

ผลของสารยึดติดที่แตกต่างกันต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนกับเรซินคอมโพสิต

Effect of Different Adhesives to Shear Bond Strength Between Polyetheretherketone and Resin Composite

ปัญจลักษณ์ ฉัตรแก้วบุญเรือง¹, พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์¹, พัชรารวม ศีลธรรมพิทักษ์², วัชรพงศ์ อรุณแสง²
นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่¹
ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่²

Panchaluk Chatkaewboonruang¹, Pisaisit Chaijareenont¹, Patcharawan Silthampitag², Watcharapong Aroonsang²
¹Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
²Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2563; 41(2) : 61-73
CM Dent J 2020; 41(2) : 61-73

Received: 20 June, 2019
Revised: 12 November, 2019
Accepted: 18 November, 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของสารยึดติดที่แตกต่างกันต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในการยึดระหว่าง พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนกับเรซินคอมโพสิต

ระเบียบและวิธีวิจัย: เตรียมชิ้นงานพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนจำนวน 39 ชิ้น ขนาด 5x5x2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ด้วยเครื่องไอโซเมต ยึดชิ้นงานในแบบหล่อโลหะด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง ชัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 400 800 1,200 และ 2,000 กริตตามลำดับ สุ่มชิ้นงาน 3 ชิ้นเพื่อทดสอบความขรุขระพื้นผิวก่อนและหลังเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมโครเมตร ที่ความดันบรรยากาศ 4 บาร์ เป็นเวลา 15 วินาที นำชิ้นงานที่เหลือทั้งหมดไปเป่าทรายด้วยวิธีเดียวกัน แล้วแบ่งชิ้นงาน

Abstract

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of different adhesives on shear bond strength of bonding between polyetheretherketone and resin composite

Material and methods: Thirty nine specimens of polyetheretherketone were prepared by Isomet (5×5×2 mm³), and were embedded in a metal ring with an auto-polymerized acrylic resin. All specimens were polished with P400 P800 P1200 and P2000 grit sand papers. Three specimens were randomly selected to investigate surface roughness before and after sandblasting with 110 μm alumina

Corresponding Author:

วัชรพงศ์ อรุณแสง
อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Watcharapong Aroonsang
Lecturer, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: watcharapong.a@cmu.ac.th, awatcharapong@gmail.com

ออกเป็น 4 กลุ่มกลุ่มละ 9 ชิ้น ตามการใช้สารยึดติดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มควบคุม (ไม่ใช้สารยึดติด) กลุ่มสารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ กลุ่มสารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ และกลุ่มสารยึดติดชนิดเอคิวบอนด์พลัส สุ่มชิ้นงานในแต่ละกลุ่มออกมากลุ่มละ 3 ชิ้นเพื่อทดสอบมุมสัมผัสด้วยการหยดน้ำปราศจากประจุ และนำชิ้นงานที่เหลือกลุ่มละ 6 ชิ้นยึดกับเรซินคอมโพสิต ทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้เครื่องทดสอบสากล การวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับผลการทดสอบความขรุขระพื้นผิว ใช้การทดสอบค่ากลางของ 2 ประชากรที่ไม่อิสระ การทดสอบมุมสัมผัสและความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียวร่วมกับสถิติเชิงซ้อน Scheffe ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการศึกษา: กลุ่มสารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด ($31.24 \pm (1.63)$ เมกะปาสคาล) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มสารยึดติดชนิดเอคิวบอนด์พลัส ($28.44 \pm (2.60)$ เมกะปาสคาล) โดยทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มสารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ ($24.96 \pm (3.77)$ เมกะปาสคาล) และกลุ่มควบคุม ($22.85 \pm (2.89)$ เมกะปาสคาล) ความขรุขระพื้นผิวหลังจากเป่าทรายพบว่ามีความมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มุมสัมผัสของกลุ่มสารยึดติดชนิดเอคิวบอนด์พลัส มีค่าน้อยที่สุด ($22.85 \pm (2.89)$ องศา) และกลุ่มควบคุมมีค่ามากที่สุด ($140.42 \pm (6.04)$ องศา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการศึกษา: การใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ หลังจากเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมโครเมตร ให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: มุมสัมผัส พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน เป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินา ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ความขรุขระพื้นผิว

particles at atmospheric pressure of 4 bars for 15 seconds. The rest of the specimens were sandblasted, as previously described, then were randomly divided into 4 groups ($n=9$) according to the adhesives application: Control (no adhesive applied), Heliobond, Clearfil SE bond and AQ Bond plus. Three specimens in each group were subjected to contact angle measurement with de-ionized water. Six specimens were bonded to resin composite and subjected to shear bond strength testing in a universal testing machine. The surface roughness data were analyzed with paired sample t-test, the contact angle and the shear bond strength were analyzed with One-way ANOVA and Scheffe multiple comparisons with significant set at $p = 0.05$.

Result: Clearfil SE bond group revealed the highest shear bond strength ($31.24 \pm (1.63)$ MPa). There was no significant difference in shear bond strength between Clearfil SE bond group and AQ bond plus group ($28.44 \pm (2.60)$ MPa), but there were statistically significant differences compared to that of Heliobond group ($24.96 \pm (3.77)$ MPa) and Control group ($23.04 \pm (3.11)$ MPa). The surface roughness before sandblasting was significantly lower than that of specimens after sandblasting. The contact angle of AQ Bond plus group had the least value ($22.85 \pm (2.89)$ degrees), and Control group was significantly higher than the other groups ($140.42 \pm (6.04)$ (degrees)

Conclusions: The highest shear bond strength was achieved by application of Clearfil SE bond after sandblasting with 110 μ m alumina particles.

Keywords: contact angle, polyetheretherketone, sandblasting, shear bond strength, surface roughness

บทนำ

พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน (polyetheretherketone) หรือ พียออีเค (PEEK) เป็นวัสดุหลอมร้อนผ่านกลับได้ (thermoplastic)⁽¹⁻¹⁰⁾ เป็นโฮโมพอลิเมอร์แบบเส้นตรง (linear homopolymer)^(1,11) และเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer)⁽¹⁾ ผู้ผลิตพียออีเคครั้งแรกคือ Bonner ในปีค.ศ. 1962⁽¹²⁾ ต่อมาได้ถูกนำมาปรับปรุงโดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ประเทศอังกฤษในปีค.ศ. 1978^(1,13) Rose และ Staniland เป็นผู้นำมาจดทะเบียนในปีค.ศ. 1982 จากนั้นจึงเริ่มนำพียออีเคมาใช้ทดแทนโลหะในงานรากเทียมเมื่อปีค.ศ. 1990⁽¹⁾ พียออีเคที่นำมาใช้ในระยาะแรกเป็นพียออีเคบริสุทธิ์ (pure PEEK) หรือพียออีเคปราศจากสารอัดแทรก (unfilled PEEK) ต่อมาดัดแปลงโดยการเติมสารต่างๆ เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide) ประมาณร้อยละ 3 คาร์บอนไฟเบอร์รีอินฟอร์ส (carbon fiber reinforce) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (zirconium oxide) หรือนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nanohydroxyapatite) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางรูปลักษณะ (optical properties)⁽¹⁾

