

ผลของวิธีการเตรียมผิวต่อความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค ของการซ่อมวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตที่มีสภาวะความเสื่อม

Effect of Surface Treatment Methods on Microtensile Bond Strength of Aged Resin Composite Repair

ณิรันุช กิตติวินิชนันท์¹, สิทธิกร คุณวโรตม์²

¹กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก

²ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Neeranuch Kittiwinnichan¹, Siththikorn Kunawarot²

¹Dental Department, Maesot Hospital, Tak

²Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2562; 40(2) : 65-80

CM Dent J 2019; 40(2) : 65-80

Received: 30 May, 2018

Revised: 19 July, 2018

Accepted: 27 November, 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตด้วยขั้นตอนการเตรียมผิวทางกล และ/หรือทางเคมีต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่มีสภาวะความเสื่อม

วิธีการวิจัย: เตรียมชิ้นทดสอบเรซินคอมโพสิต เคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ อีเอสทู สี A1 รูปครึ่งนาฬิกาทราย จำนวน 48 ชิ้น โดยมีพื้นที่ผิวในตำแหน่งส่วนคอดขนาด 1.5x8.0 มิลลิเมตร จากแบบหล่อโลหะแยกส่วน แบ่งชิ้นทดสอบออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น กลุ่มที่ 1 เก็บในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2-6 นำไปผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเทอร์โมไซคลิกจำนวน 15,000 รอบ แล้วนำไปเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ

Abstract

Objective: To evaluate the effect of surface treatment with mechanical and/or chemical procedures on the microtensile bond strength (MTBS) of a repaired, aged resin composite.

Methods: Forty-eight half-hourglass-shaped resin composite blocks (Clearfil™ AP-X ES-2 shade A1) with a surface area at the narrowest part of 1.5x8.0 mm were prepared by means of metal split mold. All specimens were divided into six groups of eight pieces. The blocks in Group 1 were stored in distilled water at 37°C for 24 hours. The others (Groups 2-6) were subjected to 15,000

Corresponding Author:

สิทธิกร คุณวโรตม์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร., ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Siththikorn Kunawarote

Assistant Professor; Dr., Department of Restorative Dentistry
and Periodontology, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: siththikorn.k@cmu.ac.th

37 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 1 สัปดาห์จากนั้นขึ้นทดสอบทั้งหมดจะได้รับการเตรียมผิวด้วยวิธีต่างๆ กัน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (-SE) และกลุ่มที่ 2 (+SE) เตรียมผิวด้วยเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ เป็นกลุ่มควบคุมผลลบและบวก ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 (+CoSE) โคเจท และเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ กลุ่มที่ 4 (+CoSiB) โคเจท ตามด้วยสารคู่ควบไซเลนซึ่งเตรียมขึ้นจากเคลียร์ฟิล พอร์ซเลนบอนด์ แอกทิเวเตอร์ผสมกับสารไพรเมอร์ของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ในอัตราส่วน 1:1 ทาเป็นเวลา 60 วินาทีและสารบอนด์ดิง กลุ่มที่ 5 (+HFSE) กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 60 วินาทีและเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ และกลุ่มที่ 6 (+HFSiB) กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 60 วินาที ตามด้วยสารคู่ควบไซเลน และสารบอนด์ดิง จากนั้นทำการอุดซ่อมด้วยเรซินคอมโพสิต เคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ อีเอสทู สี A4 โดยใช้แบบหล่อโลหะแยกส่วน ได้ขึ้นทดสอบรูปนาฬิกาทราย เก็บขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการตัดอีกครั้งเพื่อให้ได้พื้นที่ยึดติดขนาด 1.5x0.7 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้นต่อขึ้นทดสอบ ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบวัสดุสากล ความเร็วของหัวกด 1 มม./นาที ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบต้นเนตที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยวิธีต่างๆ และลักษณะรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ผลการศึกษา: วิธีการเตรียมผิวและสภาวะความเสื่อมของเรซินคอมโพสิตส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญ การซ่อมเรซินคอมโพสิตอายุ 24 ชั่วโมงให้ค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กลุ่มเรซินคอมโพสิตที่มีสภาวะความเสื่อมให้ค่าต่ำกว่า โดยพบว่ากลุ่ม +CoSiB และ +HFSE ให้ค่าสูงกว่าการเตรียมผิวด้วยวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่ม +CoSE มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

cycles of thermocycling, then stored in distilled water at 37°C for six months with weekly water replacement. The specimens were treated with different procedures: Group 1 (-SE) and Group 2 (+SE) as negative and positive control groups, respectively, Clearfil™ SE Bond; Group 3 (+CoSE), CoJet™ followed by Clearfil™ SE Bond; Group 4 (+CoSiB), CoJet™ followed by silane coupling agent which was a mixture of Clearfil™ porcelain bond activator and primer of Clearfil™ SE Bond in a 1:1 ratio for 60 seconds, then bonding; Group 5 (+HFSE), 9.5% hydrofluoric acid for 60 seconds, followed by Clearfil™ SE Bond; and Group 6 (+HFSiB), 9.5% hydrofluoric acid for 60 seconds, followed by silane coupling agent, then bonding. After surface treatments, each specimen was repaired into a hourglass-shaped by a split mold using Clearfil™ AP-X ES-2 shade A4, to simulate the repair of an old restoration. After 24 hours storage in 37°C distilled water, all specimens were sectioned to achieve a surface area at the narrowest part of 1.5x0.7 mm, 5 pieces/specimen. MTBS between the resin composites was determined using a universal testing machine (crosshead speed of 1 mm/min). All bond strength data were statistically analyzed using One-way ANOVA test followed by Dunnett's T3 multiple comparisons test, with significance set up at $p < 0.05$. Treated surfaces and interfaces were examined under a scanning electron microscope.

Results: The various surface treatments combined with the aging conditions exhibited significant effects on MTBS. The negative control group (-SE) showed the highest MTBS. On the other hand, the MTBS of all aged groups were decreased; however, two of the treatments (+CoSiB and +HFSE) showed significantly greater MTBS

สรุปผลการศึกษา: การเตรียมผิวด้วยวิธีกรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 60 วินาทีร่วมกับเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ และวิธีโคเจ็ทร่วมกับสารคู่ควบไซเลนและสารบอนด์ดิง ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคในการซ่อมเรซินคอมโพสิตที่มีสภาวะความเสื่อมสูงกว่าวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: เรซินคอมโพสิต สารยึดติดระบบเซลฟ์เอตช์โคเจ็ท สารคู่ควบไซเลน กรดไฮโดรฟลูออริก

than did the other treatments. The +CoSE treatment exhibited the lowest MTBS.

Conclusions: Surface treatment with 9.5% hydrofluoric acid for 60 seconds, followed by Clearfil™ SE Bond and CoJet™, followed by silane coupling agent and bonding, significantly improved the MTBS of a repaired, aged resin composite.

Keywords: resin composite, self-etch adhesive system, Cojet, silane coupling agent, hydrofluoric acid

บทนำ

ปัจจุบันเรซินคอมโพสิต (resin composite) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบูรณะฟันไม่ว่าจะเป็นการบูรณะโดยตรง (direct restoration) หรือการบูรณะโดยอ้อม (indirect restoration) เนื่องจากเป็นวัสดุบูรณะที่ให้ความสวยงามสูง อีกทั้งมีการเตรียมโพรงฟันเชิงอนุรักษ์ (minimally invasive preparation)⁽¹⁾ จึงมีการใช้งานเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในขณะที่เดียวกันก็พบว่ามีความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตในฟันหลังมากถึงร้อยละ 34.8 ในระยะเวลาติดตามผล 17 ปี⁽²⁾ ซึ่งหลักในการพิจารณาว่าจะทำการซ่อมแซมเพียงส่วนที่เสียหาย หรือทำการรื้อและบูรณะใหม่ทั้งชิ้นนั้นยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอน เพราะการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตนั้นจะเป็นไปตามหลักการบูรณะฟันเชิงอนุรักษ์ ส่วนเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานมานานและมีสภาพไม่เหมาะสม เช่น มีการเปลี่ยนสี สูญเสียความเรียบมัน หรือมีรอยฟุกลบซ้ำ จำเป็นต้องพิจารณาทำการรื้อและบูรณะใหม่ทั้งหมด

ในกรณีที่เรซินคอมโพสิตเดิมยังมีสภาพดี การเลือกใช้วิธีการซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เสียหายจะช่วยลดโอกาสการเกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อในของฟัน (dental pulp) รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายและใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า⁽³⁾ การซ่อมแซมจึงต้องคำนึงถึงการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตเดิมและเรซินคอมโพสิตส่วนใหม่ โดยทั่วไปเรซินคอมโพสิตแต่ละชั้นจะยึดติดกันด้วยมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์

