กลุ่มทดลอง (GZ) ทรายเชื่อมกรอกากเพชรร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์

### 3.4 การยึดชิ้นงาน

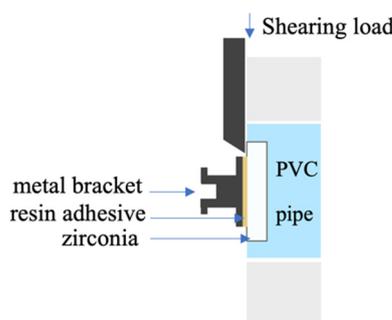
นำชิ้นงานยึดกับแบร์ริกเกตจัดฟันด้วยเรซินแอดฮีซีฟทรานสบอนด์ เอ็กซ์ที ด้วยวิธีตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด โดยใช้เครื่องมือกำหนดแนวระนาบการยึดติดให้ตั้งฉากกับชิ้นงานและใช้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม กำจัดเรซินแอดฮีซีฟส่วนเกินออกด้วยฟู่กันขนาดเล็ก หลังจากนั้นฉายแสงสีด้าน เป็นเวลาด้านละ 20 วินาที นำชิ้นงานที่เชื่อมติดแล้วไปเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำออกมาทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวต่อไป

### 3.5 การทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว

แรงยึดเหนี่ยวจะถูกวัดโดยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine EZ-S 500N, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) โดยหน้าตัดตรงของเครื่องทดสอบจะวางตัวขนานไปกับผิวเซอร์โคเนีย และวางบริเวณรอยต่อระหว่างแบร์ริกเกตจัดฟันและเซอร์โคเนีย ดังรูปที่ 2 ความเร็วหน้าตัดเคลื่อนทดสอบอยู่ที่ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที จนชิ้นงานหลุดออกจากกันและค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวจะถูกคำนวณในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) โดยนำค่าแรงที่ชิ้นงานหลุดออกจากกันซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หารด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดของส่วนยึดที่คิดเป็นตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว



รูปที่ 2 แสดงองค์ประกอบการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว



### 3.6 การศึกษาลักษณะความล้มเหลว

ศึกษาลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้น โดยนำชิ้นงานทั้งเซออร์โคเนียและแบร์กเกตจัดฟันโลหะมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคป (Stereomicroscope) ที่กำลังขยาย 45 เท่า เพื่อดูรูปแบบความล้มเหลว (Mode of failure) ของแรงยึดติดระหว่างเซออร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟ จำแนกความล้มเหลวเป็น 4 แบบ (de Souza, Hennig, Aggarwal, & Tam, 2014) ดังนี้ พบความล้มเหลวระหว่างชั้นเซออร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟ (Adhesive failure at ceramic-resin adhesive interface) ร้อยละ 70 ขึ้นไป หรือพบความล้มเหลวในชั้นเรซินแอดฮีซีฟ (Cohesive failure in the resin adhesive) คือมีการแตกหักในชั้นเรซินซีเมนต์ร้อยละ 70 ขึ้นไป หรือพบความล้มเหลวระหว่างชั้นเรซินแอดฮีซีฟกับแบร์กเกตจัดฟันโลหะ (Adhesive failure at resin adhesive-orthodontic metal bracket) ร้อยละ 70 ขึ้นไป หรือพบความล้มเหลวแบบผสม (Mixed failure) คือมีความล้มเหลวระหว่างชั้นเซออร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟ หรือเรซินแอดฮีซีฟกับแบร์กเกตจัดฟัน และพบความล้มเหลวในชั้นเรซินแอดฮีซีฟ โดยการแตกหักของชิ้นใดชิ้นหนึ่งอยู่ระหว่างร้อยละ 30 ถึง 70 จากนั้นบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) กำลังขยาย 2000 เท่า ที่พื้นผิวของเซออร์โคเนียหลังการทดสอบ

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 22 (Statistical Package for Statistical Science Inc., Chicago, IL, USA) โดยการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Kolmogorov-Smirnov test) จากนั้นใช้การวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล และความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวแต่ละกลุ่ม (Post hoc) โดยใช้สถิติแทมเฮน (Tamhane's)