คุณสมบัติที่ดีของพียออีเค ได้แก่ ทนความร้อนและทนการละลายตัวในสารละลาย (heat and dissolution resistance)⁽¹⁴⁾ มีเสถียรภาพเชิงมิติที่ดี (dimensional stability)⁽¹⁵⁾ และละลายน้ำน้อย^(2,6,7,9,16) นอกจากนี้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) 3-4 GPa⁽¹⁾ มีค่าใกล้เคียงกับกระดูกทึบ (cortical bone) และกระดูกโปร่ง (cancellous bone)⁽¹⁷⁾ มีจุดหลอมเหลวสูง (343 องศาเซลเซียส) และมีเสถียรภาพทางเคมี (chemical stability)⁽⁹⁾ นอกจากนี้พียออีเคยังโปร่งรังสีและเข้ากันได้กับเทคนิคการถ่ายภาพอื่นๆ เช่น การสร้างภาพด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (magnetic resonance image) หรือเอ็มอาร์ไอ (MRI) และการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์หรือซีที (Computerized tomography; CT)⁽¹⁴⁾ ในทางทันตกรรมนำพียออีเคมาใช้หลายรูปแบบ เช่น เป็นหลักยึดรากเทียมชั่วคราว (temporary implant abutment) เป็นโครงสร้างฐาน (sub-structure) ของฟันเทียมบางส่วนแบบติดแน่น (fixed partial denture) หรือโครงร่าง (framework) ของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ (removable partial denture) โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิตชิ้นงาน (computer

-aided design/computer-aided manufacture) หรือแคด/แคม (CAD/CAM)^(2,4,7-10,14,16-19) แต่เนื่องจากพียออีเคมีสีขาวขุ่นไม่เหมือนสีฟันธรรมชาติ ไม่สามารถนำมาบูรณะในบริเวณที่ต้องการความสวยงามเช่นฟันหน้า จึงจำเป็นต้องปิดด้านหน้า (facing) ด้วยเรซินคอมโพสิต^(5,9,10,14-16,19,20) ในทางทันตกรรมใช้เรซินคอมโพสิตร่วมกับพียออีเคเพื่อเพิ่มความสวยงาม ได้แก่ การใช้เรซินคอมโพสิตปิดด้านหน้าของครอบฟันหน้าที่มีพียออีเคเป็นโครงสร้างฐาน ใช้ฟันเรซินคอมโพสิตแทนฟันอะคริลิกเรซินบนโครงร่างของฟันเทียมถอดได้พียออีเคเพื่อลดอัตราการสึกของซี่ฟันเทียม หรือใช้เรซินคอมโพสิตในการซ่อมแซมชิ้นงานพียออีเคข้างเกี้ยว เป็นต้น

เนื่องจากพียออีเคมีคุณสมบัติความเฉื่อย (inert) มีพลังงานพื้นผิว (surface energy) ของวัสดุต่ำ การไหลแผ่ของน้ำบนพื้นผิวต่ำ (poor wettability) มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์สูง^(9,11) และการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องปรับสภาพพื้นผิวของพียออีเคก่อนการยึดติดกับเรซินคอมโพสิต เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึด (bond strength) ให้มากขึ้น⁽⁹⁻¹¹⁾

การปรับสภาพพื้นผิวของพียออีเคทำได้ 3 วิธี คือทางเคมี ทางกล และทางกายภาพ ได้แก่ การใช้กรดซัลฟูริก การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 และ 110 ไมครอน การเคลือบซิลิกาโดยวิธีไตรโบเคมีคอล (tribochemical treatment) และการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมา (plasma treatment) เพื่อเพิ่มการไหลแผ่ของน้ำบนพื้นผิวพียออีเค จากการศึกษาของ Silthampitag และคณะ⁽²¹⁾ ศึกษาวิธีเตรียมพื้นผิวพียออีเคก่อนการยึดติดกับเรซินคอมโพสิต พบว่ากลุ่มของพียออีเคที่กัดพื้นผิวด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 98 ให้ความแข็งแรงยึดเฉือน (shear bond strength) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายปิรันยา (piranha solution H₂SO₄: H₂O₂ = 1:1; 30 sec)⁽¹⁰⁾ และการเป่าทราย (sandblasting) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Schmidlin และคณะ⁽¹⁷⁾ Rosentritt และคณะ⁽⁸⁾ Rocha และคณะ⁽¹¹⁾ Schwitalla และคณะ⁽⁹⁾ และ Culhaoglu และคณะ⁽¹⁴⁾ พบว่ากรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 98 สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างพียออีเคกับเรซินคอมโพสิตได้ดีที่สุด แต่กรดซัลฟูริกมีความสามารถในการกัดกร่อนสูง ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวพียออีเคจึงเป็นวิธีที่อันตราย ไม่ควรนำมาใช้ในบริเวณใกล้เคียง

ผู้ป่วย⁽⁴⁾ อีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดโดยการเป่าทราย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ง่ายและไม่เป็นอันตรายในคลินิก⁽¹⁸⁾ สามารถนำการเป่าทรายมาใช้รักษาผู้ป่วยข้างแก้อีได้ เช่น การเตรียมพื้นผิวครอบฟันที่มีส่วนโครงสร้างฐานทำมาจากฟลูออไรด์ก่อนยึดติดกับฟันธรรมชาติด้วยเรซินซีเมนต์เป็นต้น นอกจากนี้การนำสารยึดติดชนิดต่างๆ มาใช้ร่วมกับการเป่าทรายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดเหนี่ยวให้กับวัสดุถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง^(2-4,6,10,19) การศึกษาของ Rosentritt และคณะ⁽⁸⁾ พบว่ากลุ่มที่เตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์ด้วยการเป่าทรายร่วมกับการใช้สารยึดติดในกลุ่มแอซีโตน (acetone) หรือกลุ่มฟอสเฟต-เบสเมทาคริเลต (phosphate-based methacrylate) ให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยกรดซัลฟูริกและการเคลือบผิวด้วยซิลิกาหรือโรคาเทค (Rocatec[®]) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Rocha และคณะ⁽¹¹⁾ เปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟลูออไรด์กับเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่มที่ใช้วิธีการเป่าทรายให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดเช่นกัน