(unpolymerized monomer) ซึ่งอยู่บนผิวหน้าที่ถูกยับยั้งด้วยแก๊สออกซิเจน (oxygen inhibited layer)⁽⁴⁾ ซึ่งไม่พบในเรซินคอมโพสิตที่ถูกขัดเรียบขัดมันหรือผ่านการใช้งานมาแล้ว ทำให้มีการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนการเตรียมผิวและการใช้สารปรับสภาพผิว เพื่อหวังผลในการเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตเก่าและใหม่ พบว่ากลไกที่ก่อให้เกิดการยึดติดระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตเก่าและใหม่ที่ทำการซ่อมแซมร่วมกับการใช้สารยึดติด (adhesive system) ได้แก่⁽⁵⁾

1. การยึดติดเชิงกลที่เกิดจากการแทรกซึมของมอนอเมอร์ (monomer) ในสารยึดติดลงไปในรอยขรุขระบนผิวของเรซินคอมโพสิต (micromechanical interlocking)
2. การยึดติดทางเคมี ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี ได้แก่
 - 2.1 ระหว่างเรซินเมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิตกับหมู่เมทาไครเลต (methacrylate group) ในสารยึดติด
 - 2.2 ระหว่างวัสดุอุดแทรกบนผิวเรซินคอมโพสิตที่เผยผิ้ออกมากับหมู่เมทาไครเลตในสารยึดติด ซึ่งอาจช่วยเพิ่มการยึดติดทางเคมีในส่วนนี้ได้ด้วยการใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent)⁽⁶⁾

เรซินคอมโพสิตที่ผ่านการขัดเรียบและขัดมันหรือผ่านการใช้งานมาแล้วมักไม่พบผิวหน้าที่ถูกยับยั้งด้วยแก๊สออกซิเจน และพบมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์หลงเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้การยึดติด

ระหว่างเรซินคอมโพสิตทั้งสองส่วนไม่แข็งแรง จึงมีการพัฒนาเทคนิคในการเตรียมผิววัสดุอุดเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว เพื่อเพิ่มค่าการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการเตรียมพื้นผิวก่อนการซ่อมแซมเพื่อกำจัดผิวเรซินคอมโพสิตด้านบนที่มีการสัมผัสกับน้ำลายออก ทำให้ได้ผิวที่สะอาดและมีพลังงานพื้นผิว (surface energy) เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของบริเวณที่จะทำการซ่อมแซมด้วยการสร้างความขรุขระให้กับพื้นผิว⁽¹⁰⁾ สามารถแบ่งวิธีการเตรียมผิวออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเตรียมผิวด้วยวิธีทางกล เช่น การใช้เข็มกรอกรากเพชร โดยเฉพาะหัวกรอละเอียด (fine-grit bur) ซึ่งให้ลักษณะความขรุขระของพื้นผิวที่เอื้อต่อการยึดติด⁽³⁾ การขัดสีแบบพ่นอนุภาคในอากาศ (airborne particle abrasion) หากใช้ร่วมกับกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ส่งผลเพิ่มค่าการยึดติดได้⁽⁷⁾ การเคลือบผิวด้วยซิลิกา (silica) ระบบโคเจ็ต (CoJet™) ที่ก่อให้เกิดผิวขรุขระลึกประมาณ 10 ไมครอน (micron) ร่วมกับมีการเคลือบผิวด้วยซิลิกา⁽⁸⁾ และการเตรียมผิวด้วยวิธีทางเคมี เช่น การใช้แอซิดูเลเตดฟอสเฟตฟลูออไรด์ (acidulated phosphate fluoride) อาจต้องใช้เวลาถึง 4 นาทีจึงจะได้ผิวที่มีความขรุขระจากการละลายวัสดุอุดแทรกส่วนที่เป็นแก้ว⁽⁹⁾ และการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ซึ่งผลการกัดผิวนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรด ระยะเวลาที่ใช้ และขนาดของวัสดุอุดแทรก⁽¹⁰⁾

การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพก่อนการซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) จากการศึกษาเรื่องการจำลองการเสื่อมสภาพของ Ferracane และคณะ ในปี 1998⁽⁴⁾ พบว่าการเก็บเรซินคอมโพสิตไว้ในน้ำเป็นระยะเวลานาน 6 เดือนทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเสื่อมลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการทำเทอร์โมไซคลิก (thermocycling) ก็ส่งผลให้ปริมาณมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ลดลง⁽¹¹⁾ โดยทั้งสองวิธีต่างก็เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการจำลองความเสื่อมของวัสดุ แต่การศึกษาส่วนใหญ่⁽¹²⁻¹⁴⁾ มักเลือกทำการจำลองความเสื่อมด้วยการทำเทอร์โมไซคลิกหรือการเก็บในน้ำเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง การศึกษารุ่นนี้จึงได้จำลองการเสื่อมสภาพของวัสดุด้วยวิธีการทำเทอร์โมไซคลิกร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรงที่ค่า

คาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรง (C=C aliphatic chain) เพื่อหาจำนวนรอบการทำเทอร์โมไซคลิกที่ทำให้ปริมาณมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ลดลงจนคงที่ ตามด้วยการเก็บในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 6 เดือนเพื่อให้เกิดการเสื่อมสภาพมากที่สุดก่อนนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตด้วยวิธีต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้เลือกใช้วิธีการเตรียมผิวทั้งทางกลและทางเคมีร่วมกัน โดยมีสมมติฐานว่าค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและได้รับการเตรียมผิว มีค่าไม่แตกต่างจากค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่ไม่ได้รับการเตรียมผิว และแต่ละวิธีให้ค่าไม่ต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่าง

ขั้นตอนทดสอบเรซินคอมโพสิต เคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ อีเอสทู (Clearfil™ AP-X ES-2, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 ขนาดความสูง 5.5 มิลลิเมตร กว้างและยาว 6 มิลลิเมตร จำนวน 35 ชิ้น ถูกเตรียมขึ้นจากแบบหล่อซิลิโคน (silicone mold) ที่วางอยู่บนแผ่นพอลิเอสเตอร์ (polyester strip) ด้วยเทคนิคการอุดเป็นชั้น (incremental technique) จนได้ความสูงรวมประมาณ 5.5 มิลลิเมตร แบ่งชิ้นทดสอบเป็น 7 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 หลังจากอุดชั้นแรกหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทำการยกแบบหล่อขึ้นแล้วดึงแผ่นพอลิเอสเตอร์ออกก่อนฉายแสงจากทางด้านบน เพื่อจำลองผิวหน้าที่ถูกยับยั้งด้วยแก๊สออกซิเจน ส่วนกลุ่มที่ 2-7 ทำการเตรียมขึ้นทดสอบโดยวางแบบหล่อซิลิโคนบนแผ่นพอลิเอสเตอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผิวหน้าที่ถูกยับยั้งด้วยแก๊สออกซิเจน ชิ้นทดสอบทั้ง 7 กลุ่มได้รับการเตรียมต่างกันออกไป ได้แก่ กลุ่มที่ 1 และ 2 นำไปเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ 3-7 นำไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิก (เครื่องเทอร์โมไซคลิก รุ่น HWB332R, CWB332R, TC301 ตั้งค่าระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส) 5,000 10,000 15,000 20,000 และ 25,000 รอบ ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่มไปหาปริมาณมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่ผิวด้านล่าง โดยการวิเคราะห์ปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรงที่ค่าเลขคลื่น (wave number) ประมาณ 1,640 เคเซอร์ (cm⁻¹)

ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (fourier-transform infrared spectroscopy) รุ่นเห็นเซอร์ 27 โดยใช้วิธีการกระเจิงรังสี (scattering mode) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรง ซึ่งแสดงถึงมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่เหลืออยู่ที่ผิวของชิ้นงาน นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one way ANOVA) และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบต้นเนตที 3 (Dunnett's T3) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เพื่อนำไปสู่วิธีการทดลองในขั้นตอนต่อไปว่าจะนำชิ้นงานไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิงจำนวนกี่รอบ จนกว่าความสูงของกราฟปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรงจะมีค่าคงที่

ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนทดสอบเรซินคอมโพสิต เคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ อีเอสทู ลี A1 ขนาดความสูง 5.5 มิลลิเมตร กว้าง 5.5 มิลลิเมตร และยาว 8 มิลลิเมตร รูปครึ่งนาฬิกาทราย จำนวน 48 ชิ้น ถูกเตรียมขึ้นจากแบบหล่อโลหะแยกส่วน (metal split mold) ดังรูปที่ 1 ด้วยเทคนิคการถอดเป็นชิ้น จนสูงรวมประมาณ 5.5 มิลลิเมตรโดยวางแบบหล่อโลหะแยกส่วนลงบนแผ่นพอลิเอสเตอร์ หลังฉายแสงถอดแบบหล่อแยกส่วนออก ได้ชิ้นงานเป็นรูปครึ่งนาฬิกาทรายที่มีพื้นที่สำหรับการทำการซ่อมแซมบริเวณรอยคอด ขนาดกว้าง 1.5 มิลลิเมตร และยาว 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2A จากนั้นแบ่งชิ้นทดสอบออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เก็บในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2-6 ทำการจำลองการเสื่อมสภาพด้วยการนำไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิง 15,000 รอบ และเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือนโดยทำการเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 1 สัปดาห์เพื่อจำลองการเสื่อมสภาพของเรซินคอมโพสิต ชิ้นทดสอบส่วนแรกทั้ง 6 กลุ่ม ได้รับการเตรียมผิวด้วยวิธีต่าง ๆ (ตารางที่ 1) ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (-SE) และ กลุ่มที่ 2 (+SE) เตรียมผิวบนชิ้นงานเรซินคอมโพสิตที่ไม่ผ่านและผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพด้วยเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ (Clearfil™ SE Bond, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) เป็นกลุ่มควบคุมผลลบและกลุ่มควบคุมผลบวก ตามลำดับ โดยใช้สารไพรเมอร์คู่กับสารบอนด์ดิงของระบบสารยึดติดเคลียร์ฟิลเอส-

อีบอนด์ กลุ่มที่ 3 (+CoSE) เตรียมผิวด้วยโคเจทและเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ โดยทาทั้งสารไพรเมอร์และสารบอนด์ดิงตามลำดับ กลุ่มที่ 4 (+CoSiB) เตรียมผิวด้วยโคเจท สารคู่ควบไซเลนซึ่งเตรียมขึ้นจากเคลียร์ฟิล พอร์ซเลนบอนด์แอกทีเวเตอร์ (Clearfil™ Porcelain bond activator, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) ผสมกับสารไพรเมอร์ ของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ในอัตราส่วน 1:1 ทาเป็นเวลา 60 วินาที และสารบอนด์ดิงของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ กลุ่มที่ 5 (+HFSE) เตรียมผิวด้วยร้อยละ 9.5 กรดไฮโดรฟลูออริก (9.5% Porcelain etchant gel, BISCO Inc., USA) เป็นเวลา 60 วินาที และเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ โดยทาทั้งสารไพรเมอร์และสารบอนด์ดิงตามลำดับ และกลุ่มที่ 6 (+HFSiB) เตรียมผิวด้วยร้อยละ 9.5 กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นเวลา 60 วินาที ทาสารคู่ควบไซเลนเป็นเวลา 60 วินาที และสารบอนด์ดิงของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเตรียมผิวกลับไปใส่ในแบบหล่อโลหะแยกส่วนอีกครั้ง จากนั้นทำการอุดบริเวณพื้นผิวที่เตรียมไว้ด้วยเรซินคอมโพสิต เคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ อีเอสทู ลี A4 โดยอุดเป็นชั้น จนสูงประมาณ 5.5 มิลลิเมตร ถอดแบบหล่อโลหะแยกส่วนออก ได้ชิ้นทดสอบรูปนาฬิกาทรายขนาดความสูง 11 มิลลิเมตร กว้าง 5.5 มิลลิเมตร และยาว 8 มิลลิเมตร มีบริเวณยึดติดอยู่ตรงส่วนคอดสุดของรูปนาฬิกาทรายกว้าง 1.5 มิลลิเมตร และยาว 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2B เก็บตัวอย่างทั้งหมดในน้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

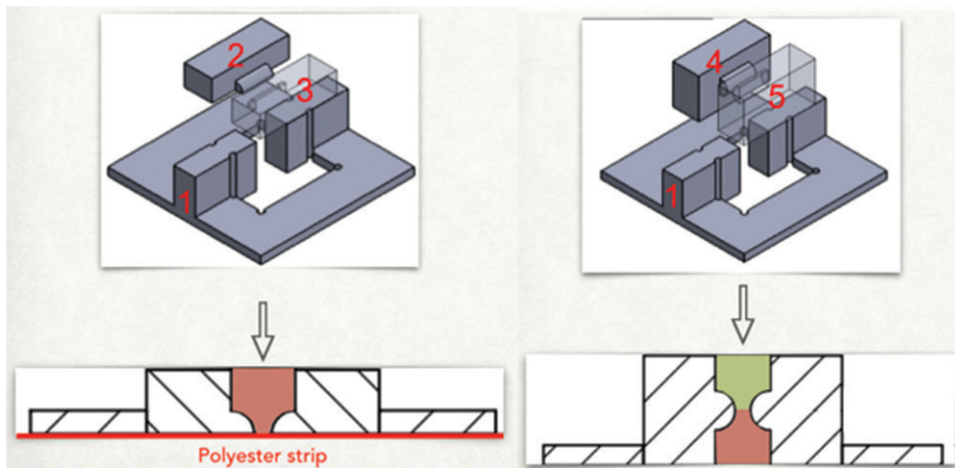
นำชิ้นทดสอบมาตัดด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (Isomet 1000 precision saw, Buehler Jebsen & Jessen Marketing, USA) ได้ชิ้นงานหนา 0.7 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้นต่อชิ้นทดสอบ รวมชิ้นงานทั้งหมด 40 ชิ้นต่อกลุ่ม ได้ชิ้นงานเป็นรูปนาฬิกาทรายที่มีส่วนแคบที่สุดอยู่ที่รอยต่อยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิต กว้าง 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้มีพื้นที่หน้าตัดในการยึดติดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร ยึดชิ้นงานลงบนแท่นทดสอบค่ากำลังยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยกาวไฮยาโนอะคริเลต โมเดลรีแพร์ทูบลู (Model repair II blue, Dentsply, USA) ทำการทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine (UTM), Instron 5566, Instron (Thailand) Limited, Thailand) โดยใช้น้ำหนัก

หัดกดเท่ากับ 100 นิวตัน (newton) ด้วยความเร็วหัดกดที่อัตรา 1 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงเป็นนิวตันที่ทำให้ชิ้นเรซินคอมโพสิตหลุดออกจากกัน

ศึกษาลักษณะพื้นผิวเรซินคอมโพสิตก่อนทำการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, JSM-6610LV SEM, JOEL Ltd., Japan) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า โดยเลือกตัวอย่างชิ้นทดสอบเรซินคอมโพสิตจำนวน 4 ชิ้น ได้แก่ เรซินคอมโพสิตอายุ 24 ชั่วโมง เรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ เรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจ็ต และเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและได้รับการเตรียมผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 60 วินาที และทำการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ สเปก-

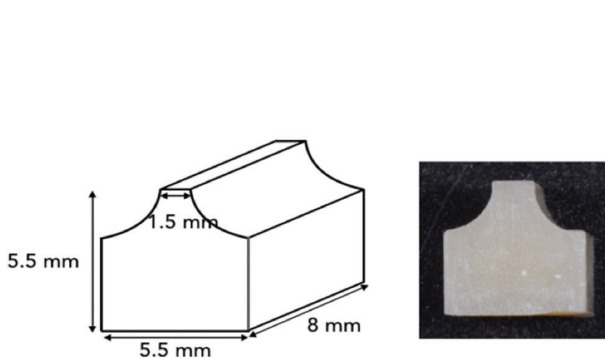
โทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (energy dispersive x-ray spectroscopy, EDS) บนพื้นผิวเรซินคอมโพสิตก่อนทำการยึดติดอีกด้วย รวมทั้งศึกษาลักษณะรอยต่อ (interface) ระหว่างเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3,000 เท่า โดยเลือกตัวอย่างชิ้นทดสอบเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการอุดซ่อมแล้ว จากทุกกลุ่มการทดลองจำนวน 6 ชิ้น

นำค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบต้นเนตที่ 3 โดยใช้โปรแกรม SPSS V17.0 (SPSS Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



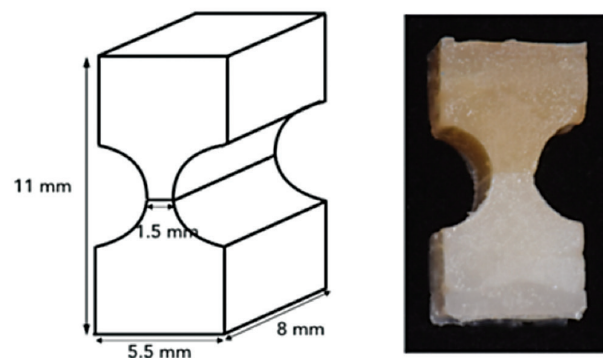
รูปที่ 1 แสดงภาพแบบหล่อโลหะแยกส่วนทั้ง 5 ชิ้น

Figure 1 Metal split mold (5 pieces)