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 การทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของทุกกลุ่มการทดลองและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มที่ถูกกรอด้วยเข็มกรอกากเพชรร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซออร์โคเนียไพโรเมอร์ (GZ) มีค่ากำลังยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ตามด้วย กลุ่มที่ถูกกรอด้วยเข็มกรอกากเพชร (G) และกลุ่มที่ทาสารปรับปรุงผิวเซออร์โคเนียไพโรเมอร์ (Z) ตามด้วย กลุ่มที่ฟันผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (S) และกลุ่มที่ฟันผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซออร์โคเนียไพโรเมอร์ (SZ) โดยที่กลุ่มควบคุมที่ผิวเซออร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวมีค่ากำลังยึดเหนี่ยวน้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3

### 4.2 การศึกษาลักษณะความล้มเหลว

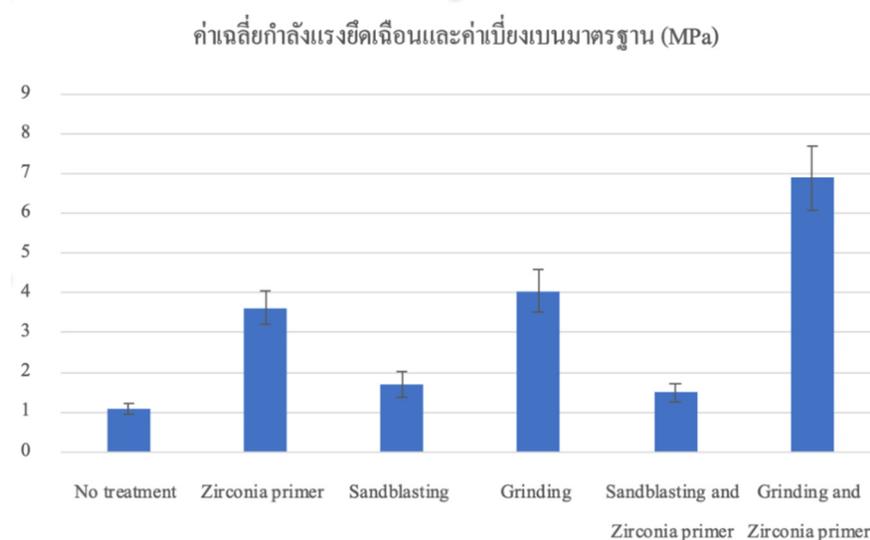
4.2.1 ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคป พบลักษณะความล้มเหลวบริเวณแตกหักแบบเดียวคือ ความล้มเหลวระหว่างชั้นเซออร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟ คือมีการแตกหักระหว่างชั้นเซออร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟร้อยละ 70 ขึ้นไป ดังตารางที่ 3



ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกกลุ่มการทดลอง

การปรับสภาพผิว	ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (MPa)
No treatment	1.07 ± 0.13 <sup>A</sup>
Zirconia primer	3.63 ± 0.41 <sup>C</sup>
Sandblasting	1.69 ± 0.33 <sup>B</sup>
Grinding	4.05 ± 0.55 <sup>C</sup>
Sandblasting and Zirconia primer	1.49 ± 0.22 <sup>B</sup>
Grinding and Zirconia primer	6.90 ± 0.80 <sup>D</sup>

Means with the same upper-case superscript letters are not significantly different ( $p > 0.05$ )



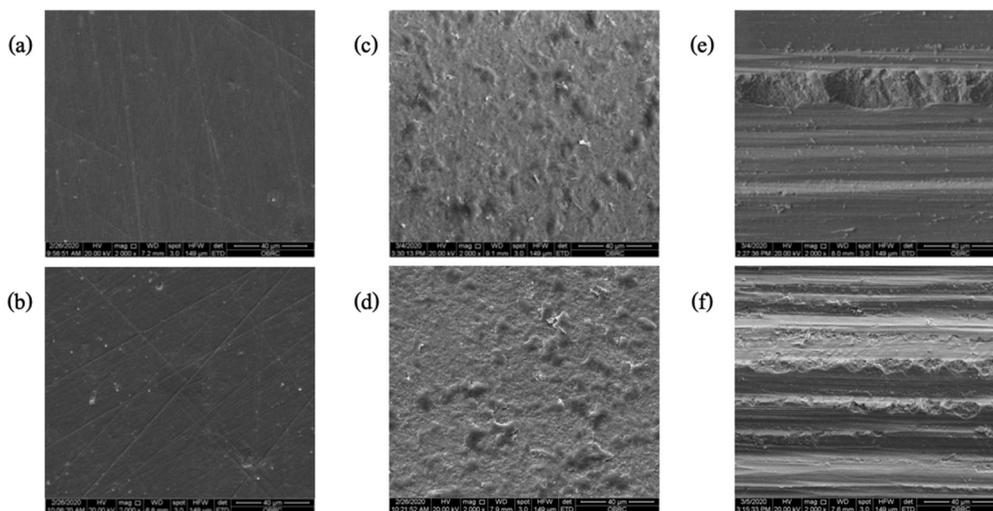
รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 3 ลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มทดลอง