สารยึดติดที่ใช้ในทางทันตกรรม ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีคือมอนอเมอร์กลุ่มทำงาน (functional monomer)⁽²²⁾ จากการศึกษาของ Kern และคณะ⁽⁴⁾ เปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์ด้วยวิธีต่างๆ ร่วมกับการใช้สารยึดติดหลายชนิดก่อนนำไปยึดกับเรซินคอมโพสิต พบว่าสารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานเมทาคริเลต (methacrylate) ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างฟลูออไรด์กับเรซินคอมโพสิตได้สูงสุด แต่การใช้มอนอเมอร์กลุ่มฟอสเฟต (phosphate monomer) หลังการเป่าทรายที่พื้นผิวฟลูออไรด์ไม่เกิดการยึดติดกับเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอื่นๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของสารยึดติดต่อความแข็งแรงยึดระหว่างฟลูออไรด์กับเรซินคอมโพสิตแสดงในตารางที่ 1 การศึกษานี้เลือกใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ ที่มีเมทิลเมทาคริเลต เอควิโอบอนด์พลัส ที่มี 4-เมทาคริลอยล๊อกซีเอทิลโทรเมลลิเตต แอนไฮไดรด์ (4-META; 4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride) หรือ 4-เมต้า (4-META) เป็นมอนอเมอร์กลุ่มทำงาน ซึ่งมีส่วนประกอบของเมทิลเมทาคริเลต (methylmethacrylate) ร่วมด้วย และเลือกใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานคือ 10-เมทา-

คริลอยล๊อกซีเอทิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) หรือ 10-เอ็มดีพี (10-MDP) ที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ และเป็นมอนอเมอร์กลุ่มทำงานที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมาเป็นกลุ่มทดลอง เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟลูออไรด์กับเรซินคอมโพสิต หลังการเตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์ด้วยการเป่าทราย

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีความแตกต่างกันในการเตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการเป่าทรายในการเตรียมพื้นผิวฟลูออไรด์ เป็นวิธีที่เป็นอันตรายน้อย และทำได้ง่ายในทางคลินิก โดยมีสมมติฐานงานวิจัยที่ว่าสารยึดติดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในการยึดระหว่างฟลูออไรด์กับเรซินคอมโพสิต

วัสดุและวิธีการ

นำแผ่นฟลูออไรด์ (Dentokeep PEEK, Nt-trading, Karlsruhe, Germany) ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม ขนาด 5x5x2 ลูกบาศก์มิลลิเมตรด้วยเครื่องตัดไอโซเมต (Isomet[®] 1000 precision saw, Buehler, Illinois, USA) ด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที จำนวนทั้งหมด 39 ชิ้น ยึดชิ้นงานลงกึ่งกลางแบบหล่อโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมเอง (Orthojet, Lang Dental, Illinois, USA) ตามวิธีการและสัดส่วนที่บริษัทผลิตแนะนำ รองอะคริลิกเรซินทำปฏิกิริยาปัมตัวอย่างสมบูรณ์ขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายน้ำ (Grinding polishing machine, MEGA Advance, Hefei, China) ที่ความละเอียด 400 800 1200 และ 2000 กริต (grit) เป็นเวลา 1 นาทีต่อหนึ่งความละเอียด ภายใต้การหล่อน้ำเย็น เพื่อปรับความขรุขระพื้นผิววัสดุ (surface roughness) ทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค (Ultrasonic cleaner, Coltene/Whaldent UC 125H BioSonic[®], Ohio, USA) ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้แห้ง^(21,23)

สุ่มชิ้นงาน 3 ชิ้น นำไปทดสอบความขรุขระพื้นผิวเปรียบเทียบก่อนและหลังเป่าทราย จากนั้นนำชิ้นงานที่เหลือ 36 ชิ้น เป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมครอน ที่ความดันบรรยากาศ 4 บาร์ เป็นเวลา 15 วินาที ด้วยเครื่องเป่าทราย (Sandblasting machine, Renfert basic

ตารางที่ 1 การศึกษาสารยึดติดชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงยึดระหว่างฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิต^(2-7,10,15,16,18,20)

Table 1 Studies of different adhesives effect on bond strength between Polyetheretherketone and resin composite^(2-7,10,15,16,18,20)

Studies	Test value	Adhesive	Strength (MPa)
1. Stawarczyk <i>et al.</i> , 2013 ⁽²⁰⁾	TBS	Visiobond & Signum PEEK bond	~ 40-60
2. Fuhrmann <i>et al.</i> , 2013 ⁽²⁾	TBS	Monobond plus 5 min + Luxatemp LC 20 s + Multilink automix	~ 15-21
3. Keul <i>et al.</i> , 2014 ⁽¹⁰⁾	TBS	- Heliobond - Signum PEEK bond - Visio.link	18.0 ± 5.0 15.0 ± 7.0 18.0 ± 3.0
4. Stawarczyk <i>et al.</i> , 2018 ⁽¹⁸⁾	TBS	Visio.link	28.0 ± 3.0
5. Stawarczyk <i>et al.</i> , 2014 ⁽³⁾	TBS	Visio.link	20.0 ± 3.0
6. Kern <i>et al.</i> , 2012 ⁽⁴⁾	TBS	Luxatemp. Glaze & Bond	15.0 ± 3.0
7. Stawarczyk <i>et al.</i> , 2015 ⁽⁵⁾	Fracture loading	- Highest Fx loading : No surface treatment + Visio.link + Signum composite - Lowest Fx loading : Piranha solution + Visio.link + Signum composite	737 ± 138 277 ± 71
8. Caglar <i>et al.</i> , 2018 ⁽⁶⁾	SBS	Visio.link	19.86 ± 2.52
9. Zhou <i>et al.</i> , 2014 ⁽¹⁵⁾	SBS	- SE Bond/ clearfil AP-X - Rely X Unicem	8.7 ± 0.2 7.4 ± 0.6
10. Sprossera <i>et al.</i> , 2014 ⁽⁷⁾	SBS	Recommended... - Rely X ARC - Variolink II - Clearfil SA	15.3 ± 7.2 15.2 ± 7.2 6.4 ± 5.9
11. Stawarczyk <i>et al.</i> , 2013 ⁽¹⁶⁾	Adhesion	No adhesion from cold plasma + Visio.link/ Signum PEEK bond/ Ambarino P60	0.0