รูปที่ 2A แสดงชิ้นทดสอบเรซินคอมโพสิตส่วนแรกรูปครึ่งนาฬิกาทราย

Figure 2A Half-hourglass-shaped specimen



รูปที่ 2B แสดงภาพชิ้นทดสอบเรซินคอมโพสิตหลังทำการซ่อมแซมได้ชิ้นทดสอบรูปนาฬิกาทราย

Figure 2B Hourglass-shaped specimen

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบและวิธีใช้งานของผลิตภัณฑ์

Table 1 Compositions and Instructions of adhesive and restorative materials

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	วิธีใช้	Batch No.
Clearfil™ AP-X ES-2 (Kuraray Noritake Inc., Japan)	Resin : Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Bisphenol A diglycidylmethacrylate, dl-Camphorquinone, Accelerators, Initiators, Pigments Filler : Silanated barium glass filler, Pre-polymerized organic filler	อุดเป็นชั้น ความหนาไม่เกิน ชั้นละ 2 มิลลิเมตร ฉายแสง ชั้นละ 20 วินาที	760015
Clearfil™ SE Bond (Kuraray Noritake Inc., Japan)	Primer : 10- Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), HEMA, dl-Camphorquinone, Hydrophillic dimethacrylate, N,N-Diethanol-p-toluidine, Water Bonding agent : 10-MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophobic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, N,NDiethanol-p-toluidine, Silanated colloidal silica	- ทาไพรเมอร์ในลักษณะถูไป มาเบา ๆ 20 วินาที เป่าลม - ทาสารยึดติด เป่าลมเบา ๆ แล้วฉายแสง 10 วินาที	C20289 C40180
CoJet™ sand (3M™ ESPE™, USA)	Silicized sand (particle size 30 µm)	พ่นตั้งฉากที่แรงดัน 2-3 บาร์ ห่างจากชิ้นงาน 10 มิลลิเมตร เป็นเวลา 15 วินาที	656716
Clearfil™ Porcelain bond activator (Kuraray Noritake Inc., Japan)	3- Methacryloxypropyltrimethoxy silane (MPS), Bisphenol A polyethoxy dimethacrylate	ผสมกับไพรเมอร์ของ Clearfil™ SE Bond ใน อัตราส่วน 1:1 และทาลงบน ผิวเรซินคอมโพสิตเป็นเวลา 60 วินาที	780023
9.5% Porcelain etchant gel (BISCO, Inc., USA)	9.5% buffered hydrofluoric acid gel	ทากรดลงบนผิวเรซิน คอมโพสิตเป็นเวลา 60 วินาที	1600005432

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่าง

นำผลวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อนำไปสู่วิธีการทดลองในขั้นตอนต่อไปว่าจะนำชิ้นงานไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิงจำนวนกี่รอบ ได้ผลดังรูปที่ 3 พบว่าปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรงจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิง 15,000 รอบ โดยพบกว่ากลุ่ม 15,000 20,000 และ 25,000 รอบให้ค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการสรุปผลว่าวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้ จะจำลองสภาพความเสื่อมของเรซินคอมโพสิตโดยนำไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิง 15,000 รอบ ก่อนนำมาเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 เดือน จากนั้นทำการเตรียมผิวและซ่อมแซมต่อไป

ผลการทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค

ค่าเฉลี่ย (mean) ความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของกลุ่มทดลองทั้ง 6 กลุ่ม แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่ม -SE (43.18 ± 3.11 MPa) มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาในกลุ่มทดลองที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ พบว่ากลุ่ม +HFSE (37.02 ± 3.68 MPa) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงที่สุด รองลงมาคือ กลุ่ม +CoSiB (36.53 ± 3.58 MPa) ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่ม +CoSE (26.65 ± 5.29 MPa) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กลุ่ม

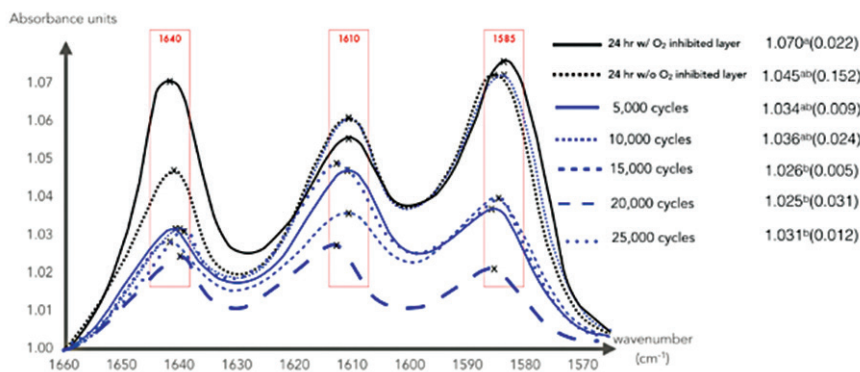
+SE และกลุ่ม +HFSiB มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดิงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สูงกว่ากลุ่ม +CoSE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาลักษณะของผิวเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ลักษณะพื้นผิวก่อนทำการยึดติด

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการจำลองการเชื่อมสภาพ (กลุ่มที่ 1) มีความเรียบ ไม่พบรอยขรุขระหรือรอยแตกกร้าว ดังรูปที่ 5 ในขณะที่ลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเชื่อมสภาพ (กลุ่มที่ 2-6) แสดงลักษณะที่มีความขรุขระร่วมกับมีรอยแตกกร้าว และพบว่าการคายตัวของวัสดุอุดแทรกออกมาบางส่วน ดังรูปที่ 6 ส่วนเรซินคอมโพสิตที่

ผ่านการจำลองการเชื่อมสภาพ และได้รับการเตรียมผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกันไป ในกลุ่มที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจ็ท (กลุ่ม +CoSE และ +CoSiB) พบมีการสึกกร่อนของเรซินแมทริกซ์ ทำให้เกิดการคายตัวของวัสดุอุดแทรกออกมา เมื่อทำการวิเคราะห์ที่สัดส่วนของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน พบว่ามีสัดส่วนของธาตุซิลิคอน (silicon) เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเชื่อมสภาพแต่ไม่ได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจ็ท ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยร้อยละ 9.5 กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นเวลา 60 วินาที (กลุ่ม +HFSE และ +HFSiB) พบว่าเกิดลักษณะรูพรุนซึ่งเกิดจากการหลุดออกของวัสดุอุดแทรก และแทบไม่พบส่วนของวัสดุอุดแทรกที่ยังติดอยู่บนผิวเรซินคอมโพสิต ดังรูปที่ 9



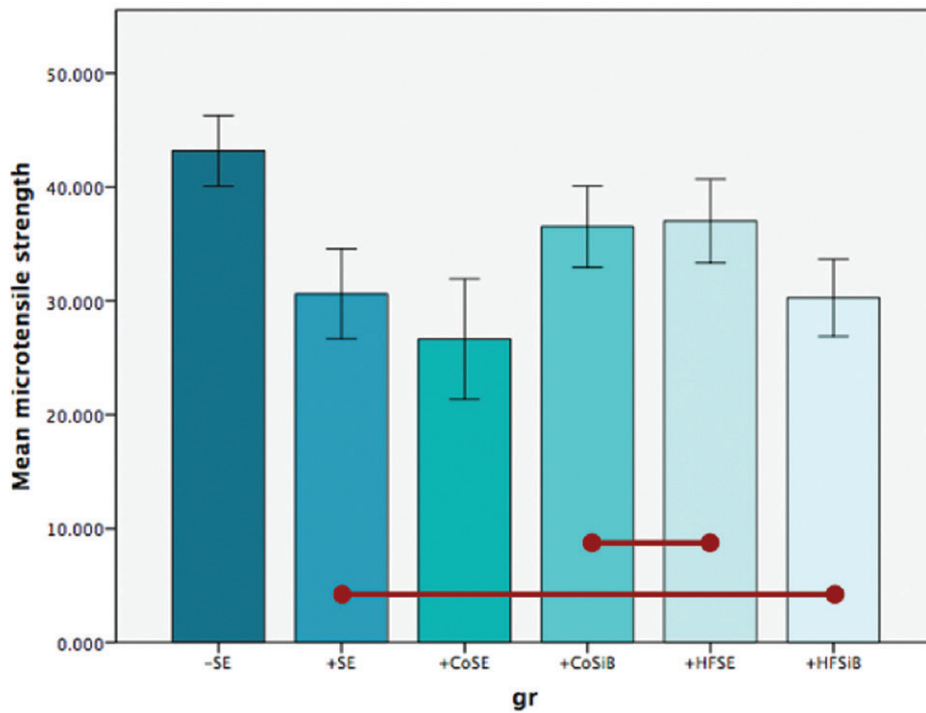
รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนแบบลูกโซ่ยาวตรงด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สสารด้วยอินฟราเรดเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Figure 3 Fourier-transform infrared spectroscopy analysis of C=C aliphatic chain