การปรับสภาพผิว	Adhesive failure (%) (Zirconia/adhesive)	Mixed failure (%)	Cohesive failure (%)	Adhesive failure (%) (Metal bracket/adhesive)
No treatment	100	0	0	0
Zirconia primer	100	0	0	0
Sandblasting	100	0	0	0
Grinding	100	0	0	0
Sandblasting with zirconia primer	100	0	0	0
Grinding with zirconia primer	100	0	0	0



4.2.2 ผลการศึกษาด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากลุ่มที่ผิวเซอร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว (a) มีพื้นผิวที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ใกล้เคียงกับลักษณะพื้นผิวในกลุ่มที่ทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (b) ในกลุ่มที่ผิวเซอร์โคเนียถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (c) พบลักษณะผิวที่มีความขรุขระแบบกระจัดกระจาย เช่นเดียวกับกลุ่มที่ถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์และทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (d) และกลุ่มที่ผิวเซอร์โคเนียถูกรอด้วยเข็มกรอกากเพชร (e) พบลักษณะผิวเซอร์โคเนียที่มีความขรุขระในแนวลึกมากกว่ากลุ่มที่ถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ลักษณะนี้พบในกลุ่มที่ถูกรอด้วยเข็มกรอกากเพชรและทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (f) เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลักษณะพื้นผิวของเซอร์โคเนียหลังการทดสอบด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2000 เท่า (a) กลุ่ม C ผิวเซอร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว (b) กลุ่ม Z ผิวเซอร์โคเนียได้รับการทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (c) กลุ่ม S ผิวเซอร์โคเนียถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (d) กลุ่ม SZ ผิวเซอร์โคเนียถูกพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์และทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (e) กลุ่ม G ผิวเซอร์โคเนียถูกรอด้วยเข็มกรอกากเพชร (f) กลุ่ม GZ ผิวเซอร์โคเนียถูกรอด้วยเข็มกรอกากเพชรและทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์

### 5. การอภิปรายผล

ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์สมมติฐานหลักงานวิจัย คือการปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียกับแบร็กเกตจัดฟัน โลหะอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการศึกษานี้ได้พิจารณาผลของการปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียที่แตกต่างกันต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวกับแบร็กเกตจัดฟันโลหะเพื่อจำลองแรงที่เกิดขึ้นในช่องปากที่มากระทำต่อแบร็กเกตโลหะจัดฟัน โดยอาศัยการเตรียมผิวด้วยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ การกรอผิวด้วยเข็มกรอกากเพชร และการทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ วิธีเหล่านี้สามารถทำได้ในคลินิกและไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อแข็งและเนื้อเยื่ออ่อนเมื่อทำในช่องปาก



จากการทดลองพบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของการเตรียมผิวเซอร์โคเนียด้วยวิธีการกดด้วยเข็มกรอกากเพชร ร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด เป็นผลจากความขรุขระของพื้นผิวและพลังงานผิวเพิ่มขึ้น (Surface roughness and surface energy) ในขณะเดียวกันการใช้ไพโรเมอร์สามารถเพิ่มความเปียก (Wettability) ให้กับเรซินแอคทีฟ ทำให้ค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างเซอร์โคเนียกับแอคทีฟลดลง ทำให้สามารถไหลแผ่ได้มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้น (Piascik, Wolter, & Stoner, 2011) และเนื่องจากสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ซีไพร์มพลัสมีหมู่ทำงานฟอสเฟตโมโนเมอร์ (Active phosphate monomer) ชนิดเท็นเอ็มดีพีที่ปลายข้างหนึ่ง สามารถเกิดพันธะเคมีระหว่างหมู่ฟอสเฟตของเท็นเอ็มดีพีกับชั้นออกไซด์ (Oxide layer) ของเซอร์โคเนีย โดยปกติยังสามารถยึดติดเซอร์โคเนีย อะลูมินา (Alumina) และโลหะผสมพื้นฐาน (Base metal alloy) ส่วนปลายอีกข้างเป็นคาร์บอนพันธะคู่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับสารยึดติดหรือเรซินแอคทีฟได้ (Chen et al, 2012) ทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียกับแบร์กเกตจัดฟันสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Derand P ในปี 2000 ที่กล่าวว่ากรอกผิวเซอร์โคเนียด้วยเข็มกรอกากเพชร ช่วยให้ค่าการยึดติดแข็งแรงขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพีเป็นองค์ประกอบ และยังได้พื้นผิวที่หยาบที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น (Derand & Derand, 2000) นอกจากนี้แรงยึดดังกล่าวเป็นค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก โดยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ที่แสดงค่าความแข็งแรงของกำลังแรงยึดระหว่างแบร์กเกตจัดฟัน โลหะกับวัสดุบูรณะหรือฟันที่สามารถเคลื่อนฟันได้ควรอยู่ในช่วงของ 6 ถึง 8 เมกะปาสกาล (Harris, Joseph, & Rossouw, 1990; Reynolds, 1975) ในขณะที่การใช้กรอกผิวด้วยหัวกรอเพชร หรือการใช้สารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ซีไพร์มพลัสเพียงอย่างเดียวทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผิวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าที่ได้ไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน เกิดการยึดติดที่ไม่ดีมีส่งผลให้การรักษาล่าช้า เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่ออ่อนและเนื้อเยื่อแข็ง เสี่ยงต่อเครื่องมือหลุดลงคอ (Pandis et al, 2007)

มีการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับการทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียที่มีเท็นเอ็มดีพีเป็นองค์ประกอบจะทำให้ค่าความแข็งแรงของกำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดและยอมรับได้ทางคลินิก ซึ่งมีค่าหลากหลายตั้งแต่ 11.92 ถึง 26.74 เมกะปาสกาล โดยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองคืออนุภาค 110 ไมครอน ที่แรงดัน 0.3 เมกะปาสกาล และอนุภาค 50 ไมครอน ที่แรงดัน 0.4 เมกะปาสกาล (Byeon, Lee, & Bae, 2017; Lee, Ahn, An, & Park, 2018) แต่ผลการศึกษานี้พบว่าการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับการทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ที่มีเท็นเอ็มดีพีเป็นองค์ประกอบให้ผลดีกว่ากลุ่มควบคุม แต่ค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่าการปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียด้วยวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ความแตกต่างนี้อธิบายได้จากปัจจัยในการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน โดยปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างคือวิธีการปรับสภาพผิวให้เกิดความขรุขระ เกิดการยึดติดเชิงกลขึ้นส่งผลให้ค่าแรงยึดในการศึกษาที่กล่าวมามีค่าสูงกว่า เนื่องจากในการศึกษานี้ใช้การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยอนุภาค 50 ไมครอน รูปร่างกลม ที่แรงดัน 0.25 เมกะปาสกาล โดยสาเหตุที่เลือกใช้ขนาด รูปร่าง และแรงดันนี้เพราะมีการศึกษาก่อนหน้านี้กล่าวว่าเป็นการเตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียที่ทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิว มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเตตระโกนอลไปเป็นโครงสร้างผลึกโมโนคลินิกในระดับที่เหมาะสม ไม่ทำให้ความ



แข็งแรงของเซอร์โคเนียต่ำลง (Hallmann et al, 2012) อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุดตามการศึกษาของ Moon และคณะ (Moon et al, 2016)