*SBS = Shear bond strength, TBS = Tensile bond strength

ตารางที่ 2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

Table 2 Materials used in this research

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ	Lot. No.
แผ่นฟิออีเค	Dentokeep PEEK, Nt-trading Karlsruhe, Germany	Polyetheretherketone Titanium dioxide pigments (ceramic filled 20%)	13DK1801
อะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง	Lang, Wheeling, Illinois, USA	Methyl methacrylate 99-97-8 N, N-dimethyl-p-toluidine	1880-13AA
สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Bis-GMA 60%, TEGDMA 40%	W87421
สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์	3M ESPE, St Paul, Minnesota, USA	MDP Phosphate Monomer*, dimethacrylate resins, HEMA	000040
สารยึดติดชนิดเอคิวบอนด์พลัส	Sun Medical Co., Shiga, Japan	AQ Bond: water, acetone, 4-META*, UDMA, monomethacrylates, photo-initiator, stabilizer AQ-sponge: sodium p-toluenesulfinate adsorbed in polyurethane foam	SS1
เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ พิวล์เทคแซต 350 เอ็กซ์ที	3M ESPE, St Paul, Minnesota, USA	Methacrylate resin monomers Bis-GMA, TEGDMA and Bis-EMA; dimethacrylate polymer; silica (75 nm) and zirconia (5-10 nm) nanofiller; approximately 65% wt filler load	N522139
อนุภาคทราย	Cobra™, Renfert, Hilzingen, Germany	Alumina oxide 110 micron	-

*มอนอเมอร์กลุ่มทำงาน

classic, Baden-Wurttemberg, Germany) ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องพ่นไอน้ำสตีมเจ็ต รุ่นอีวี 1 (Steamjet EV1, Silfradent, Sofia, Italy) เป็นเวลา 15 วินาที งานชิ้นงานแห้ง แบ่งกลุ่มชิ้นงานทดสอบเป็น 4 กลุ่มกลุ่มละ 9 ชิ้น ตามสารยึดติดแต่ละชนิด กลุ่มควบคุมคือกลุ่มที่ไม่ใช้สารยึดติดใด ๆ กลุ่มที่ 2 ใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ กลุ่มที่ 3 ใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ และกลุ่มที่ 4 ใช้สารยึดติดชนิดเอควิบอนด์พลัส ฉายแสงตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ชิ้นงานในแต่ละกลุ่มถูกแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วนคือใช้วัดมุมสัมผัส (contact angle) จำนวน 3 ชิ้น และอีก 6 ชิ้น ถูกนำไปยึดกับเรซินคอมโพสิตเพื่อวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

วัสดุอุปกรณ์

- วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย แสดงตารางที่ 2
- การแบ่งกลุ่มทดลอง แสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กลุ่มทดลอง

Table 3 Experimental groups

กลุ่ม	การจำแนกกลุ่มทดลอง (n=9)
1	เป่าทรายอย่างเดียว
2	เป่าทราย + เฮลิโอบอนด์
3	เป่าทราย + เคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์
4	เป่าทราย + เอควิบอนด์พลัส

การศึกษาความขรุขระพื้นผิวของแผ่นพีอีเค

การศึกษาความขรุขระพื้นผิวพีอีเคจากการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำทุกความละเอียดจนครบ 3 ชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบความขรุขระ (profilometer Mitutoyo Surf-test SJ-310, Kanagawa, Japan)) หัวเข็มขนาดรัศมี 2 ไมโครเมตร และความยาวคัตออฟ (cutoff) 0.8 มิลลิเมตร บันทึกค่าความขรุขระ (Ra) โดยการลากหัวเข็มเป็นเส้นตรงเป็นระยะทางยาว 2 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นงานลาก 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 มิลลิเมตรและขนานกัน นำไปหาค่าเฉลี่ยแต่ละชิ้นงาน^(21,23) เพื่อเป็นข้อมูลค่าความขรุขระพื้นผิวก่อนการเป่าทราย จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดเป่าทรายแล้วนำกลับมาวัดซ้ำด้วยวิธีเดิมในตำแหน่งเดิม เพื่อเป็นข้อมูลค่าความขรุขระพื้นผิวหลังการเป่าทราย นำข้อมูลทั้งก่อนและหลังการเป่าทรายมาพิจารณาความแตกต่างด้วยสถิติการทดสอบ

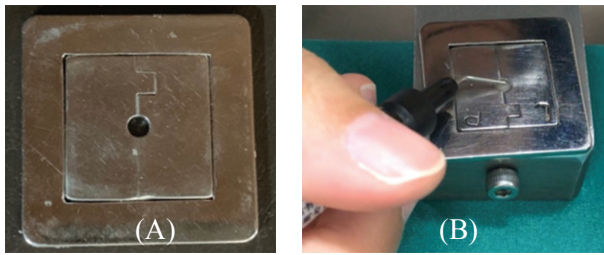
ความแตกต่างค่ากลางของ 2 ประชากรที่ไม่อิสระ (pair sample t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 24.0 (Statistics analysis program, SPSS version 24, IBM, New York, USA)

การศึกษามุมสัมผัสของแผ่นพีอีเคที่เคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติดแต่ละชนิด^(24,25)

นำชิ้นงานตัวอย่างกลุ่มละ 3 ชิ้น ที่ผ่านการเป่าทรายและทาด้วยสารยึดติดแต่ละชนิด วิเคราะห์มุมสัมผัสโดยการหยดน้ำปราศจากไอออน 20 ไมโครลิตรลงบนพื้นผิวด้วยไมโครปิเปต และถ่ายภาพบริเวณพื้นผิวสัมผัสด้วยกล้องไม่มีกระจกสะท้อน (Mirrorless camera Sony A6300, Sony, Tokyo, Japan) ร่วมกับเลนส์ถ่ายภาพมาโคร (Macro lens, Minolta 100 mm., f/2.8) โดยกำหนดระยะห่างจากชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร นำภาพถ่ายที่ได้ไปคำนวณหามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายอิมเมจเจ เวอร์ชัน 1.6.0_24 (image processing program, Image-J version 1.6.0_24, New York, USA) นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ร่วมกับสถิติเชิงซ้อน Scheffe ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 24.0

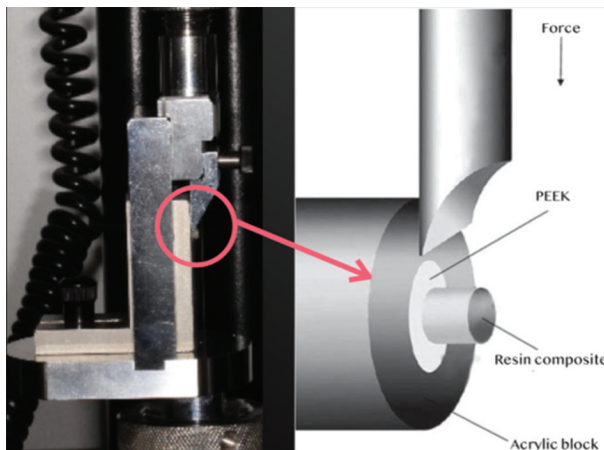
การศึกษาความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพีอีเคกับสารยึดติดชนิดต่าง ๆ กับเรซินคอมโพสิต