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงยึดติดแบบดิงระดับจุลภาค (MPa) ของกลุ่มการทดลองทั้ง 6 กลุ่ม

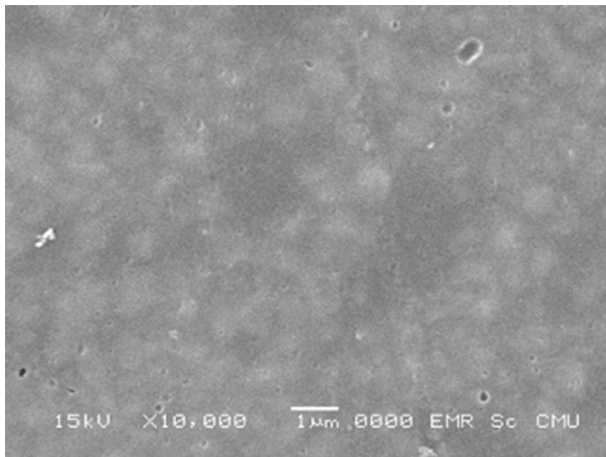
Table 2 Mean values and standard deviations of microtensile bond strength

กลุ่ม (n=40)	การจำลองการเชื่อมสภาพ	การเตรียมพื้นผิว	สารยึดติด	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดิงระดับจุลภาค (MPa)
1 (-SE)	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	-	เคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	43.18 ^a ± 3.11
2 (+SE)	ผ่านการจำลองการเชื่อมสภาพ	-	เคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	30.62 ^c ± 3.94
3 (+CoSE)		โคเจ็ท	เคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	26.65 ^d ± 5.29
4 (+CoSiB)			สารคู่ควบไซเลน และสารบอนด์ดิงของเคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	36.53 ^b ± 3.58
5 (+HFSE)		กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5	เคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	37.02 ^b ± 3.68
6 (+HFSiB)			สารคู่ควบไซเลน และสารบอนด์ดิงของเคลียร์ฟิล เอสอีบอนด์	30.27 ^c ± 3.40



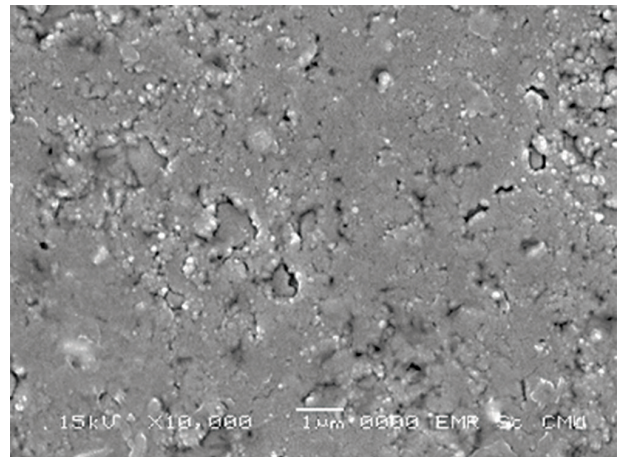
รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค (MPa) กับกลุ่มการเตรียมผิวชิ้นงานแบบต่างๆ กลุ่มที่มีเส้นเชื่อมกัน คือ กลุ่มที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Figure 4 A diagram shows the mean microtensile bond strength of each surface treatment method. Means with a horizontal line were not significantly different ($p > 0.05$).



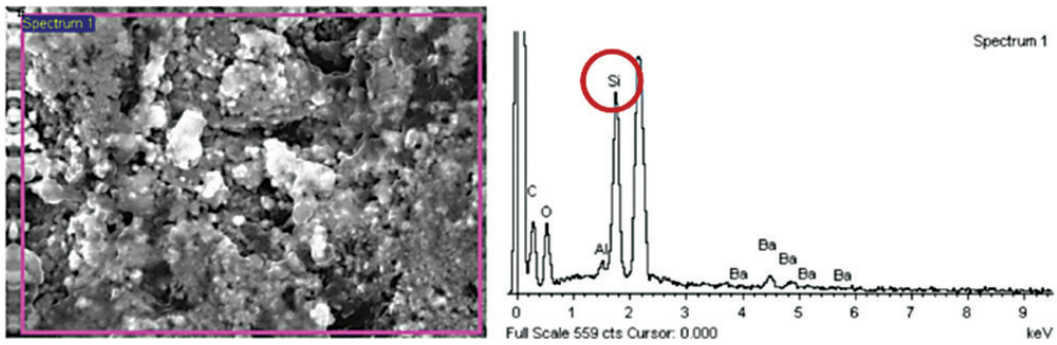
รูปที่ 5 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ (กลุ่มที่ 1) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

Figure 5 SEM evaluation of 24-hour resin composite surface (group 1) at magnification 10,000X.



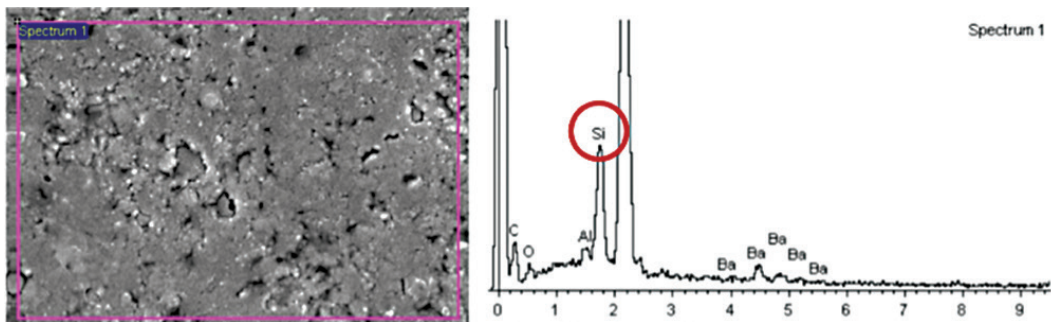
รูปที่ 6 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ (กลุ่มที่ 2-6) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

Figure 6 SEM evaluation of aged resin composite surface (group 2-6) at magnification 10,000X.



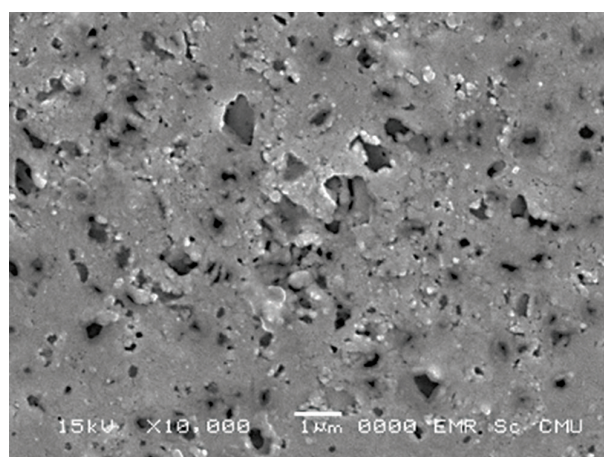
รูปที่ 7 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจท (กลุ่ม +CoSE และ CoSiB) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า และแสดงผลการวิเคราะห์ที่สัดส่วนของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน

Figure 7 SEM and EDS evaluation of aged resin composite surface treated with CoJet™ (+CoSE, +CoSiB) at magnification 10,000X.



รูปที่ 8 แสดงภาพผลการวิเคราะห์ที่สัดส่วนของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงานของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ

Figure 8 SEM and EDS evaluation of aged resin composite surface at magnification 10,000X.



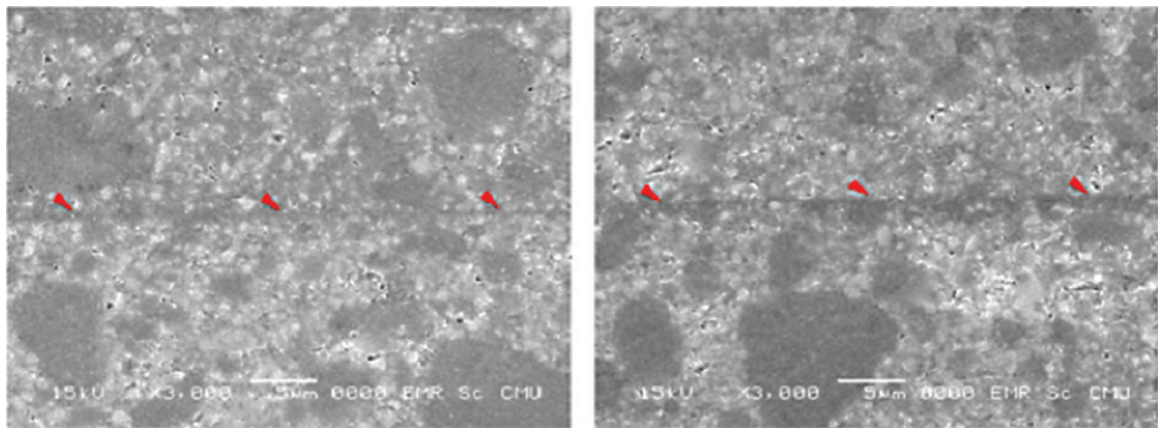
รูปที่ 9 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและได้รับการเตรียมผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 60 วินาที (กลุ่ม +HFSE และ +HFSiB) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

Figure 9 SEM evaluation of aged resin composite surface treated with 9.5% hydrofluoric acid for 60 s (+HFSE, +HFSiB) at magnification 10,000X.

ลักษณะรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิต

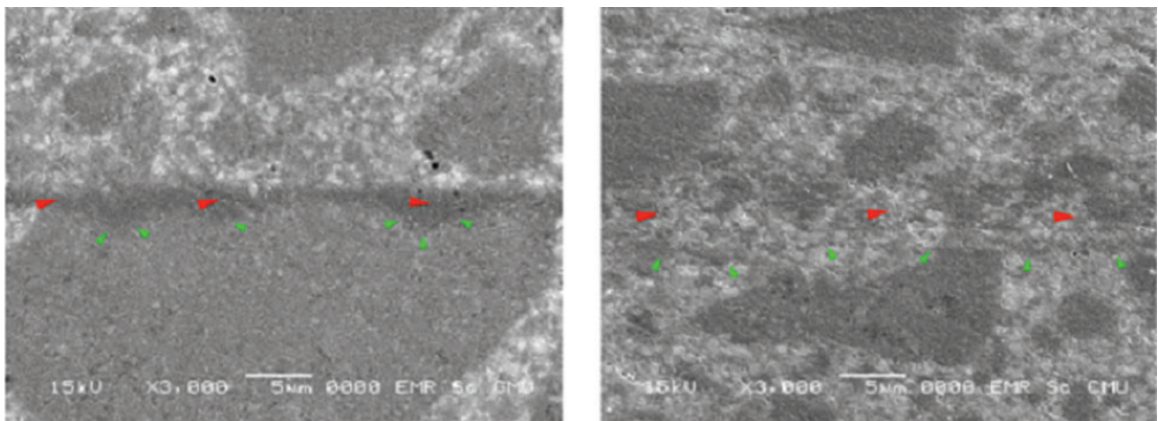
จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3,000 เท่าโดยเรซินคอมโพสิตส่วนแรกอยู่ด้านล่างของภาพ พบว่า กลุ่ม -SE และ +SE ไม่พบความขรุขระของพื้นผิวบริเวณรอยต่อร่วมกับมีความหนาของรอยต่อน้อยกว่ากลุ่มที่เหลือ ดังรูปที่ 10 ในขณะที่กลุ่มอื่นๆ เรซิน-

คอมโพสิตส่วนแรกได้รับการเตรียมผิวก่อนการใช้สารยึดติดด้วยการใช้ โคเจทและร้อยละ 9.5 กรดไฮโดรฟลูออริก พบความขรุขระของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตส่วนแรก โดยในกลุ่ม +CoSE แสดงลักษณะรอยต่อที่ชัดเจนกว่ากลุ่ม +CoSiB ดังรูปที่ 11 ส่วนกลุ่ม +HFSE และ +HFSiB ยังพบลักษณะรูพรุนในชั้นรอยต่ออีกด้วย ดังรูปที่ 12



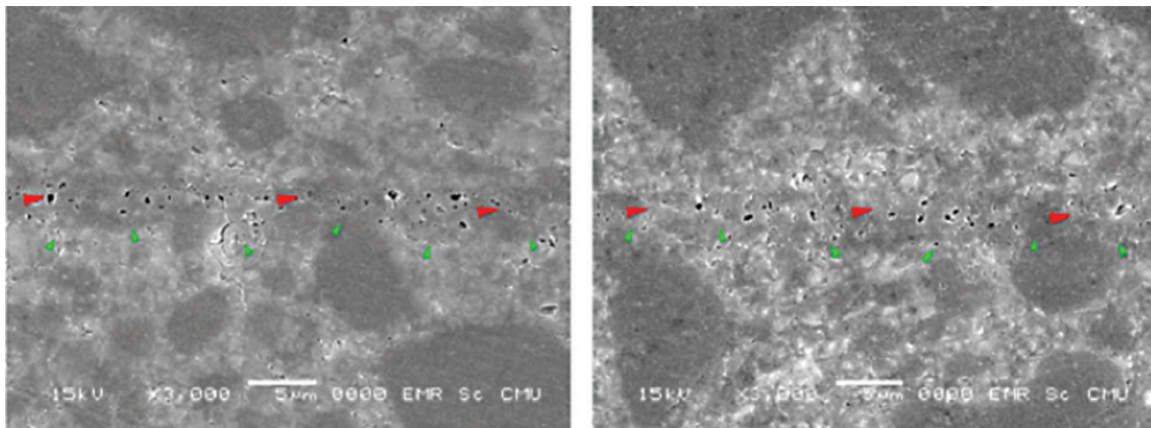
รูปที่ 10 แสดงภาพลักษณะรอยต่อของการเชื่อมเรซินคอมโพสิตในกลุ่ม -SE (ซ้าย) และ +SE (ขวา) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ลูกศรสีแดงแสดงชั้นของสารยึดติดบริเวณแนวรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิต

Figure 10 SEM evaluation of adhesive interface in -SE (left) and +SE (right) group at magnification 3,000X. Red arrow: adhesive layer



รูปที่ 11 แสดงภาพลักษณะรอยต่อของการเชื่อมเรซินคอมโพสิตในกลุ่ม +CoSE (ซ้าย) และ +CoSiB (ขวา) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ลูกศรสีแดงแสดงชั้นของสารยึดติดบริเวณแนวรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิต และลูกศรสีเขียวแสดงแนวรอยต่อบริเวณเรซินคอมโพสิตส่วนแรก

Figure 11 SEM evaluation of adhesive interface in +CoSE (left) and +CoSiB (right) group at magnification 3,000X. Red arrow: adhesive layer; green arrow: interface of aged specimen treated with CoJet™



รูปที่ 12 แสดงภาพลักษณะรอยต่อของการเชื่อมเรซินคอมโพสิตในกลุ่ม +HFSE (ซ้าย) และ +HFSiB (ขวา) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ลูกศรสีแดงแสดงชั้นของสารยึดติดบริเวณแนวรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและลูกศรสีเขียวแสดงแนวรอยต่อบริเวณเรซินเชื่อมโพสิตส่วนแรก

Figure 12 SEM evaluation of adhesive interface in +HFSE (left) and +HFSiB (right) group at magnification 3,000X.

Red arrow: adhesive layer; green arrow: interface of aged specimen treated with 9.5% hydrofluoric acid for 60 s

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพก่อนการเชื่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งการเชื่อมแซมเรซินคอมโพสิตในทุกกลุ่มที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเทอร์โมไซเคิลถึง 15,000 รอบ และผ่านการเก็บในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 6 เดือนนี้ ให้ผลของค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตกลุ่มที่มีอายุ 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ และผลของค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำในแต่ละวิธีก็ให้ค่าที่แตกต่างกัน จึงเป็นการปฏิเสธสมมติฐานว่างทั้งสองข้อ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค ได้แก่ โคเจท กรดไฮโดรฟลูออริก มอนอเมอร์กลุ่มทำงาน (functional monomer) และสารคู่ควบไซเลน ซึ่งการเชื่อมแซมเรซินคอมโพสิตในทางคลินิกไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของสารที่ใช้ในการเตรียมผิววัสดุบูรณะกับส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟันที่อยู่ข้างเคียงได้ จึงต้องคำนึงถึงผลของสารที่ใช้ในการเตรียมผิวเหล่านี้ต่อค่าการยึดติดของเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันและเนื้อฟันร่วมด้วย

จากการศึกษาของ Rathke และคณะในปี 2009⁽⁸⁾ พบว่าการเตรียมผิวด้วยโคเจทหรืออนุภาคอะลูมิเนียมไตรออกไซด์ (aluminium trioxide) ขนาดอนุภาค 30 ไมครอน ทำให้เกิดรอยลึกของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตลึกประมาณ 10 ไมครอน ส่งผลในแง่ของการเพิ่มความขรุขระและพื้นที่ผิวในการยึดติด ร่วมกับมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิลิกา ซึ่งในการศึกษารั้งนี้มีกลุ่มที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจท 2 กลุ่ม โดยพบว่า กลุ่ม +CoSiB คือ ชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจท สารคู่ควบไซเลน และสารบอนด์ดิงของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารคู่ควบไซเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากสารคู่ควบไซเลนสามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับซิลิกาออกไซด์ (silica oxide) ที่อาจมาจากการเผยผิของวัสดุอุดแทรกและจากการเคลือบผิวด้วยซิลิกาในขั้นตอนการเตรียมผิวด้วยโคเจท รวมทั้งยังได้การยึดติดเชิงกลจากรอยขรุขระที่เกิดขึ้น ส่วนกลุ่ม +CoSE คือ ชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยโคเจท ร่วมกับการใช้สารยึดติดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ พบว่าได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเมื่อทำการเตรียมผิวด้วยโคเจท จะพบว่ามีส่วนของซิลิกายึดติดกับบริเวณพื้นผิวนั้น แต่มอนอเมอร์กลุ่มทำงาน