พื้นที่การยึดติดมีผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว เนื่องจากการทดลองนี้ได้กำหนดพื้นที่ยึดติดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร และความหนาของเรซินแอดฮีซีฟ 50 ไมครอน โดยอ้างอิงมาจาก ISO 29022:2013 (ISO, 2013) และ ISO 4049:2009 (ISO, 2009) เพื่อควบคุมพื้นที่ยึดติดให้เท่ากันและมีความหนาของเรซินแอดฮีซีฟที่เหมาะสม ซึ่งเป็นพื้นที่ยึดติดที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่นที่ใช้พื้นที่การยึดติดเท่ากับพื้นที่บริเวณหน้าตัดของแบร์กเกตจัดฟัน ค่าแรงยึดที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ในทุกกลุ่ม (Byeon et al, 2017; Lee et al, 2018) ในขณะที่เกี่ยวกับการฟันผงอะลูมิเนียมออกไซด์ อาจมีเศษหลงเหลืออยู่ของผงอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้การเชื่อมติดด้วยพันธะเคมีกับผิวเซอร์โคเนียไม่ดีเท่าที่ควร การฟันผงอะลูมิเนียมออกไซด์เพียงอย่างเดียว ไม่ทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นเนื่องจากเรซินแอดฮีซีฟที่ใช่มองค์ประกอบคือบิสฟิเอ็มเอ ซึ่งไม่เกิดพันธะเคมีกับเซอร์โคเนีย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee และคณะ ในปี 2018 (Byeon et al, 2017; Lee et al, 2018) การเพิ่มพื้นที่ยึดติดไม่มีผลหากไม่สามารถเชื่อมติดกันด้วยพันธะทางเคมีได้ (Sciasci et al, 2015)

จากการศึกษาลักษณะความล้มเหลว พบความล้มเหลวแบบเดียวที่ระหว่างชั้นเซอร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟ คือมีการแตกหักระหว่างชั้นเซอร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟในพื้นที่ร้อยละ 70 ขึ้นไป โดยในกลุ่มทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ และกลุ่มกรอด้วยเข็มกรอกากเพชรร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ พบเรซินแอดฮีซีฟบางส่วนติดอยู่ที่ผิวเซอร์โคเนียแต่ไม่เกินร้อยละ 30 แสดงถึงการเชื่อมติดของพันธะเคมีระหว่างเห็นเอ็มดีพีและออกซิเจนอะตอมบนผิวของเซอร์โคเนีย แต่เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) ที่พื้นผิวของเซอร์โคเนียมีประมาณร้อยละ 5.4 (Lohbauer, Zipperle, Rischka, Petschelt, & Muller, 2008) จึงทำให้เกิดความล้มเหลวที่ระหว่างชั้นเซอร์โคเนียกับเรซินแอดฮีซีฟเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่กลุ่มอื่นไม่พบเรซินแอดฮีซีฟที่พื้นผิวของเซอร์โคเนียเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคป สอดคล้องกับค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่มีค่ามากที่สุดในกลุ่มที่กรอด้วยเข็มกรอกากเพชรร่วมกับทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ และในกลุ่มที่ทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุมที่ผิวเซอร์โคเนียไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษานี้เป็นการจำลองครอบฟันโมโนลิธิคเซอร์โคเนีย เนื่องจากเป็นวัสดุมีความเนื้อสูง ยึดติดได้ยาก ในขณะที่การทดลองก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาเรื่องการยึดกับเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกพอร์ซเลน พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวก่อนการยึดกับแบร์กเกตจัดฟัน โลหะแนะนำให้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 9.6 เป็นเวลาหนึ่งนาที หลังจากนั้นทาสารไซเลน (Silane) จะให้ค่ากำลังแรงยึดที่เพียงพอต่อแรงเคลือบฟัน (Bach, Torrealba, & Lagravère, 2013) โดยวิธีนี้สามารถใช้ได้กับครอบฟันประเภทเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกพอร์ซเลนวีเนียร์ที่มีเซอร์โคเนียเป็นแกนกลาง