นำชิ้นงานตัวอย่างกลุ่มละ 6 ชิ้น ที่ผ่านการเป่าทรายและทาสารยึดติดในแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการทาและฉายแสงตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ติดตั้งแม่พิมพ์โลหะแบบแยกส่วนได้ (customized split mold) ที่มีช่องว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 A) วางบนผิวชิ้นงานที่ทาสารยึดติดแล้ว ตรวจสอบแม่พิมพ์โลหะให้ประกบสนิทพอดี ใส่เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ให้เต็มช่องโลหะดังกล่าว (รูปที่ 1 B) ฉายแสง 40 วินาที แยกแม่พิมพ์โลหะออกเพื่อฉายแสงซ้ำอีก 40 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine: Instron 5566, Massachusetts, USA) ตามมาตรฐาน ISO/TS 11405:2003 โดยกำหนดค่าความเร็วหัวตัดอยู่ที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที จน



รูปที่ 1 แสดง
(A) แม่พิมพ์โลหะแบบแยกส่วนได้
(B) การฉีดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ในช่องแม่พิมพ์เพื่อ
ยึดติดกับพีอีเค

Figure 1 Shows
(A) Customized split mold
(B) Resin composite injecting into the mold to bond
with PEEK



รูปที่ 2 แสดงการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่อง
ทดสอบสากล

Figure 2 Shows shear bond strength testing in a universal
testing machine

ส่วนของเรซินคอมโพสิตหลุดออก บันทึกค่าแรงมากที่สุดที่สามารถแยกวัสดุออกจากกัน นำมาคำนวณค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยในหน่วย เมกะปาสกาล^(21,23)

นำข้อมูลค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ร่วมกับสถิติเชิงซ้อน Scheffe ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 24.0 จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่แตกหักไปตรวจสอบรูปแบบการแตก (mode of failure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอพร้อมบันทึกภาพ (Stereo microscope with digital camera: Olympus SZX7 & SZ2-ILST LED illuminator stand

& E-330, Olympus, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 25 เท่า และบันทึกผลโดยแบ่งรูปแบบการแตกออกเป็น 4 แบบ^(21,23) ได้แก่

แบบที่ 1: การแตกเกิดบริเวณยึดติด (adhesive failure) หมายถึง การแตกหักระหว่างรอยต่อพีอีเคและเรซินคอมโพสิต

แบบที่ 2: การแตกของการเชื่อมแน่นในชั้นเรซินคอมโพสิต (cohesive failure within resin composite) หมายถึง พบการแตกหักในส่วนชั้นของเรซินคอมโพสิต

แบบที่ 3: การแตกของการเชื่อมแน่นในชั้นพีอีเค (cohesive failure within PEEK) หมายถึง การแตกหักในส่วนชั้นของพีอีเค

แบบที่ 4: การแตกแบบผสม (mixed failure, a combination of adhesive and cohesive and failures) หมายถึง การแตกหักทั้งในส่วนพีอีเคหรือเรซินคอมโพสิต ร่วมกับการแตกหักระหว่างรอยต่อพีอีเคและเรซินคอมโพสิต

ผลการศึกษา

ค่าความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยของพีอีเคแสดงในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ย (mean surface roughness) ระหว่างชิ้นงานก่อนและหลังการเป่าทราย พบว่าหลังการเป่าทรายมีค่าเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความขรุขระของพื้นผิวพีอีเคก่อนและหลังการเป่าทราย

Table 4 Mean surface roughness parameter of PEEK before and after sandblasting

Parameter	T-test		p-value
	Mean pre Ra (μm) [n=3]	Mean post Ra (μm) [n=3]	
Surface roughness	0.26±0.01	1.50±0.04	0.000

ผลการศึกษามุมสัมผัสของพีอีเคจากการใช้สารยึดติดที่แตกต่างกัน

ค่าของมุมสัมผัสแสดงในตารางที่ 5 จากการศึกษาพบว่า กลุ่มที่ผ่านการเป่าทรายร่วมกับการทำสารยึดติดชนิดเอควิบอนด์พลัส มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

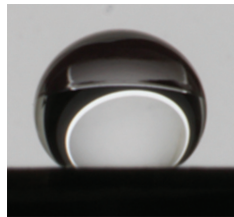
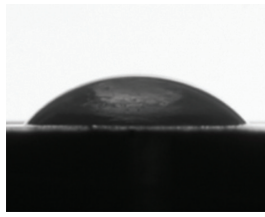
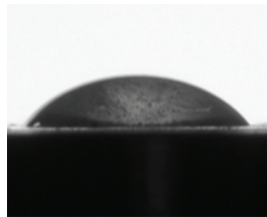
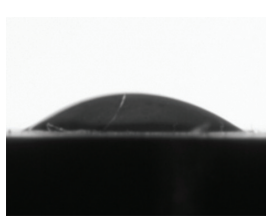
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยว และรูปแบบการแตกในแต่ละกลุ่ม

Table 5 Mean contact angle, mean shear bond strength and mode of failure of each group

Group	Mean contact angle (°) [n=3]	Shear bond strength (°)MPa ([n=6]	Mode of failure			
			Adhesion	Cohesion (resin composite)	Cohesion (PEEK)	Mixed
Control (1)	140.42±(6.04) ^C	23.04±(3.11) ^A	-	-	-	100%
Heliobond (2)	46.35±(2.25) ^B	24.96±(3.77) ^A	-	-	-	100%
Clearfil SE bond (3)	46.26±(2.83) ^B	31.24±(1.63) ^B	-	-	-	100%
AQ bond plus (4)	22.85±(2.89) ^A	28.44±(2.60) ^{A,B}	-	-	-	100%





อักษรตัวยกแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Different capital superscript letters indicate that SBS values were significantly different at p<0.05

Control	Heliobond	Clearfil SE bond	AQ bond plus
			
140.42±(6.04)°	46.35±(2.25)°	46.26±(2.83)°	22.85±(2.89)°

รูปที่ 3 แสดงมุมสัมผัสของชิ้นงานทดลองที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวพีอีเคในแต่ละกลุ่ม หลังพ่นด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์และใช้สารยึดติดต่างชนิดกัน

Figure 3 Shows specimens in experiment of contact angle on PEEK in each group after sandblast and using different adhesives

Control	Heliobond
	
Clearfil SE bond	AQ bond plus
	

รูปที่ 4 แสดงรูปแบบการแตกหักแบบผสมของชิ้นงานทดลองในแต่ละกลุ่ม หลังพ่นด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ และใช้สารยึดติดต่างชนิดกัน

Figure 4 Shows specimens in experiment of mode of failure in each group after sandblast and using different adhesives

ทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น และในกลุ่มควบคุมมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงลักษณะมุมสัมผัสดังรูปที่ 3

ผลการศึกษาทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิตเมื่อใช้สารยึดติดต่างชนิดกัน

ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวแสดงในตารางที่ 5 พบว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเอคิวบอนด์พลัส โดยกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุมและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์และเอคิวบอนด์พลัส

โดยเมื่อพิจารณารูปแบบการแตกหัก พบว่าทุกกลุ่มเกิดการแตกหักเป็นแบบผสม (ตารางที่ 5) ที่พบการแตกหักทั้งในส่วนเรซินคอมโพสิตร่วมกับการแตกหักระหว่างรอยต่อฟิออีเคและเรซินคอมโพสิต

บทวิจารณ์

จากผลการศึกษาปฏิเสฐสมมติฐานหลักของงานวิจัยนี้คือ สารยึดติดที่แตกต่างกันมีผลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในการยึดระหว่างฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิต จากการศึกษาผลของสารยึดติดชนิดต่าง ๆ ในการยึดระหว่างฟิออีเคที่เตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทรายกับเรซินคอมโพสิต พบว่าการใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์และกลุ่มควบคุม

จากการศึกษาของ Rosentritt และคณะ⁽⁸⁾ และ Rocha และคณะ⁽¹¹⁾ พบว่าการยึดติดระหว่างพื้นผิวฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิตเกิดทั้งทางกลและทางเคมี โดยการยึดติดทางกลเกิดเมื่อปรับสภาพพื้นผิวฟิออีเค เกิดความขรุขระ เพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติดกับสารยึดติดและเรซินคอมโพสิต การยึดติดทางเคมีโดยใช้สารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบในสารยึดติดทำให้เกิดพันธะทางเคมี และเกิดการยึดติดทางเคมีที่ดีแตกต่างกัน

การเป่าทรายเป็นวิธีเตรียมพื้นผิวฟิออีเคก่อนการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตที่ให้การยึดติดทางกลที่ดีวิธีหนึ่ง^(8,11) มีการศึกษาอื่นใช้กรดซัลฟูริกกัดพื้นผิวฟิออีเค เพื่อเพิ่มความ

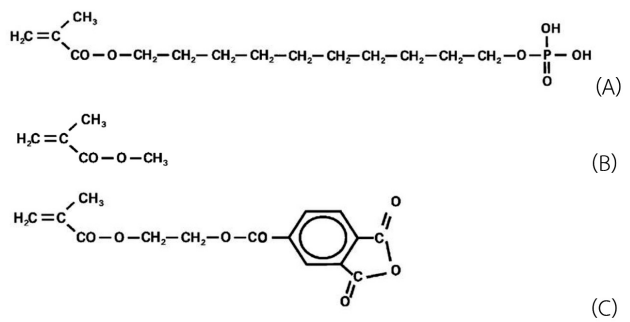
แข็งแรงยึดเหนี่ยวในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตได้ดีกว่า^(8,9,11,14,17,21) เมื่อเปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวฟิออีเค 2 วิธี พบว่าการนำกรดซัลฟูริกมาใช้ในคลินิกทันตกรรมเป็นอันตรายมาก⁽⁴⁾ เมื่อสัมผัสกรดที่ความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่ออย่างรุนแรง สัมผัสกับกรดเจือจางอาจเกิดการระคายเคืองผิวหนัง เมื่อสุดดมกรดเข้มข้นเป็นอันตรายต่อทางเดินหายใจส่วนต้นหรือทำให้ปอดถูกทำลายชั้นรุนแรงกรณีกรดเข้มข้นเข้าตามักเกิดความเสียหายรุนแรงต่อตาทำให้เกิดต้อหินหรือต้อกระจก ถ้ากรดเจือจางเข้าตาทำให้แสบตาหรือระคายเคืองต่อตาและบริเวณโดยรอบ⁽²⁶⁾ ในขณะที่การเป่าทรายมีอันตรายน้อย ไม่ระคายเคืองผิวหนัง ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

การศึกษากการยึดติดทางเคมีบนพื้นผิวฟิออีเคที่ผ่านมาพบว่า การใช้สารยึดติดหลังการเตรียมพื้นผิวให้เกิดความขรุขระที่เหมาะสม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดติดระหว่างฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิตให้มากขึ้น^(2,3,4,6,10,11,19) ผลการศึกษานี้พบว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 5 และพบรูปแบบการแตกหักแบบผสมทั้งหมด หมายถึงมีการยึดติดที่ดีระหว่างพื้นผิวฟิออีเคและเรซินคอมโพสิต ผลของการเตรียมพื้นผิวดังกล่าวให้ผลดี ส่วนหนึ่งเกิดการยึดติดเชิงกลจากความขรุขระบนพื้นผิวหลังการเป่าทรายและอีกส่วนหนึ่งเกิดการยึดติดทางเคมี^(8,11) ระหว่างพื้นผิวฟิออีเคกับมอนอเมอร์กลุ่มทำงานในสารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ได้แก่ 10-เอ็มดีพี ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับมอนอเมอร์กลุ่มทำงานในสารยึดติดชนิดอื่น ๆ ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นไปในทางเดียวกับการศึกษาของ Stawarczyk และคณะ⁽¹⁸⁾ พบว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงาน 10-เอ็มดีพี หลังเตรียมพื้นผิวฟิออีเคด้วยการเป่าทรายให้ค่าความแข็งแรงยึดดึงสูงที่สุด (tensile bond strength) ผลเกิดจากสาย 10-ไฮดรอกซีดีซี (10-hydroxydecy) ที่เป็นส่วนประกอบของ 10-เอ็มดีพี ซึ่งมีความเสถียรสูง ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีและทำลายพันธะได้ยาก เมื่อเทียบกับกลุ่ม 4-เมต้า (ในการศึกษานี้เป็นมอนอเมอร์กลุ่มทำงานในเอคิวบอนด์พลัส) ที่มีส่วนประกอบของวงแหวนอะโรมาติก