เห็นเมทาโคริลอิลออกซิเตซิล ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต หรือเห็นเอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; 10-MDP) ในเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ไม่สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับซิลิกาออกไซด์ จึงน่าจะได้รับการยึดติดเชิงกลจากผิวขรุขระที่เกิดขึ้นเท่านั้น โดยผลการศึกษาลักษณะรอยต่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยโคเจท พบลักษณะการสึกกร่อนที่ผิวหน้าเท่านั้น ซึ่งไม่น่าจะส่งผลต่อการแทรกซึมของสารยึดติด ทำให้ได้ชั้นรอยต่อที่มีความแนบสนิท โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้โคเจทร่วมกับสารคู่ควบไซเลน อย่างไรก็ตามในทางคลินิกไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของอนุภาคโคเจทกับส่วนประกอบของฟันธรรมชาติ จึงมีการศึกษาที่พบว่า สามารถกำจัดการปนเปื้อนของโคเจทได้ด้วยการใช้กรดฟอสฟอริก เมื่อใช้โคเจทร่วมกับการสารยึดติดเทคนิคซีเลกทีฟเอตช์ (selective-etch technique) โดยใช้กรดฟอสฟอริกเฉพาะส่วนเคลือบฟัน พบว่าไม่มีผลต่อความสมบูรณ์บริเวณขอบระหว่างเคลือบฟันกับเรซินคอมโพสิต เนื่องจากบริเวณเคลือบฟันได้รับการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ด้วยกรดฟอสฟอริก⁽¹⁵⁾

ผลของกรดไฮโดรฟลูออริกต่อผิวเรซินคอมโพสิต ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุอุดแทรกในเรซินคอมโพสิต ชนิดนั้น โดยมักก่อให้เกิดความขรุขระที่ผิวจากการละลายวัสดุอุดแทรกส่วนที่เป็นแก้วออกไป⁽¹⁰⁾ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่าของกลุ่ม +HFSE และ +HFSiB พบว่าผิวมีรูพรุนที่เกิดจากการหลุดออกของวัสดุอุดแทรก ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่กรดไฮโดรฟลูออริกได้ละลายวัสดุอุดแทรกส่วนที่เป็นแก้วออกไปนั่นเอง โดยพบว่ากลุ่ม +HFSE ซึ่งเป็นชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 60 วินาที และเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงที่สุดในกลุ่มที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพ ซึ่งน่าจะได้รับการยึดติดเชิงกลจากรูพรุนที่เกิดขึ้น ส่วนกลุ่ม +HFSiB ซึ่งเป็นชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการเตรียมผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 60 วินาที ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนและสารบอนด์ดึงของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์พบว่ามีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำกว่ากลุ่ม +HFSE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าไม่ต่างจากกลุ่ม +SE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากการปรับปรุงผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 นั้นทำให้เกิดการหลุดออกของวัสดุอุดแทรกที่เป็นแก้ว เกิดการลดลงของปริมาณวัสดุอุดแทรกที่สามารถเกิดพันธะทางเคมีกับสารคู่ควบไซเลนซึ่งเป็นผลจากการกัดกร่อนของกรดไฮโดรฟลูออริก⁽¹⁶⁾ การยึดติดจึงน่าจะได้รับการยึดติดเชิงกลจากผิวที่มีรูพรุน และแม้ว่าสารคู่ควบไซเลนจะช่วยให้เกิดการไหลแผ่ของสารได้ดีขึ้น⁽¹⁷⁾ แต่สารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบ 2 ขวด ซึ่งมีข้อได้เปรียบในแง่ของความสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำในภาวะความเป็นกรดก่อนการใช้งาน⁽¹⁸⁾ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของตัวทำละลายมีผลต่อความหนืดและความสามารถในการกัดผิวของสารยึดติด⁽¹⁹⁾ ดังนั้น การผสมสารคู่ควบไซเลนซึ่งมีปริมาณของตัวทำละลายสูงเข้ากับสารไพรเมอร์ อาจทำให้เกิดการเจือจางของสารไพรเมอร์และทำให้ปริมาณมอนอเมอร์ลดลง จึงอาจส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของมอนอเมอร์กลุ่มทำงานที่สามารถเกิดการยึดติดกับวัสดุอุดแทรกที่เป็นโลหะ⁽²⁰⁾ ลดลง เป็นผลให้ค่าการยึดติดลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ ผลการศึกษาลักษณะรอยต่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 3,000 เท่าของกลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 ทั้ง 2 กลุ่ม พบลักษณะรูพรุนในชั้นรอยต่อ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติในการละลายวัสดุอุดแทรกส่วนที่เป็นแก้วออกไป ทำให้ลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นทั้งบนผิวและใต้ผิวเรซินคอมโพสิตส่วนแรกมีความซับซ้อนตามตำแหน่งของวัสดุอุดแทรก ลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นในชั้นรอยต่อนี้จึงอาจเป็นผลมาจากการที่สารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมลงไปยังรูพรุนทั้งหมด หรือจากการที่ไม่สามารถไล่ตัวทำละลายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารไพรเมอร์ในระบบสารยึดติดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ออกได้หมด โดยลักษณะรูพรุนในชั้นรอยต่อที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นตำแหน่งที่ก่อให้เกิดการแตกหักระหว่างวัสดุชั้นในภายหลัง

อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาถึงผลของการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกต่อเคลือบฟันและเนื้อฟัน ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตก่อนการซ่อมแซม จึงมีข้อแนะนำในขั้นตอนการซ่อมวัสดุบูรณะที่ต้องใช้กรดไฮโดรฟลูออริกว่าควรทำการเตรียมผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อน เพื่อลดผลกระทบจากการปนเปื้อนของกรดไฮโดรฟลูออริก^(21,22)

ถึงแม้ว่าได้ทำการเตรียมชั้นทดสอบร่วมกับการใช้แผ่นพอลิเอสเทอร์เพื่อป้องกันการเกิดผิวหน้าที่ถูกยับยั้งด้วยแก๊ส

ออกซิเจน บริเวณผิวของเรซินคอมโพสิตน่าจะยังเหลือส่วนมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเรซินคอมโพสิตใหม่ได้ ดังแสดงจากผลการศึกษาด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ดังขึ้นทดสอบในกลุ่ม -SE ซึ่งเมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า มีพื้นผิวเรียบและไม่พบการเผยผิของวัสดุอุดแทรก และมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนขึ้นทดสอบในกลุ่ม +SE ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพและไม่ผ่านการเตรียมผิวใด ๆ ทำการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตใหม่ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ เมื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวก่อนการยึดติดผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบลักษณะที่มีความขรุขระและมีรอยแตกกร้าว รวมไปถึงพบว่าการเผยผิของวัสดุอุดแทรกออกมาบางส่วน จึงน่าจะมีการยึดกับเรซินคอมโพสิตใหม่ทั้งทางกล ได้แก่ การยึดติดกับผิวที่มีความขรุขระ และทางเคมี ได้แก่ การเกิดพันธะทางเคมีระหว่างมอนอเมอร์กลุ่มทำงาน คือ เท็นเอ็มดีพี ในเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ กับออกไซด์ของโลหะ⁽²³⁾ เช่น แบเรียมออกไซด์ (barium oxide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัสดุอุดแทรก

นอกจากนี้ สารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในการซ่อมแซมมีผลช่วยเพิ่มการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตจากการเกิดปฏิกิริยากับซิลิกาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุอุดแทรกของเรซินคอมโพสิต พบว่าสารคู่ควบไซเลนช่วยให้ค่าการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตสูงขึ้นที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แต่เมื่อผ่านการเก็บในน้ำเป็นระยะเวลา 12 เดือนกลับพบว่ามีค่าการยึดติดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ⁽²⁴⁾ สารคู่ควบไซเลนประกอบไปด้วยกลุ่มไซเลนอลซึ่งเป็นกลุ่มทำงานที่สามารถสร้างพันธะไฮดรอกเซนกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่อยู่ในวัสดุอุดแทรกของเรซินคอมโพสิต⁽⁶⁾ โดยพบว่าประกอบไปด้วย 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่เกิดการดูดซับทางเคมี (chemisorbed layer) ซึ่งมีการยึดติดด้วยพันธะโควาเลนต์ และชั้นที่เกิดการดูดซับทางกายภาพ (physisorbed layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีการยึดติดแบบหลวม ๆ เหนือต่อชั้นที่เกิดการดูดซับทางเคมีด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) การเกิดกระบวนการเสื่อมสภาพของชั้นที่เกิดการดูดซับทางกายภาพนี้เป็นผลทำให้เกิดการลดลงของค่าการยึดติด โดยสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือ

สารคู่ควบไซเลน เคลียร์ฟิลพอร์ซเลนบอนด์แอกทิเวเตอร์ ซึ่งเป็นสารคู่ควบไซเลนแบบแยกขวด ก่อนการใช้งานจะทำการผสมกับสารไพรเมอร์ของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำก่อนการใช้งาน มีข้อดี คือ ได้ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่สดใหม่ แต่ในขณะเดียวกัน การผสมสารไพรเมอร์ที่มีตัวทำลายเป็นน้ำและแอลกอฮอล์เข้าไป ทำให้มีอัตราส่วนของตัวทำลายต่อมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ทำให้การไล่น้ำออกไปได้ยากขึ้นเช่นกัน จึงต้องมีความระมัดระวังในการใช้งาน เนื่องจากสารยึดติดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์จำเป็นต้องทำการกำจัดน้ำออกให้หมดเพื่อประสิทธิภาพในการยึดติด แต่ก็มีการศึกษาพบว่า การปนเปื้อนของสารคู่ควบไซเลนที่เนื้อฟันก่อนการใช้สารยึดติดทั้งระบบเซลฟ์เอตซ์ (self-etch adhesive system) และระบบเอตซ์-แอนด์รินส์ (etch and rinse adhesive system) ไม่มีผลต่อค่าการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟัน เนื่องจกเมื่อมีการปนเปื้อนที่ผิวเนื้อฟันก่อนการใช้สารยึดติด สารคู่ควบไซเลนนั้นไม่สามารถเกิดพันธะทางเคมีกับเนื้อฟันได้ ดังนั้นส่วนของไซเลนมอนอเมอร์ (silane monomer) ที่ยังเหลืออยู่จึงเกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (copolymerization) ร่วมกับสารยึดติด⁽²⁵⁾

หากมีการศึกษาต่อไปในอนาคต อาจทำการศึกษาโดยเพิ่มชนิดของเรซินคอมโพสิต ซึ่งในปัจจุบันมีความหลากหลายของวัสดุอุดแทรก เช่น การเพิ่มอนุภาคเซอร์โคเนีย (zirconia) เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุอุดแทรก และมีความหลากหลายของมอนอเมอร์ เช่น เรซินคอมโพสิตชนิดซิลิโอรัน (silorane-based resin composite) ซึ่งอาจต้องใช้วิธีการเตรียมผิวที่ต่างกันไป รวมถึงการศึกษาถึงผลของสารยึดติดระบบอื่นๆ เช่น ระบบเอตซ์แอนด์รินส์

การนำมาประยุกต์ใช้ทางคลินิก

จากผลการทดลองพบว่า ในกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพมาแล้ว กลุ่ม +CoSiB และ +HFSE ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อเคลือบฟันและเนื้อฟันที่อยู่โดยรอบวัสดุบูรณะ อาจจำเป็นต้องเพิ่มความระมัดระวังในการใช้งานมากขึ้น ได้แก่ โคลเจทที่อาจมีการตกค้างของเศษผงต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันและเนื้อฟันโดยรอบ และการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่ก่อให้เกิดการตกตะกอนแคลเซียม-ฟลูออไรด์ ทำให้เกิดการ

อุดตันของท่อเนื้อฟัน ซึ่งเหตุเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อความสำเร็จในการซ่อมแซมวัสดุบูรณะฟัน

บทสรุป

จากการทดลองภายใต้ขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า การเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพด้วยการนำไปผ่านเครื่องเทอร์โมไซคลิก 15,000 รอบ และเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยทำการเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 1 สัปดาห์ ด้วยวิธีการใช้โคเจท สารคู่ควบไซเลน และสารบอนด์ดีดิงของเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ และวิธีการใช้ กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 60 วินาทีและเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ สามารถปรับปรุงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมด้วยเรซินคอมโพสิตได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณบริษัททิวเว-เด็นท์ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุเพื่อทำการศึกษา ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ และขอขอบพระคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระจิก ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Gordan VV, Mjor IA, Blum IR, Wilson N. Teaching students the repair of resin-based composite restorations: a survey of North American dental schools. *J Am Dent Assoc* 2003; 134(3): 317-323.
2. da Rosa Rodolpho PA, Cenci MS, Donassollo TA, Loguercio AD, Demarco FF. A clinical evaluation of posterior composite restorations: 17-year findings. *J Dent* 2006; 34(7): 427-435.
3. Valente LL, Silva MF, Fonseca AS, Münchow EA, Isolani CP, Moraes RR. Effect of diamond bur grit size on composite repair. *J Adhes Dent* 2015; 17(3): 257-263.

4. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. In vitro aging of dental composites in water--effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 1998; 42(3): 465-472.
5. Brosh T, Pilo R, Bichacho N, Blutstein R. Effect of combinations of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Prosthet Dent* 1997; 77(2): 122-126.
6. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17(2): 155-164.
7. Nassooohi N, Kazemi H, Sadaghiani M, Mansouri M, Rakhshan V. Effects of three surface conditioning techniques on repair bond strength of nanohybrid and nanofilled composites. *Dent Res J* 2015; 12(6): 554-561.
8. Rathke A, Tymina Y, Haller B. Effect of different surface treatments on the composite-composite repair bond strength. *Clin Oral Invest* 2009; 13(3): 317-323.
9. Kula K, Webb EL, Kula TJ. Effect of 1- and 4-minute treatments of topical fluorides on a composite resin. *Pediatr Dent* 1996; 18(1): 24-28.
10. Loomans BAC, Cardoso MV, Opdam NJM, et al. Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. *J Dent* 2011; 39(7): 499-505.
11. Vankerckhoven H, Lambrechts P, van Beylen M, Davidson CL, Vanherle G. Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins. *J Dent Res* 1982; 61(6): 791-795.
12. Brendeke J, Ozcan M. Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. *J Adhes Dent* 2007; 9(4): 399-406.

13. Ozcan M, Cura C, Brendeke J. Effect of aging conditions on the repair bond strength of a microhybrid and a nanohybrid resin composite. *J Adhes Dent* 2010; 12(6): 451-459.
14. Rinastiti M, Ozcan M, Siswomihardjo W, Busscher H. Effects of surface conditioning on repair bond strengths of non-aged and aged microhybrid, nanohybrid, and nanofilled composite resins. *Clin Oral Invest* 2011; 15(5): 625-633.
15. Onisor I, Bouillaguet S, Krejci I. Influence of different surface treatments on marginal adaptation in enamel and dentin. *J Adhes Dent* 2007; 9(3): 297.
16. Junior SAR, Ferracane JL, Della Bona A. Influence of surface treatments on the bond strength of repaired resin composite restorative materials. *Dent Mater* 2009; 25(4): 442-451.
17. Buonocore MG. Principles of adhesive retention and adhesive restorative materials. *J Am Dent Assoc* 1963; 67(3): 382-391.
18. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dent Mater* 2012; 28(5): 467.
19. Cho B-H, Dickens SH. Effects of the acetone content of single solution dentin bonding agents on the adhesive layer thickness and the microtensile bond strength. *Dent Mater* 2004; 20(2): 107-115.
20. Ikemura K, Tay FR, Nishiyama N, Pashley DH, Endo T. Design of new phosphonic acid monomers for dental adhesives--synthesis of (meth) acryloxyalkyl 3-phosphonopropionates and evaluation of their adhesion-promoting functions. *Dent Mater J* 2006; 25(3): 566-575.
21. Szep S, Gerhardt T, Gockel H-W, Ruppel M, Metzeltin D, Heidemann D. In vitro dentinal surface reaction of 9.5% buffered hydrofluoric acid in repair of ceramic restorations: A scanning electron microscopic investigation. *J Prosthet Dent* 2000; 83(6): 668-674.
22. Saracoglu A, Özcan M, Kumbuloglu O, Turkun M. Adhesion of resin composite to hydrofluoric acid-exposed enamel and dentin in repair protocols. *Oper Dent* 2011; 36(5): 545-553.
23. Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, et al. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface. *J Dent Res* 2012; 91(4): 376-381.
24. Ilie N, Stawarczyk B. Efficiency of different repair kits on bonding to aged dental resin composite substrates. *Int J Adhes Adhes* 2015; 58: 7-12.
25. Chen L, Hammond BD, Alex G, Suh BI. Effect of silane contamination on dentin bond strength. *J Prosthet Dent* 2017; 117(3): 438-443.