อย่างไรก็ดี การศึกษานี้ใช้เรซินแอดฮีซีฟเพียงชนิดเดียวซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือบิสฟิเอ็มเอ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมจากการใช้เรซินแอดฮีซีฟที่มีองค์ประกอบของเห็นเอ็มดีพีที่สามารถยึดวัสดุบูรณะเซอร์โคเนียได้ด้วยพันธะเคมีเปรียบเทียบกับเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานทางคลินิก นอกจากนี้ การศึกษานี้ไม่ได้มีกลุ่มที่ใช้การจำลองสภาวะใน



ช่องปาก (Artificial aging) ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็น (Thermocycling machine) ซึ่งสามารถบอกได้ถึงผลการยึดติดในระยะยาว ควรมีการศึกษาต่อเนื่องในอนาคตต่อไป

## 6. บทสรุป

การใช้เข็มกรอกากเพชรความหยาบ 106 ไมโครเมตร กรอที่ผิวเซอร์โคเนียเพื่อเพิ่มความขรุขระที่ผิวร่วมกับ การทาสารปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ที่มีองค์ประกอบของอนุพันธ์กรดฟอสฟอริกหรือทีเอ็นเอ็มดีพี สามารถเพิ่ม ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซอร์โคเนียและแบร็กเก็ตจัดฟันโลหะได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าเรซินแอดฮีซีฟที่ใช้มีองค์ประกอบหลักเป็นบิสฟีเอ็มเอ ซึ่งไม่เกิดพันธะเคมีกับเซอร์โคเนียก็ตาม

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท อินเฮ้าส์ เด็นทัล อาร์ต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ชิ้นงานเซอร์โคเนียและเผาชิ้นงาน บริษัท สามเอ็ม ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซินแอดฮีซีฟ รวมไปถึงศูนย์วิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการศึกษาครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Bach, G., Torrealba, Y., & Lagravère, M. (2013). Orthodontic bonding to porcelain: A systematic review. *The Angle orthodontist*, 84. doi:10.2319/083013-636.1
- Byeon, S. M., Lee, M. H., & Bae, T. S. (2017). Shear Bond Strength of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sandblasted Y-TZP Ceramic to the Orthodontic Metal Bracket. *Materials (Basel, Switzerland)*, 10(2). doi:10.3390/ma10020148
- Chen, L., Suh, B. I., Brown, D., & Chen, X. (2012). Bonding of primed zirconia ceramics: evidence of chemical bonding and improved bond strengths. *Am J Dent*, 25(2), 103-108.
- Curtis, A. R., Wright, A. J., & Fleming, G. J. (2006). The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent*, 34(3), 195-206. doi:10.1016/j.jdent.2005.06.006
- de Souza, G., Hennig, D., Aggarwal, A., & Tam, L. E. (2014). The use of MDP-based materials for bonding to zirconia. *J Prosthet Dent*, 112(4), 895-902. doi:10.1016/j.prosdent.2014.01.016
- Denry, I., & Kelly, J. R. (2008). State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*, 24(3), 299-307. doi:10.1016/j.dental.2007.05.007
- Derand, P., & Derand, T. (2000). Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont*, 13(2), 131-135.