(aromatic ring) ซึ่งมีความแข็งแรงและเสถียรมากกว่ากลุ่มเมทิลเมทาโครเลต (ในการศึกษานี้เป็นมอนอเมอร์กลุ่มทำงานในเฮลิโอบอนด์) ที่มีสายสั้นและความแข็งแรงต่ำที่สุดทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำสุดตามลำดับ การศึกษาที่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ เช่นการศึกษาของ Kern และคณะ⁽⁴⁾ Keul และคณะ⁽¹⁰⁾ และ Stawarczyk และคณะ⁽²⁰⁾ พบว่าการเป่าทรายร่วมกับการใช้สารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานชนิด 10-เอ็มดีพี ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างพื้นผิวฟลูออไรด์เรซินคอมโพสิตที่ต่ำ เมื่อเทียบกับสารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานเป็นกลุ่มเมทิลเมทาโครเลตและการศึกษาของ Stawarczyk และคณะ⁽⁵⁾ และ Uhrenbacher และคณะ⁽²⁷⁾ แนะนำให้ใช้การเป่าทรายบนพื้นผิวฟลูออไรด์ร่วมกับการใช้สารยึดติดที่มีมอนอเมอร์กลุ่มทำงานเป็นเมทิลเมทาโครเลตให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงสุด เนื่องจากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ศึกษาการทดสอบความแข็งแรงยึดติด ซึ่งแตกต่างจากการศึกษานี้ที่ศึกษาความแข็งแรงยึดเหนี่ยว จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความแข็งแรงยึดระหว่าง 2 วิธีนี้ได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะการทดสอบความแข็งแรงยึดติดทดสอบโดยใช้แรงดึงในลักษณะตรงเพื่อแยก 2 วัสดุออกจากกัน แต่การทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวใช้แรงเฉือนที่ไม่ใช่แรงในแนวตรงเพื่อแยก 2 วัสดุ จึงให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์สูตรเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของมอนอเมอร์กลุ่มทำงานของสารยึดติดทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ (รูปที่ 4) ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ามอนอเมอร์กลุ่มทำงานชนิด 10-เอ็มดีพีมีน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุด ตามด้วย 4-เมต้า และเมทิลเมทาโครเลตตามลำดับ สัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่ลดลงตามลำดับเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Martin และคณะ⁽²⁸⁾ และ Nunes และคณะ⁽²⁹⁾ ที่กล่าวว่า ขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบพอลิเมอร์ที่มาก เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลเช่นความแข็งแรงยึดเพิ่มมากขึ้น

การศึกษานี้เลือกใช้การเป่าทรายเพื่อปรับสภาพพื้นผิววัสดุฟลูออไรด์ให้เกิดความขรุขระ เกิดการยึดติดเชิงกลกับเรซินคอมโพสิต และเพิ่มความแข็งแรงยึดเหนี่ยวให้สูงขึ้น พบว่าการศึกษาของ Subsomboon และคณะ⁽³⁰⁾ ปรับพื้นผิวเซอร์โคเนีย (zirconia) ด้วยการเป่าทราย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในการยึดกับเรซินซีเมนต์ พบว่าการเป่าทรายด้วย



รูปที่ 5 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของมอนอเมอร์กลุ่มทำงานของสารยึดติดแต่ละชนิด
 (A) 10-เอ็มดีพี ในสารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลล์เอสอีบอนด์
 (B) 4-เมต้า ในสารยึดติดชนิดเอควอนด์พลัส
 (C) เมทิลเมทาคริเลต ในสารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ (ดัดแปลงจาก Landuyt และคณะในปีค.ศ.2007)⁽²²⁾

Figure 5 Shows chemical structure of functional monomer of each adhesive
 (A) 10-MDP in Clearfil SE bond
 (B) 4-META in AQ bond plus
 (C) Methylmethacrylate in Heliobond (Modified from Landuyt et al, 2007)⁽²²⁾

ตารางที่ 6 สูตรเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของมอนอเมอร์กลุ่มทำงานของสารยึดติดแต่ละชนิด

Table 6 Chemical formula and molecular weight of functional monomer of each adhesive

	Methylmethacrylate	4-META	10-MDP
Chemical formula	C ₅ H ₈ O ₂	C ₁₅ H ₁₂ O ₇	C ₁₄ H ₂₇ O ₆ P
Molecular weight (g/mol)	100.12	304.20	322.34

อนุภาคอะลูมินาภายใต้ความดัน กำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ เช่น น้ำลายหรือคราบไขมันออกจากผิววัสดุ ทำให้เกิดความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยหลังเป่าทรายมีค่าสูงกว่าไม่ทำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาพบว่า หลังการเป่าทรายสามารถเพิ่มความขรุขระพื้นผิวฟลูออไรด์ และส่งเสริมให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaijareenont และคณะ⁽²³⁾ แต่ในทางตรงข้ามกับการศึกษาของ Stawarczyk และคณะ⁽¹⁶⁾ และการศึกษาของ Silthampitag และคณะ⁽²¹⁾ พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของการยึดระหว่างฟลูออไรด์เรซินคอมโพสิตไม่สัมพันธ์กับค่าความขรุขระพื้นผิว

การศึกษามุมสัมผัสในกลุ่มต่างๆ พบว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเฮลิโอบอนด์ แต่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปรับสภาพพื้นผิวฟิออีเคหลังเป่าทรายร่วมกับการใช้สารยึดติดทำให้เรซินคอมโพสิตไหลแผ่ได้ดีขึ้น ในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Stawarczyk และคณะ⁽¹⁶⁾ พบว่าความสามารถในการไหลแผ่ของน้ำบนสารยึดติดแต่ละชนิด (จากค่ามุมสัมผัสของน้ำที่หยดบนสารยึดติด) ไม่ใช่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟิออีเคและเรซินคอมโพสิต

การศึกษานี้ศึกษาผลของสารยึดติดที่มีมอโนเมอร์กลุ่มทำงานแตกต่างกันต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างฟิออีเคกับเรซินคอมโพสิต ร่วมกับความขรุขระพื้นผิวและมุมสัมผัส ไม่มีสภาวะจำลองในช่องปาก ผ่านการบ่มเทียม (artificial aging) ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็น (thermocycling machine) ซึ่งมีผลต่อการยึดติดในระยะยาวของวัสดุ 2 ชนิด ดังนั้นในอนาคตควรศึกษาต่อในเรื่องในส่วนนี้ต่อไป

บทสรุป

ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้สรุปได้ว่า วิธีเตรียมพื้นผิววัสดุฟิออีเคเพื่อยึดติดกับเรซินคอมโพสิตที่มีอันตรายน้อยและทำได้ง่ายในทางคลินิก คือการเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมครอนภายใต้ความดันบรรยากาศ 4 บาร์ เป็นเวลา 15 วินาที ร่วมกับการใช้สารยึดติดชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์รุจิ นักวิจัยศูนย์วิจัยทางทันตแพทยศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kurtz SM. *PEEK biomaterials handbook*. 1st ed. Oxford: William Andrew Publishing; 2012: 1-7.
2. Fuhrmann G, Steiner M, Freitag-Wolf S, Kern VM. Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs)—Durability and influence of surface conditioning. *Dent Mater* 2014; 30(3): 357–363.
3. Stawarczyk B, Jordan P, Schmidlin PR, et al. PEEK surface treatment effects on tensile bond strength to veneering resins. *J Prosthet Dent* 2014; 112(5): 1278-1288.
4. Kern M, Lehmann F. Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketone (PEEK). *Dent Mater* 2012; 28(12): 1280-1283.
5. Stawarczyk B, Thrun H, Eichberger M, et al. Effect of different surface pretreatments and adhesives on the load-bearing capacity of veneered 3-unit PEEK FDPs. *J Prosthet Dent* 2015; 114(5): 666-673.
6. Caglar I, Ates SM, Duymus ZY. An In vitro evaluation of the effect of various adhesives and surface treatments on bond strength of resin cement to polyetheretherketone. *J Prosthodont* 2019; 28(1): e342-349.
7. Sproesser O, Schmidlin PR, Uhrenbacher J, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Effect of sulfuric acid etching of polyetheretherketone on the shear bond strength to resin cements. *J Adhes Dent* 2014; 16(5): 465-472.
8. Rosentritt M, Preis V, Behr M, Sereno N, Kolbeck C. Shear bond strength between veneering composite and PEEK after different surface modifications. *Clin Oral Invest* 2015; 19(3): 739-744.