- El-Mowafy, O., & Brochu, J. F. (2002). Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations--a literature review. *J Can Dent Assoc*, 68(4), 233-237.
- 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. *Surf Coat Technol*, 206(19), 4293-4302. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.04.043
- Hannink, R. H. J., Kelly, P. M., & Muddle, B. C. (2000). Transformation Toughening in Zirconia-Containing Ceramics. *J Am Ceram Soc*, 83(3), 461-487. doi:10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x
- Harris, A. M., Joseph, V. P., & Rossouw, E. (1990). Comparison of shear bond strengths of orthodontic resins to ceramic and metal brackets. *J Clin Orthod*, 24(12), 725-728.
- International Organization for & Standardization. (2009). Dentistry-Polymer-based restorative materials. *ISO 4049*.
- International Organization for & Standardization. (2013). Dentistry-Adhesion-Notched-edge shear bond strength test. *ISO 29022*.
- Karan, S., Buyukyilmaz, T., & Toroglu, M. S. (2007). Orthodontic bonding to several ceramic surfaces: are there acceptable alternatives to conventional methods? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132(2), 144.e147-114. doi:10.1016/j.ajodo.2006.12.006
- Kim, H. J., Lim, H. P., Park, Y. J., & Vang, M. S. (2011). Effect of zirconia surface treatments on the shear bond strength of veneering ceramic. *J Prosthet Dent*, 105(5), 315-322. doi:10.1016/s0022-3913(11)60060-7
- Kimmich, M., & Stappert, C. F. (2013). Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations: a review and clinical application. *J Am Dent Assoc*, 144(1), 31-44. doi:10.14219/jada.archive.2013.0011
- Lee, J. Y., Ahn, J., An, S. I., & Park, J. W. (2018). Comparison of bond strengths of ceramic brackets bonded to zirconia surfaces using different zirconia primers and a universal adhesive. *Restor Dent Endod*, 43(1), e7. doi:10.5395/rde.2018.43.e7
- Lohbauer, U., Zipperle, M., Rischka, K., Petschelt, A., & Muller, F. A. (2008). Hydroxylation of dental zirconia surfaces: characterization and bonding potential. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 87(2), 461-467. doi:10.1002/jbm.b.31126
- Manicone, P. F., Rossi Iommetti, P., & Raffaelli, L. (2007). An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent*, 35(11), 819-826. doi:10.1016/j.jdent.2007.07.008
- Matinlinna, J. P., Heikkinen, T., Ozcan, M., Lassila, L. V., & Vallittu, P. K. (2006). Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dent Mater*, 22(9), 824-831. doi:10.1016/j.dental.2005.11.035



- Moon, J.-E., Kim, S.-H., Lee, J.-B., Han, J.-S., Yeo, I.-S., & Ha, S.-R. (2016). Effects of airborne-particle abrasion protocol choice on the surface characteristics of monolithic zirconia materials and the shear bond strength of resin cement. *Ceramics International*, 42(1, Part B), 1552-1562. doi:10.1016/j.ceramint.2015.09.104
- Ohkuma, K., Kazama, M., & Ogura, H. (2011). The grinding efficiency by diamond points developed for yttria partially stabilized zirconia. *Dent Mater J*, 30(4), 511-516.
- Pandis, N., Pandis, B. D., Pandis, V., & Eliades, T. (2007). Occupational hazards in orthodontics: A review of risks and associated pathology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132(3), 280-292. doi:10.1016/j.ajodo.2006.10.017
- Piasecik, J. R., Wolter, S. D., & Stoner, B. R. (2011). Development of a novel surface modification for improved bonding to zirconia. *Dent Mater*, 27(5), e99-105. doi:10.1016/j.dental.2011.01.005
- Reynolds, I. R. (1975). A Review of Direct Orthodontic Bonding. *J Orthod*, 2(3), 171-178. doi:10.1080/0301228X.1975.11743666
- Sailer, I., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M., & Hammerle, C. H. (2007). A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res*, 18 Suppl 3, 86-96. doi:10.1111/j.1600-0501.2007.01468.x
- Sciasci, P., Abi-Rached, F. O., Adabo, G. L., Baldissara, P., & Fonseca, R. G. (2015). Effect of surface treatments on the shear bond strength of luting cements to Y-TZP ceramic. *J Prosthet Dent*, 113(3), 212-219. doi:10.1016/j.prosdent.2014.09.012
- Sriamporn, T., Thamrongananskul, N., Busabok, C., Poolthong, S., Uo, M., & Tagami, J. (2014). Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dent Mater J*, 33, 79-85. doi:10.4012/dmj.2013-243
- Tzanakakis, E. G., Tzoutzas, I. G., & Koidis, P. T. (2016). Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *J Prosthet Dent*, 115(1), 9-19. doi:10.1016/j.prosdent.2015.09.008
- Vagkopoulou, T., Koutayas, S. O., Koidis, P., & Strub, J. R. (2009). Zirconia in dentistry: Part 1. Discovering the nature of an upcoming bioceramic. *Eur J Esthet Dent*, 4(2), 130-151.
- Wille, S., Lehmann, F., & Kern, M. (2017). Durability of Resin Bonding to Lithium Disilicate and Zirconia Ceramic using a Self-etching Primer. *J Adhes Dent*, 19(6), 491-496. doi:10.3290/j.jad.a39545
- Wolfart, M., Lehmann, F., Wolfart, S., & Kern, M. (2007). Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater*, 23(1), 45-50. doi:10.1016/j.dental.2005.11.040