9. Schwitalla AD, Bötzel F, Zimmermann T, Sütel M, Müller WD. The impact of argon/oxygen low-pressure plasma on shear bond strength between a veneering composite and different PEEK materials. *Dent Mater* 2017; 33(9): 990-994.
10. Keul C, Liebermann A, Schmidlin PR, Roos M, Sener B, Stawarczyk B. Influence of PEEK surface modification on surface properties and bond strength to veneering resin composites. *J Adhes Dent* 2014; 16(4): 383-392.
11. Rocha RFV, Anami LC, Campos TMB, Melo RM, Souza ROA, Bottino MA. Bonding of the polymer polyetheretherketone (PEEK) to human dentin: effect of surface treatments. *Braz Dent J* 2016; 27(6): 693-699.
12. Rose JB. Discovery and development of the “victrex” polyaryletherketone peek. In: Seymour RB, ed: *High Performance Polymers: Their Origin and Development*: Elsevier Science Publishing 1986: 187-193.
13. May R. Polyetheretherketones. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*: John Wiley & Sons, Inc. 2008: 1-9
14. Culhaoglu AK, Ozkır SE, Sahin V, Yılmaz B, Kılıcarslan MA. Effect of various treatment modalities on surface characteristics and shear bond strengths of polyetheretherketone-based core materials. *J Prosthet Dent* 2017; 13(1): 1-6.
15. Zhou L, Qianb Y, Zhuc Y, Liua H, Gana K, Guoa J. The effect of different surface treatments on the bond strength of PEEK composite materials cement. *Dent Mater* 2014; 30(8): e209-215.
16. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, et al. Polyetheretherketone—a suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2013; 101(7): 1209-1216.
17. Schmidlin PR, Stawarczyk B, Wieland M, Attin T, Hämmerle CHF, Fischer J. Effect of different surface pre-treatments and luting materials on shear bond strength to PEEK. *Dent Mater* 2010; 26(6): 553-559.
18. Stawarczyk B, Taufall S, Roos M, Schmidlin PR, Lümckemann N. Bonding of composite resins to PEEK: the influence of adhesive systems and air-abrasion parameters. *Clin Oral Invest* 2018; 22(2): 763-771.
19. Stawarczyk B, Bähr N, Beuer F, et al. Influence of plasma pretreatment on shear bond strength of self-adhesive resin cements to polyetheretherketone. *Clin Oral Invest* 2014; 18(1): 163-170.
20. Stawarczyk B, Beuer F, Roos M, Patrick R. Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: Impact of different adhesives. *Dent Mater J* 2013; 32(3): 441-448.
21. Silthampitag P, Chaijareenont P, Tattakorn K, Banjongprasert C, Takahashi H, Arksornnukit M. Effect of surface pretreatments on resin composite bonding to PEEK. *Dent Mater J* 2016; 35(4): 668-674.
22. Landuyt KLV, Snauwaert J, Munck JD, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-3785.
23. Chaijareenont P, Prakhamsai S, Silthampitag P, Takahashi H, Arksornnukit M. Effects of different sulfuric acid etching concentrations on PEEK surface bonding to resin composite. *Dent Mater J* 2018; 37(3): 385-392.
24. Zisman WA. Contact angle, wettability and adhesion. *Adv Chem* 1964; 43(9): 1-5.
25. Good RJ. Contact angle, wettability and adhesion: article review. *J Adhes Sci Technol* 1992; 6(12): 1269-1302

26. National Research Council. *Emergency and Continuous Exposure Limits for Selected Airborne Contaminants: Volume 1*. Washington, DC: The National Academies Press; 1984: 107-112.
27. Uhrenbacher J, Schmidlin PR, Eichberger M, Gernet W, Stawarczyk B. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent* 2014; 112(6): 1489-1497.
28. Martin JR, Johnson JF, Cooper AR. Mechanical properties of polymers: The influence of molecular weight and molecular weight distribution. *J Macromol Sci, Part C* 1972; 8(1): 57-199.
29. Nunes RW, Martin JR, Johnson JF. Influence of molecular weight and molecular weight distribution on mechanical properties of polymers. *Polym Eng Sci* 1982; 22(4): 205-228.
30. Subsomboon T, Yavirach P, Chaijareenont P. Effect of different surface treatments on shear bond strength of zirconia Y-TZP bonded with resin cement. *CM Dent J* 2018; 39(2): 31-46. (in Thai)

คลินิกทันตกรรมพิเศษ
Special Dental Clinic

เวลาเปิดทำการ
จันทร์ - เสาร์ 8.00 - 20.30 น.
อาทิตย์ 8.00 - 16.30 น.
หยุดวันนักขัตฤกษ์ (เปิดให้บริการ 16.30 - 20.30 น.)

ศูนย์บริการ ทางทันตกรรม

ครบวงจร

โดยอาจารย์ทันตแพทย์ และทันตแพทย์ ในสาขาต่างๆ

ขูดหินปูน อุดฟัน ถอนฟัน ฟันคุด
**Cleaning, Filling
Extraction, Oral surgery**

ฟอกสีฟัน ครอนฟัน วีเนียร์แก้ไขสี รูปร่างฟัน
**Tooth whitening
All ceramics crown
Porcelain veneer**

ทันตกรรมรากเทียม
Dental Implant

ฟันปลอม
Denture

ทันตกรรมจัดฟัน
Orthodontic treatment

ทันตกรรมสำหรับเด็ก
Pediatric Dentistry

ทันตกรรมบูรณะเพื่อแก้ไขระบบบดเคี้ยว
Oral rehabilitation



ช่องทางการติดต่อ

📍 Special Dental Clinic คลินิกทันตกรรมพิเศษ คณะทันตแพทยศาสตร์

☎ Tel 081-8550101 หรือ 081-8550110

📍 ชั้น 1 และ 2 อาคาร 45 ปีคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่